

DISEÑO DE PLAN PILOTO RCM2, EN UN EQUIPO CRÍTICO DE LA INDUSTRIA
CERAMICA

IVAN CAMILO GOMEZ PARDO
OSWALDO RODRIGUEZ RODRIGUEZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2014

DISEÑO DE PLAN PILOTO RCM2, EN UN EQUIPO CRÍTICO DE LA INDUSTRIA
CERAMICA

IVAN CAMILO GOMEZ PARDO
OSWALDO RODRIGUEZ RODRIGUEZ

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

Director: OSCAR FERNANDO PUERTO FONSECA
Especialista en Gerencia de Mantenimiento

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2014

AGRADECIMIENTOS

A nuestra compañía, COLCERAMICA S.A. donde hemos recibido todo el apoyo y reconocimiento por nuestra formación, brindándonos el tiempo y soporte necesario para cumplir con nuestros compromisos.

A nuestro Director, OSCAR FERNANDO PUERTO FONSECA, quien ha estado asesorándonos constantemente, gracias a su gran conocimiento en el tema y dedicando el tiempo necesario para el cumplimiento de las temáticas.

A nuestros Jefes Directos en la compañía: Los Ingenieros Andres Felipe Tremel y Juan Carlos Mendoza, por facilitar nuestra formación y brindarnos sus conocimientos acertados en los momentos decisivos cuando fueron consultados.

A nuestros familiares más cercanos por ser pacientes en los momentos que no hemos podido compartir cumpliendo con nuestros compromisos en la formación.

CONTENIDO

pág

INTRODUCCIÓN	13
1. CONTEXTUALIZACION	14
1.1. PLANTA CERÁMICA	14
1.2. LOCALIZACIÓN.....	15
1.3. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	16
1.4. OBJETIVOS.....	17
1.4.1. Objetivo principal	17
1.4.2. Objetivos específicos	17
1.5. JUSTIFICACIÓN.....	17
2. MARCO TEÓRICO	18
2.1. EVALUACIÓN DE CRITICIDAD	18
2.2. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD	20
2.2.1. Definición y conceptos básicos:	20
2.2.2. Las 7 preguntas del RCM	24
2.2.3. Funciones y Parámetros de Funcionamiento.....	24
2.2.4. Fallas Funcionales	25
2.2.5. Modos de Falla	25
2.2.6. Efectos de Falla	26
2.2.7. Consecuencias de la Falla	26
2.2.8. Tareas Proactivas	26
2.3. MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL.....	27
2.3.1. Definición y conceptos básicos.....	27
2.3.2. Pilar de Mantenimiento Planeado	31
3. RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	39
3.1. DETERMINACIÓN DE LA CRITICIDAD DE LOS EQUIPOS.....	39
3.1.1. Variables definidas para la Evaluación de Criticidad	39
3.1.2. Aplicación de la Evaluación	42
3.2. INFORMACION GENERAL DEL EQUIPO CRÍTICO	44
3.2.1. Ficha Técnica del equipo:	44
3.3. PLAN DE MANTENIMIENTO.....	45
3.3.1. Inspección.....	45
3.3.2. Lubricación.....	46
3.3.3. Cambio de componentes basado en el tiempo (TBM)	46
3.3.4. Cambio de componentes basado en condición (CBM)	46

3.4. HISTORIAL DE FALLAS Y PAROS	46
3.4.1. Confiabilidad (MTBF)	46
3.4.2. Mantenibilidad (MTTR).....	47
4. DESARROLLO DEL MODELO PROPUESTO.....	49
4.1. EQUIPO DE TRABAJO.....	49
4.2. ARBOL TAXONÓMICO	50
4.3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE MOLIENDA.....	51
4.4. DEFINICIÓN DE FRONTERAS	54
4.4.1. Entradas.....	54
4.4.2. Salidas	55
4.5. HOJA DE TRABAJO RCM.....	55
4.6. DEFINICIÓN DE FUNCIONES	56
4.6.1. Función principal.....	56
4.6.2. Funciones secundarias:	57
4.7. FALLAS FUNCIONALES	58
4.7.1. Fallas funcionales de la función principal.....	58
4.7.2. Fallas funcionales de las funciones secundarias	58
4.8. MODOS DE FALLA Y EFECTOS DE FALLA	60
4.8.1. Modos y efectos de falla de la función principal.....	60
4.8.2. Modos y efectos de falla de las funciones secundarias	61
4.9. CONSECUENCIAS DE FALLA.....	62
4.10. HOJA DE DECISIÓN Y TAREAS PROPUESTAS	63
4.11. PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN.....	65
Conclusiones	67
Bibliografía.....	68
ANEXOS.....	69

LISTA DE TABLAS

	pág
Tabla 1. Evolución del Mantenimiento.	22
Tabla 2. Etapas de implementación de RCM.....	23
Tabla 3. Evaluación de Criticidad por Seguridad y medio ambiente.	39
Tabla 4. Evaluación de Criticidad por Disponibilidad.	40
Tabla 5. Evaluación de Criticidad por Calidad.	41
Tabla 6. Evaluación de Criticidad por Costos.	41
Tabla 7. Evaluación de Criticidad Molino MRV200.	42
Tabla 8. Hoja de trabajo RCM - Información básica	56
Tabla 9. Fallas funcionales de la función principal.....	58
Tabla 10. Fallas funcionales de las funciones secundarias	59
Tabla 11. Modos y efectos de la falla 1A	60
Tabla 12. Matriz de evaluación de consecuencias RCM.	62
Tabla 13. Consecuencias de Falla.....	62
Tabla 14. Tareas propuestas para los modos de falla	64

LISTA DE FIGURAS

pág

Figura 1. Entradas y Salidas del Proceso productivo cerámico	14
Figura 2. Macro procesos para la fabricación de Pisos y Paredes.	15
Figura 3. Ubicación geográfica Planta de Pisos y paredes.....	16
Figura 4. Componentes de un programa de RCM	24
Figura 5. Diagrama de Decisión RCM	27
Figura 6. Porque implementar TPM.....	29
Figura 7. Los 8 pilares del TPM.	30
Figura 8. Objetivo del mantenimiento planeado.....	31
Figura 9. Técnicas de mantenimiento usadas en el TPM.	33
Figura 10. Estándar de Mantenimiento TPM	33
Figura 11. Calendario de actividades LILA.	34
Figura 12. Gráfico de seguimiento a una variable o condición CBM.....	35
Figura 13. Criticidad Total Planta.....	43
Figura 14. Molino MRV 200	44
Figura 15. Confiabilidad MRV200 2009-2012	47
Figura 16. Mantenibilidad MRV200 2009-2012.....	48
Figura 17. Equipo de Trabajo RCM	49
Figura 18. Árbol Taxonómico	50
Figura 19. Sistemas del proceso de Molienda	51
Figura 20. Proceso de Molienda	52
Figura 21. Funcionamiento Clasificador Dinámico.....	53
Figura 22. Filtro de mangas y sistema Pulse Jet	54
Figura 23. Ejemplo Estándar de Mantenimiento que requiere actualización.	65
Figura 24. Ejemplo Calendario PM que requiere actualización.	66

LISTA DE ANEXOS

Listado de equipos de criticidad A	69
--	----

RESUMEN

TITULO: DISEÑO DE PLAN PILOTO RCM2, EN UN EQUIPO CRÍTICO DE LA INDUSTRIA CERAMICA

AUTORES: IVAN CAMILO GOMEZ PARDO, OSWALDO RODRIGUEZ RODRIGUEZ

PALABRAS CLAVE: Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), Criticidad de equipos, Análisis de modos y efectos de falla (FMEA), Tiempo medio entre falla (MTBF), Tiempo medio para reparar (MTTR), Disponibilidad.

CONTENIDO: Esta monografía plantea el diseño de un plan piloto rcm2, en un equipo crítico de la industria cerámica, realizado como respuesta a la necesidad de asegurar la disponibilidad de los equipos que tienen un gran impacto sobre los resultados de la planta, por lo tanto, se requiere aplicar una estrategia de mantenimiento enfocada a garantizar el correcto desempeño de estos equipos. El comportamiento de los indicadores nos evidencia una alta tasa de fallos, con tiempos excesivos de reparación, demandando recursos no presupuestados para las intervenciones de corrección, sin mencionar la generación de defectos en los semielaborados del proceso productivo. La estrategia utilizada en la actualidad no permite una gestión proactiva sobre las fallas ocultas, por lo tanto se requiere plantear una metodología que contemple este tipo de problemáticas, que para este caso de estudio será RCM2.

Dentro de los objetivos principales de la implementación están: el realizar una evaluación de criticidad que permita determinar los equipos idóneos a la aplicación de la metodología RCM2 seleccionando el de mayor impacto, definir las fronteras del equipo en estudio y su árbol taxonómico, definir las funciones principales y secundarias de los componentes del árbol taxonómico, realizar los análisis de modo de falla y efectos, aplicar la hoja de decisión que permitan establecer las actividades de Mantenimiento proactivas y construir el plan de mantenimiento con las actividades definidas.

Con este planteamiento, se busca proponer una metodología que permita desarrollar herramientas de gestión que complementen la estrategia actual de mantenimiento vista desde un enfoque sistémico, ya que se contemplan la aplicación de metodologías como FMECA y RCA, que buscan llegar a la causa raíz de los problemas que actualmente se presentan en el proceso cerámico.

* Monografía

**Facultad Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela Ingeniería Mecánica. Director: Oscar Fernando Puerto Fonseca

ABSTRACT

TITLE: DESIGN OF PILOT PLAN RCM2, IN A CRITICAL EQUIPMENT OF THE CERAMIC INDUSTRY.

AUTHOR: IVAN CAMILO GOMEZ PARDO, OSWALDO RODRIGUEZ RODRIGUEZ

KEYWORDS: Maintenance Centered on Reliability (RCM), criticidad of equipment's, Analysis of manners and effects of fault (FMEA), average Time between fault (MTBF), average Time to repair (MTTR), Availability, Analysis of Reason root (RCA).

CONTENTS:

This monograph raises the design of a pilot plan rcm2, in a critical equipment of the ceramic industry, realized as response to the need to assure the availability of the equipment's that have a great impact on the results of the plant, therefore it is needed to apply a strategy of maintenance focused to guaranteeing the correct performance of these equipment's. The behavior of the indicators us demonstrates a high rate of failures, with excessive times of repair, demanding resources not budgets for the interventions of correction, without the generation of faults mentions in the half-finished ones of the productive process. The strategy used at present does not allow a proactive management on the secret faults, therefore it is needed raises a methodology that contemplates this type of problematic, that for our case of study will be based in RCM2.

Inside the principal aims of the implementation they are: to realize an evaluation of criticidad that allows to determine the suitable equipment's to the application of the methodology RCM2, selecting that of major impact, the equipment defines the borders in study and his tree taxonomic, to define the principal and secondary functions of the components of the tree taxonomic, to realize the analyses of way of fault and effects, to apply the leaf of decision, which there allow to establish the activities of proactive Mtto and to construct the plan of maintenance with the definite activities.

With this exposition one seeks to propose a methodology, which allows to develop management tools that complement the current strategy of maintenance dress from a systemic approach, since the application of methodologies is contemplated as FMECA and RCA, which seek to come to the reason root of the problems that nowadays they present in the ceramic process.

* Monograph

**Faculty Engineerings Physicist Mechanics. School Mechanical Engineering. The director: Oscar Fernando Puerto Fonseca

INTRODUCCIÓN

La labor de mantenimiento como aliado estratégico para la compañía, lleva a la implementación de prácticas y metodologías que buscan mantener y mejorar las funciones óptimas de los activos, renovando su desempeño, para lograr un mejor resultado en los indicadores, llegando a niveles óptimos de competitividad en el mercado, cumpliendo las normas de seguridad de sus trabajadores y la protección al medio ambiente.

De acuerdo a este principio, para la Industria Cerámica, se hace indispensable contar con una metodología como RCM2 en uno de sus equipos críticos del proceso, y poder proyectar un plan piloto para el desarrollo y conocimiento de la herramienta. Este trabajo tendrá el objetivo de garantizar el funcionamiento del activo seleccionado, asegurando su disponibilidad y confiabilidad entregada al proceso de producción y contando con el involucramiento de los controladores y técnicos asignados al área.

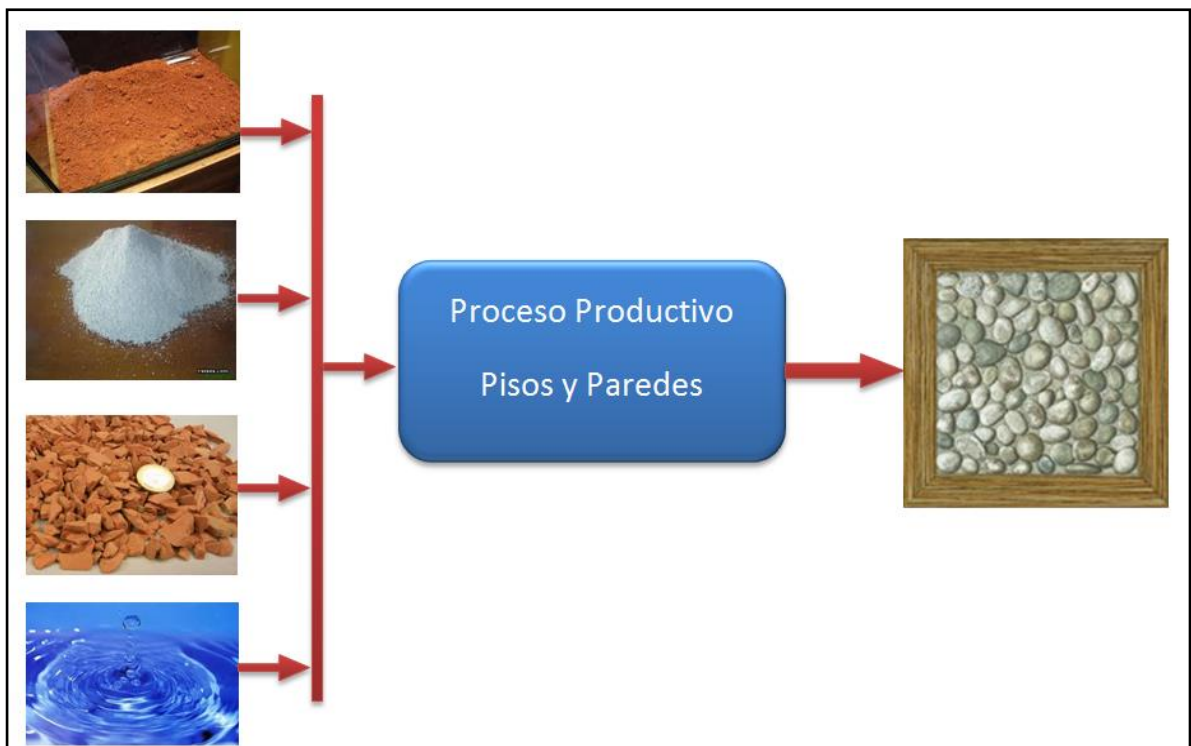
El entregable de este trabajo, pretende construir un plan de mantenimiento del activo seleccionado, que migre de un mantenimiento basado en el aprendizaje y las recomendaciones del fabricante, a un plan de mantenimiento basado en el estudio de sus funciones, componentes y modos de fallo, modificando las actividades, rutinas, frecuencias de mantenimiento y desarrollando nuevas habilidades y conocimientos en el equipo de trabajo, en busca de asegurar una disponibilidad operativa confiable, a un costo razonable y llegar así al nivel de competitividad esperado.

1. CONTEXTUALIZACION

1.1. PLANTA CERÁMICA

La planta objeto de estudio, esta dedica a la producción de pisos y paredes a base de arcillas rojas procesadas vía seca, cuyo proceso productivo parte de materias primas extraídas directamente de la naturaleza, lo que conlleva a una variabilidad o inestabilidad de las mismas en sus propiedades tanto físicas como químicas. A continuación se ilustra el proceso productivo:

Figura 1. Entradas y Salidas del Proceso productivo cerámico

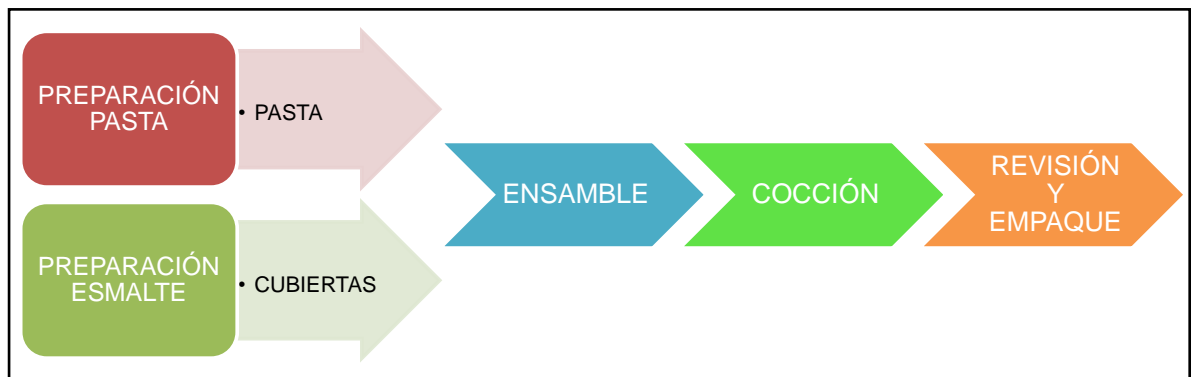


Fuente: Los autores

Las materias primas son básicamente la combinación de varias arcillas rojas, con adición de roturas cocidas o chamote, caliza y agua. El agua, es comprendida como una variable crítica en cada una de las etapas del proceso, expresada como

porcentaje de humedad. El proceso productivo de pisos y paredes está dividido en 3 grandes macro procesos, la preparación de los insumos, el ensamble de los mismos y finalmente la cocción junto con la revisión final.

Figura 2. Macro procesos para la fabricación de Pisos y Paredes.



Fuente: Los Autores

La planta cuenta con un total de 1382 activos operativos, distribuidos en los procesos productivos y en las diferentes estaciones de servicios.

Gracias a la administración de la compañía, hacia el año 2003 y posteriores, la planta hoy en día cuenta con el premio TPM Nivel I, entregado por el JIPM en el año 2008, con lo cual se ha desarrollado una filosofía de mejoramiento continuo en todas las áreas de la compañía. Junto a esta metodología se han venido incorporando otras herramientas como Lean - Six Sigma, SGC, TOC, entre otras consolidando un Sistema de Producción propio.

1.2. LOCALIZACIÓN

La planta está ubicada en el municipio de Madrid – Cundinamarca, en un parque industrial, donde se encuentran la planta de Pisos y Paredes y la planta de sanitarios y lavamanos.

Figura 3. Ubicación geográfica Planta de Pisos y paredes.



Fuente: Los Autores

1.3. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Dentro del proceso productivo, existen equipos que tienen un gran impacto sobre los resultados de la planta, afectando generalmente los indicadores de Calidad, Disponibilidad y costos de mantenimiento, por lo tanto, se requiere aplicar una estrategia de mantenimiento enfocada a garantizar el correcto desempeño de estos equipos. El comportamiento de los indicadores nos evidencia una alta tasa de fallos, con tiempos excesivos de reparación, demandando recursos no presupuestados para las intervenciones de corrección, sin mencionar la generación de defectos en los semielaborados del proceso productivo. La estrategia utilizada en la actualidad no permite una gestión proactiva sobre las fallas ocultas, por lo tanto se requiere plantear una metodología que contemple este tipo de problemáticas, que para nuestro caso de estudio será basado en RCM2.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo principal

Diseñar un plan piloto de RCM2 focalizado en el equipo de mayor criticidad del proceso productivo en una Industria Cerámica.

1.4.2. Objetivos específicos

- Realizar una evaluación de criticidad que permita determinar los equipos idóneos a la aplicación de la metodología RCM2, seleccionando el de mayor impacto.
- Definir las fronteras del equipo en estudio y su árbol taxonómico.
- Definir las funciones principales y secundarias de los componentes del árbol taxonómico
- Realizar los análisis de modo de falla y efectos
- Aplicar la hoja de decisión, que permitan establecer las actividades de Mtto proactivas
- Construir el plan de mantenimiento con las actividades definidas

1.5. JUSTIFICACIÓN

Con este planteamiento se busca proponer una metodología, que permita desarrollar herramientas de gestión que complementen la estrategia actual de mantenimiento, vista desde un enfoque sistémico, ya que se contemplan la aplicación de metodologías como FMECA y RCA, que buscan llegar a la causa raíz de los problemas que actualmente se presentan en el proceso cerámico.

En términos de indicadores, se quiere reducir la variabilidad en defectivos asociados al mal funcionamiento y baja disponibilidad de los equipos, junto con otras pérdidas que impiden ser más competitivos en el mercado, una de ellas es el costo de fabricación. Estas pérdidas pueden ser reducidas, aplicando metodologías diferentes a las actuales.

2. MARCO TEÓRICO

El desarrollo de la propuesta requiere tener claridad sobre varios conceptos que permitan construir un plan de mantenimiento integral, entre las metodologías ya adoptada por la compañía y las nuevas a incluir, principalmente sobre la interacción entre el TPM y el RCM2, como se declara a continuación al plantear la posibilidad de utilizar estas metodologías de forma simultánea en algunos equipos:

“Un enfoque básico para reducir las fallas es seleccionar el sistema de mantenimiento más adecuado para cada componente del equipo, use Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, para determinar esto, basado en los records de falla y principios físicos de funcionamiento”¹.

A continuación se encuentran tres (3) grandes tópicos base para el desarrollo de esta propuesta.

2.1. EVALUACIÓN DE CRITICIDAD

El análisis de criticidad es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones de manera acertada y efectiva, enfocando el esfuerzo y los recursos hacia áreas donde sea más importante y/o necesario mejorar la confiabilidad operacional. Permite generar una lista ponderada desde el elemento más crítico hasta el menos crítico del total del universo analizado diferenciando generalmente tres zonas de clasificación: alta criticidad, media criticidad y baja criticidad.

Una vez identificadas estas zonas es mucho más fácil diseñar una estrategia para realizar estudios o proyectos que mejoren la confiabilidad operacional, iniciando con las aplicaciones en el conjunto de procesos o elementos que forman parte de la zona de alta criticidad, que es donde se ubica la mejor oportunidad de agregar valor y aumentar la rentabilidad del negocio.

Definiciones de criticidad:

¹ SUZUKI, Tokutaro. TPM en las industrias de proceso. Madrid: TGP-Hoshin, 1996. 172 p.

- “Medición relativa de las consecuencias de un modo de fallo y su frecuencia de ocurrencia”
- “Característica (cálculo numérico determinístico) de un sistema, que representa el impacto de la falla en cuanto a seguridad, ambiente o producción del proceso al cual pertenece; evalúa la flexibilidad operacional, costos de reparación-mantenimiento y confiabilidad.

Ecuaciones matemáticas de la criticidad más conocidas en la literatura:

“Criticidad = Consecuencia * Probabilidad de Ocurrencia * Detectabilidad” ó
 “Criticidad = Consecuencia * Probabilidad de ocurrencia”.

¿Cómo se realiza el análisis de la criticidad?

- Definiendo un alcance y propósito para el análisis.
- Estableciendo criterios de importancia.
- Seleccionando un método de evaluación para jerarquizar la selección de sistemas objeto del análisis.

Algunos de estos criterios pueden ser:

- Seguridad, ambiente, producción, costos (operaciones y mantenimiento), frecuencia de falla, tiempo promedio para reparar.

Cálculo de criticidad operacional.

Para calcular la criticidad de un subsistema/equipo dentro de una planta o sistema, se debe aplicar un criterio determinístico que transforme las características cualitativas de ese subsistema/equipo (flexibilidad, impacto en producción, costos de reparación, impacto ambiental, confiabilidad operacional, etc.) en un valor numérico que permita clasificarlo objetivamente, en relación al resto de los subsistemas/equipos de la planta o sistema.

¿Cuándo emprender un análisis de criticidad?

- El Análisis de Criticidad, se debe aplicar cuando estén presentes las siguientes necesidades:
- Fijar prioridades en sistemas complejos
- Administrar recursos escasos.
- Crear valor.
- Determinar impacto en el negocio.

- Aplicar metodologías de Confiabilidad Operacional.

¿Dónde se aplica el análisis de criticidad?

El Análisis de Criticidad aplica en cualquier conjunto de procesos, plantas, sistemas, equipos y/o componentes que requieran ser jerarquizados en función de su impacto en el proceso. Sus áreas comunes de aplicación son: Mantenimiento, inspección, materiales y repuestos, disponibilidad de instalaciones y equipos, personal.

2.2. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD

2.2.1. Definición y conceptos básicos:

El mantenimiento a lo largo de la historia ha cambiado sustancialmente, esto obedece al enorme aumento y variedad de los activos físicos, que deben ser mantenidos, con diseños complejos, nuevos métodos de mantenimiento y una óptica cambiante en la organización y responsabilidades.

El nuevo paradigma de la competitividad, donde los productos y servicios se valoran por su precio, calidad, innovación y confiabilidad, siendo la confiabilidad, una de las más relevantes, ha permitido que el mantenimiento adquiera cada vez mayor importancia, como una forma de asegurar la sostenibilidad del sistema productivo y evitar así, los arranques fallidos y callejones sin salida que siempre acompañan a los grandes cambios.

La aplicación del RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad), ayuda notoriamente a resolver los inconvenientes mencionados anteriormente, con la implementación de una estructura estratégica que le permite llevar a cabo, la evaluación y selección de procesos que se puedan implementar en forma rápida y confiable. Si es aplicado correctamente, el RCM cambia considerablemente las relaciones entre los activos físicos, las personas que los operan y las que los mantienen, colocando en servicio con gran efectividad, rapidez y precisión los activos nuevos.

Dicho proceso sistemático originado en la industria aeronáutica, en aquellos aviones nuevos, cuyo objetivo es determinar las tareas de mantenimiento necesarias para garantizar que un activo físico continúe haciendo lo que el usuario desea en su contexto operacional, aumentando la disponibilidad de los equipos, debido a un mayor tiempo medio entre fallas (MTBF), mejorando el conocimiento, fortaleciendo el trabajo en equipo e integrando la seguridad y el medio ambiente

en la toma de decisiones. A finales de los años sesenta en la industria aeronáutica, surge la necesidad de reducir los costos y las actividades de “mantenimiento preventivo” para el Boeing 747, ya que el mantenimiento se fundamentaba mayormente en las recomendaciones hechas por los fabricantes de las partes, haciéndolo operativamente ineficaz pues lo obligaba a estar mucho tiempo en tierra.

RCM se basa en seleccionar actividades de mantenimiento solo donde las consecuencias de la fallas así lo requieran, para ello debe hacerse un estudio exhaustivo de todas las funciones, fallas, modos y consecuencias de las fallas, para luego decidir dónde y que tipo de mantenimiento hacer. Las mejoras en los niveles de confiabilidad, disponibilidad y seguridad son apreciables, al igual que la metodología muestra una reducción notoria en los costos de mantenimiento, haciéndola apetecible para otros sectores industriales, como los petroleros, militares y generadores de electricidad.

La metodología fue desarrollada por John Moubray de Aladon Ltd., y no solo cumple con la norma SAE JA 1011, referida a certificación de procesos RCM, sino que es una de las tres referencias de dicha norma. John Moubray define al RCM como:

“El mantenimiento Centrado en Confiabilidad: un proceso utilizado para determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual”².

Desde los inicios de la industria, los tipos de mantenimiento han ido evolucionando desde la corrección momentánea de una falla hasta la Gestión de Activos. El RCM hace parte de la tercera generación del Mantenimiento hacia los años 70, como puede observarse en la siguiente tabla:

² MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. North Carolina: Aladon Ltd., 2004. p.7

Tabla 1. Evolución del Mantenimiento.

GENERACIÓN	PRIMERA	SEGUNDA	TERCERA	CUARTA
ORIENTACIÓN	Corrección momentánea o definitiva	Planificado	Integración de producción y mantenimiento	Relacionado con el mundo.
TIPO DE MANTENIMIENTO	<ul style="list-style-type: none"> • Correctivo 	<ul style="list-style-type: none"> • Preventivo • Predictivo • Modificativo 	<ul style="list-style-type: none"> • Productivo total • Centrado en Confiabilidad • Combinado • Reactivo • Orientado a Resultados • Clase Mundial • Proactivo 	Centrado: <ul style="list-style-type: none"> • Habilidades y Competencias • Cliente y el Servicio • Eliminación de defectos • Gestión de Activos o Terotecnológico
Fuente: ORTIZ, Daniel. Especialización en Gerencia de Mantenimiento 2013. Memorias de clase				

Por otro lado, encontramos la definición de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM en normas, como es el caso de la SAE JA1011:

“RCM es un proceso específico usado para identificar las políticas que deben ser funcionales en cualquier activo físico en su contexto operacional”³

La metodología plantea unas etapas a seguir en la implementación global del RCM, con algunos aspectos importantes a tener en cuenta en cada una de ellas:

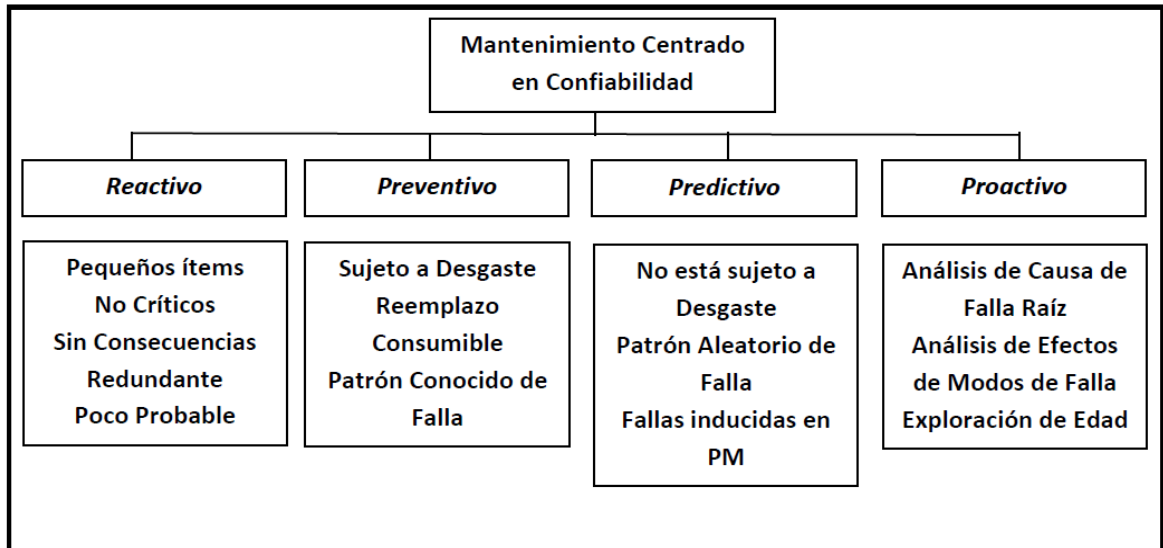
³ SAE JA1011. Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Proceses. Society of Automotive Engineerings, Inc 1999

Tabla 2. Etapas de implementación de RCM.

1. Planeación	<ul style="list-style-type: none"> • Activos físicos a trabajar bajo RCM • Definir recursos físicos y humanos requeridos • Definir cronograma de entrenamiento • Estudiar integralmente cada activo
2. Grupos de realización y revisión	<ul style="list-style-type: none"> • Debe haber personal de operación, mantenimiento e ingeniería que soporten el proceso • Los núcleos primarios deben tener al menos seis personas
3. Facilitadores	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis exhaustivo y excluyente con todo: funciones, fallas funcionales, modos de fallas, tareas en todos los equipos
4. Resultados de análisis RCM	<ul style="list-style-type: none"> • Planes de mantenimiento y reparaciones a ser realizadas • Rediseño de procesos de operación • Control de seguimiento de tareas y operaciones nuevas o rediseñadas.
5. Auditoría e implementación	<ul style="list-style-type: none"> • Revisión integral de nivel gerencial por cada activo • Auditoría de costos. CMD • Revisión a la luz de las normas internacionales SAE JA 101, SAE JA 1012 • Revisión cada dos años de los activos con modificación o cambios en calidad
Fuente: MORA, A. 2007, p. 312	

Con la implementación del RCM las tareas de mantenimiento son las necesarias para cumplir con la funcionalidad del equipo. La NASA menciona los componentes principales del RCM, como lo podemos observar en el siguiente cuadro:

Figura 4. Componentes de un programa de RCM



Fuente: NASA, Reability Centered Maintenance Guide of Facilities and Collateral Equipment.

2.2.2. Las 7 preguntas del RCM

El proceso de RCM fórmula siete preguntas acerca del activo o sistema que se intenta revisar y a partir de la solución de las mismas se da el desarrollo de toda la metodología:

- ¿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 sucede la 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?

2.2.3. Funciones y Parámetros de Funcionamiento

Para garantizar que un activo físico realice en su contexto operacional lo que espera el usuario, se deben hacer dos cosas:

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

De acuerdo a esto el RCM lo primero que busca es definir las funciones de cada uno de los activos en su contexto operacional, junto con los parámetros de funcionamiento deseados. En resumen podemos decir, que en cuanto más se conoce el rol de los activos, reconocemos que estos se ponen en servicio porque alguien quiere que haga algo determinado.

Lo que los usuarios esperan que los activos sean capaces de hacer puede ser dividido en dos categorías:

- Funciones primarias: el porqué de la adquisición del activo, funciones como velocidad, producción, capacidad de carga, calidad del producto y servicio al cliente.
- Funciones secundarias: se espera de cada activo haga más que cubrir sus funciones primarias y adicionalmente cubra aspectos como la seguridad, el control, la contención, el confort, la integridad estructural, la economía, la protección, la eficiencia operacional, el cumplimiento de regulaciones ambientales y hasta de apariencia del activo.

2.2.4. Fallas Funcionales

El proceso de RCM utiliza dos niveles para identificar las fallas que pueden ocurrir en los activos estas son:

- Identificar las circunstancias que llevaron a la falla.
- Preguntar qué eventos pueden causar que el activo falle.

El RCM define los estados de fallas como fallas funcionales, pues el activo no puede cumplir la función de acuerdo al parámetro de funcionamiento que el usuario considera aceptable.

2.2.5. Modos de Falla

Los modos de falla son los hechos identificados que de manera “razonablemente posible” han causado el estado de falla. Son también considerados los modos de

falla que han ocurrido en equipos iguales o similares, operando en el mismo contexto, así como fallas que aún no han ocurrido pero que son posibles. En conclusión se puede decir que:

“Un modo de falla es cualquier evento que causa una falla funcional”⁴.

2.2.6. Efectos de Falla

Como lo menciona el cuarto paso de RCM, se debe hacer un listado de los efectos de falla, que describen lo que ocurre con cada modo de falla. Las descripciones deben incluir información como⁵:

- Qué evidencia existe (si la hay) de que la falla ha ocurrido.
- De qué modo representa una amenaza para la seguridad o el medio ambiente (si la representa).
- De qué manera afecta a la producción o a las operaciones (si las afecta).
- Qué daños físicos (si los hay) han sido causados por la falla.
- Qué debe hacerse para reparar la falla.

2.2.7. Consecuencias de la Falla

Para el RCM, las consecuencias de las fallas son más importantes que sus características técnicas, por eso reconoce que la única razón para hacer cualquier tipo de mantenimiento proactivo no es evitar las fallas per sé, sino evitar o reducir las consecuencias de estas.

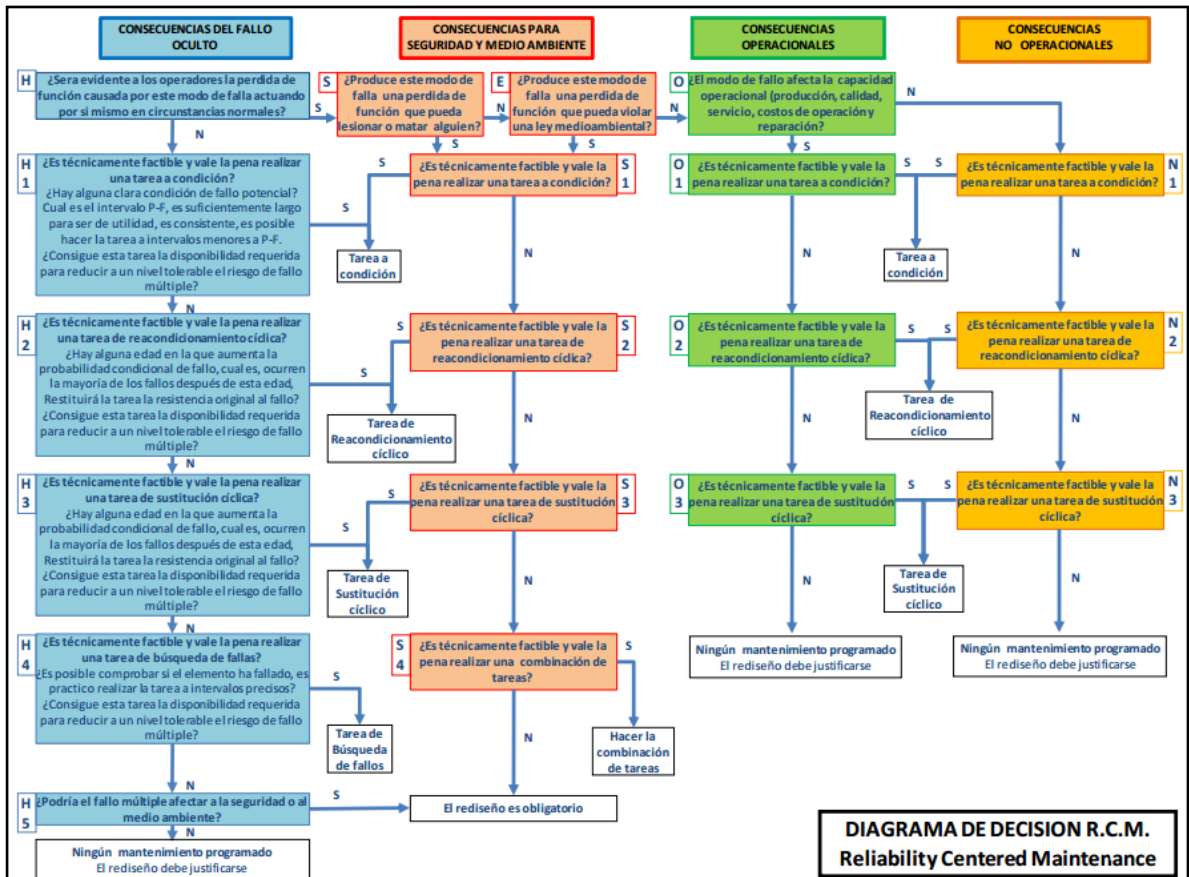
2.2.8. Tareas Proactivas

El conocimiento de los modos de falla y efectos de las fallas permiten la determinación del tipo de tareas necesarias para evitar que vuelvan a presentarse, preventivas, predictivas, proactivas, correctivas, etc. Para ello se cuenta con una hoja de decisión que por medio de preguntas ayuda a definir las posibles tareas que deben ser incluidas en plan de mantenimiento del equipo.

⁴ MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. North Carolina: Aladon Ltd., 2004. p.10

⁵ MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. North Carolina: Aladon Ltd., 2004. p.56

Figura 5. Diagrama de Decisión RCM



Fuente: MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. North Carolina: Aladon Ltd., 2004.

2.3. MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL

2.3.1. Definición y conceptos básicos

El TPM “Mantenimiento Productivo Total” está orientado a crear un sistema corporativo que maximiza la eficiencia de todo el sistema productivo, involucra a todos los empleados, transformando espacios, elevando el nivel de conocimiento, reduciendo las averías en los equipos y minimizando los tiempos de producción en vacío, para finalmente garantizar resultados. Es aplicable en sistemas de

manufactura y de proceso, donde se puede involucrar producción continua integrada con producción por lotes o cargas y otros problemas en todas las operaciones de la empresa, el resultado son plantas mucho más eficientes.

El TPM también incluye “cero accidentes, cero defectos y cero fallos” en todo el ciclo de vida del sistema productivo, además soluciona también problemas difícilmente atacables por los métodos convencionales. Se aplica en todos los sectores, incluyendo producción desarrollo y departamentos administrativos. Se apoya en la participación de todos los integrantes de la empresa, desde la alta dirección hasta los niveles operativos. La obtención de cero pérdidas se logra a través del trabajo de pequeños equipos. Es en este punto donde se define el concepto de Mejora Continua, cuyo objetivo central es determinar que siempre existen oportunidades de mejora y que bajo el cumplimiento de metas, siempre podemos proponernos nuevas metas cada vez más ambiciosas.

Cada compañía que adopte el enfoque TPM debe aceptar tres conceptos imperativos:

- Debe cambiar la calidad y el funcionamiento del equipo.
- Los operarios deben cambiar su modo de pensamiento sobre el equipo.
- El lugar de trabajo debe cambiar dramáticamente⁶.

Adicionalmente, algunos aspectos que define el TPM son:

- Un enfoque de gestión con sentido común.
- Maximización de la eficiencia del sistema de producción.
- Ampliación del ciclo de vida de todo el equipo.
- Elaboración de un sistema para prevenir todas las pérdidas.
- Involucrar a todos los departamentos.
- Participación total desde los altos ejecutivos hasta los operadores.
- Cero pérdidas mediante actividades de grupos de trabajo auto gestionados.
- Participación total de los empleados.

⁶ SHIROSE Kunio, TPM para Mandos Intermedios de Fábrica. Cambridge, Massachusetts: TORAN, S.A. 2000, p 10

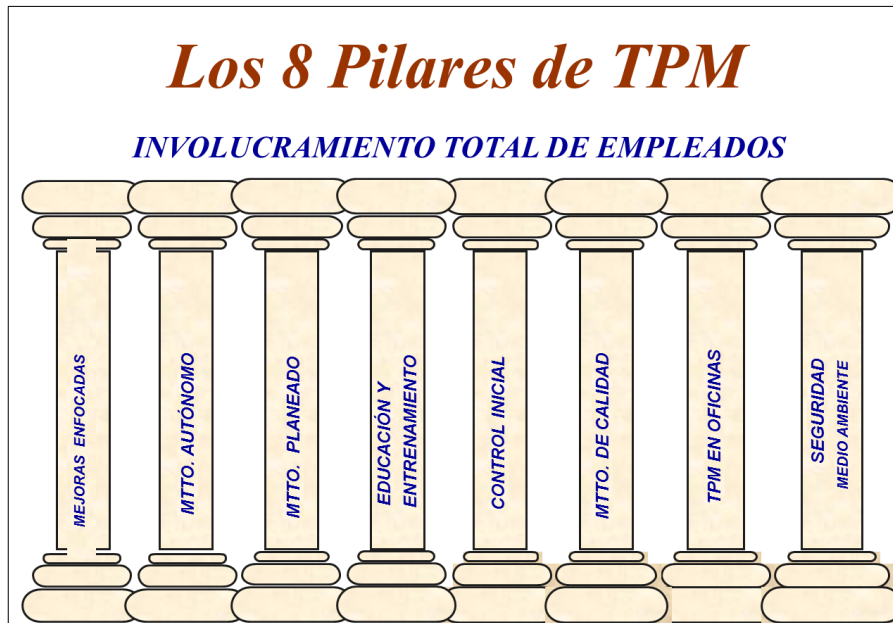
Figura 6. Porque implementar TPM.



Fuente: Manual de Facilitadores TPM, 2003 Shinichi Shinotsuka.

Para el desarrollo e implementación de la metodología TPM, se plantea establecer objetivos entorno a la estructura de 8 pilares, con los cuales se van a gestionar las 3 grades perdidas:

Figura 7. Los 8 pilares del TPM.



Fuente: Manual de Facilitadores TPM, 2003 Shinichi Shinotsuka.

Para lograr la meta de las “0 averías”, los pilares de Mantenimiento Autónomo y Mantenimiento planeado ejecutan las siguientes 4 fases:

- Revertir periódicamente el deterior.
- Reducir los intervalos de fallos.
- Predecir el tiempo de vida de componentes y equipos con el apoyo de herramientas estadísticas.
- Aumentar la vida útil de los equipos.

Desde el punto de vista de “0 defectos” es importante tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Analizar Causa-Efecto.
- Aumentar la calidad a través del equipo.
- Capacitar al personal.
- Identificar y medir las variables que afectan la calidad.

Finalmente, el pilar de seguridad concentra la búsqueda de “0 accidentes”, por medio de diferentes herramientas que permiten el desarrollo de la cultura del autocuidado y la identificación de riesgos, entre otros.

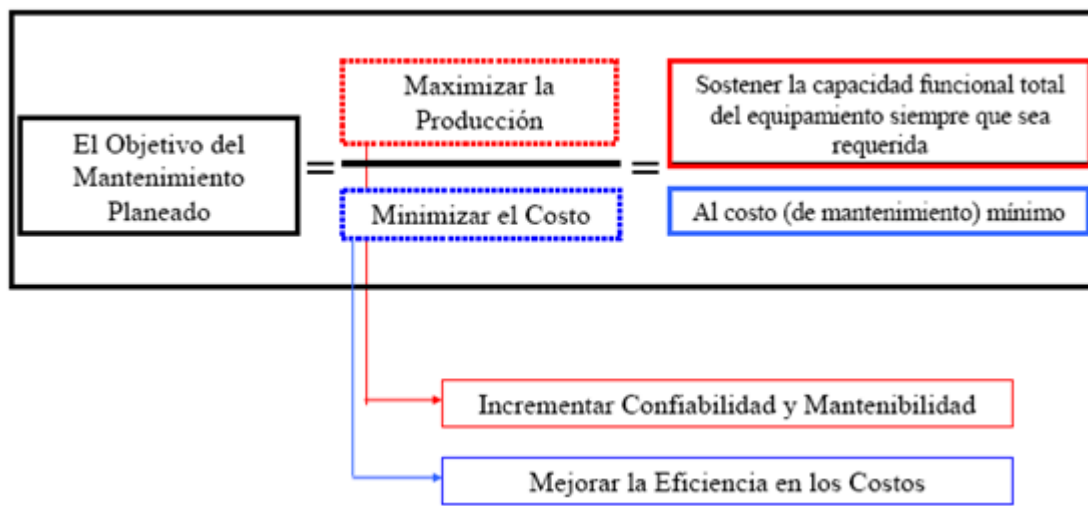
Dado que el TPM contiene un gran número de definiciones, alrededor de otros temas propios del mantenimiento de equipos, solo se profundizará en el pilar de mantenimiento planeado.

2.3.2. Pilar de Mantenimiento Planeado

El principal objetivo de mantenimiento es asegurar y mantener la confiabilidad de los equipos o activos y su interacción con los procesos, de forma eficiente y segura, para la obtención de productos de alta calidad.

El pilar de Mantenimiento Planeado, dentro del proceso de TPM, cita entre otros objetivos la maximización de la Producción, mejorar la confiabilidad del equipo, minimizar los recursos, mejorar la efectividad de los costos, eliminar las averías no programadas, eliminar otras pérdidas asociadas a los equipos como paros menores, baja velocidad, problemas de calidad etc, resumiéndose en la siguiente ecuación:

Figura 8. Objetivo del mantenimiento planeado.



Fuente: Los Autores

Desde el punto de vista del Mantenimiento Planeado, se requiere definir con mayor precisión conceptos como el de avería. Para ello, se deben cumplir tres condiciones de manera simultánea, es decir, si alguna de ellas no se cumple se denominara "paro mayor" o "paro menor", y no será considerado dentro de las pérdidas por fallos del equipo. Las tres condiciones son las siguientes:

- Existir un cambio de parte (para efectos de costo).
- Tener una duración mayor a "*x minutos*" tiempo (para efectos estadísticos).
- Afectar la disponibilidad, ya que detiene el proceso completo.

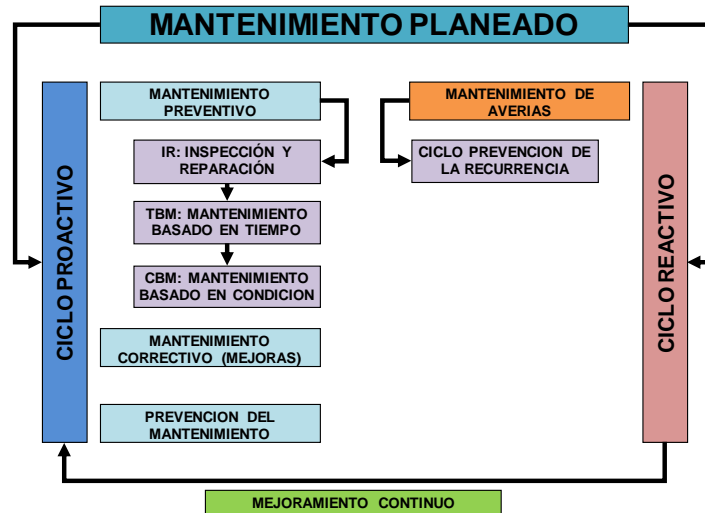
Para aclarar situaciones donde se presentan dos equipos en paralelo, uno de ellos denominado principal y el otro auxiliar o stand-by, y se presenta el fallo de alguno de ellos, se puede asegurar que NO se trata de una avería, dado que el otro equipo entra en funcionamiento y la disponibilidad del sistema no se ve afectada.

Las averías son clasificadas en 5 grades grupos tras realizar un análisis de causa raíz (RCA), ya que a partir de allí se definen los pasos para evitar su recurrencia, eliminando la probabilidad de repetir la falla y asegurar el proceso. Los 5 grandes grupos son:

- Deterioro Forzado.
- Deterioro Natural.
- Sobre carga.
- Punto débil de diseño.
- Error humano.

El mantenimiento Planeado, está enfocado a realizar un mantenimiento sistemáticamente mediante la aplicación de actividades del orden Proactivo y Reactivo, siempre en la búsqueda de que los aprendizajes del mantenimiento Reactivo sean la fuente para fortalecer el mantenimiento preventivo, en la siguiente figura se ilustra los diferentes regímenes de mantenimiento utilizados en la estrategia del mantenimiento planeado:

Figura 9. Técnicas de mantenimiento usadas en el TPM.



Fuente: Los Autores.

Todas tareas que requiere el equipo son registradas en un Estándar de Mantenimiento, donde a partir de un diagrama, se describe la actividad, un criterio, el método usado para ejecutar la actividad, su duración, la frecuencia y el responsable. Adicionalmente se mencionan las energías presentes en el equipo.

Figura 10. Estándar de Mantenimiento TPM

ESTANDAR DE MANTENIMIENTO		<input checked="" type="checkbox"/> PLANEADO	<input type="checkbox"/> AUTONOMO	Codigo:									
				Vigente desde:									
		ID Máquina		MOTOR ELÉCTRICO									
DIAGRAMA	No.	Item	Criterio	Método	Herramientas	Tiempo (min)	FRECUENCIA					Persona Resp.	
							T	D	S	Q	M		
	1	Lubricar los rodamientos	5 gramos	LUP	Inyector de grasa	10	1	2	3	4		1	T. Mecánico
	2	Cambiar rodamientos	6 meses	LUP	Extractor	45	1	2	3	4		6	T. Mecánico
	3	Inspeccionar aislamiento	> 1 Mohmio	SOP	Megger	30	1	2	3	4		2	T. Eléctrico
	4	Inspeccionar tornillos de anclaje	Control visual	LUP	Visual	5			X				T. Mecánico
	5						1	2	3	4			

T= TURNO, D=DIARIAMENTE, S= SEMANALMENTE, Q = QUINCENAL, M = MENSUAL
 1 - ALIMENTACIÓN HIDRÁULICA 2 - ALIMENTACIÓN NEUMÁTICA 3 - ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA 4 - ALIMENTACIÓN MATERIA PRIMA

Fuente: Los Autores

El objetivo de mantenimiento siempre ha estado enfocado en mantener la funcionalidad de los activos, identificando las causas de las fallas para implementar actividades que se consideren convenientes para disminuir el impacto cuando estas se presenten. El Mantenimiento Preventivo se centra en las actividades que de manera proactiva, buscan anticiparse a las fallas de los equipos, minimizando las pérdidas ocasionadas por los paros no programados, como se observó anteriormente, este tipo de mantenimiento tiene tres componentes:

Inspección y Reparación

Para esta medida, se requiere una inspección previa del equipo que permita definir un planeación de la parada del equipo concertada con el personal de producción, donde se definen tiempos y recursos. En muchos de los componentes del equipo, el deterioro solo es detectable una vez se retiran guardas y otros componentes del sistema realizando limpiezas profundas. Adicionalmente se pueden realizar algunos ajustes que solo son posibles con el equipo estático y sin ningún tipo de energías.

Figura 11. Calendario de actividades LILA.

CALENDARIO DE MANTENIMIENTO PLANEADO																						
PEQUEÑO EQUIPO:							RESPONSABLE:															
ITEM	MAQ.	FREC. SEM.	PARTE	No STANDAR	TIPO MTO	CRITERIO	ENERO				FEBRERO				MARZO				ABRIL			
							1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	MOTOR ELÉCTRICO	4	RODAMIENTOS	1	LUBRICACIÓN	5 GRAMOS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3		8	BOBINADO	1	INSPECCIÓN	MAYOR A 1 MOHMIO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4		2	TORNILLOS DE ANCLAJE	1	INSPECCIÓN	CONTROL VISUAL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5							<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
								<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Actividad Programada

Programada Realizada

Programada no realizada

FUENTE: Los Autores

Este tipo de mantenimiento consiste en realizar inspecciones a los componentes del equipo, hacer actividades de limpieza y ajuste, en forma periódica, basados en los diagnósticos o recomendaciones de los fabricantes. Dichas actividades

definidas en los estándares, son llevadas a un calendario donde se programan las actividades y se registra su cumplimiento. Este grupo de actividades es conocido como LILA (Limpieza, Inspección, Lubricación y Ajuste).

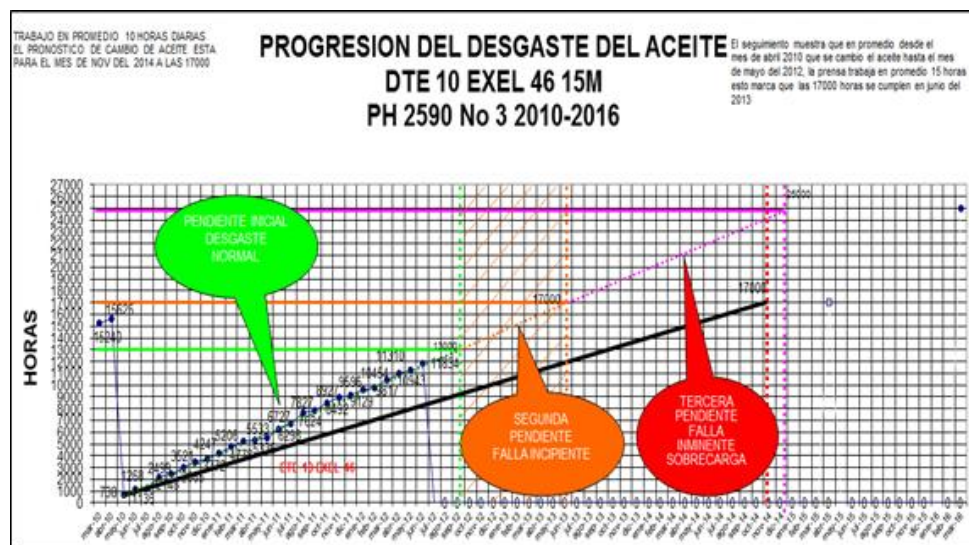
Manteniendo Basado en el Tiempo TBM

Este tipo de manteniendo, concentra todas las frecuencias de cambio de componentes

Manteniendo Basado en Condición CBM

Este tipo de mantenimiento se fundamenta en la implementación de equipos de control y monitoreo, para supervisar el funcionamiento de los activos y así poder determinar las frecuencias de cambio en función del comportamiento de una variable ó condiciones real del equipo y no a una frecuencia establecida. Esta estrategia permite prolongar la vida útil de los componentes, al aumentar el funcionamiento de estos antes de que ocurra la falla. En la siguiente figura se ilustra un ejemplo de seguimiento al comportamiento de una variable en el tiempo:

Figura 12. Gráfico de seguimiento a una variable o condición CBM.



Fuente: Los Autores





Mantenimiento Correctivo

Este tipo de mantenimiento es también conocido como mantenimiento mejorativo o de mejoras, el cual consiste en realizar las modificaciones necesarias de los equipos en estudio, donde se ha detectado por medio del análisis de las averías como causa básica un punto débil de diseño. El plan de trabajo ahora se enfocará en determinar qué tipo de rediseño requiere o debe aplicársele al componente.

Esta modificación debe quedar registrada en la hoja de vida del equipo, con toda la información necesaria que permita evidenciar las bondades y beneficios de la mejora, para posteriormente hacer una gestión temprana en los equipos similares que se adquieran para el proceso.

En la figura se puede apreciar un ejemplo de mejora utilizado en un componente de la máquina que fue de gran éxito en su implementación.

Figura 13. Registro de un mejoramiento TPM.

Registro P - M (Prevención del Mantenimiento)						
Proceso	Maquina / producto	Unidad / Componente	Criticidad	Reg: No		
PRENSADO	PRENSA 13	CONTACTORES :KM7:KMS	A			
Título	SISTEMA CALENTAMIENTO					
Problema	DETERIORO CONTACTOS DE LOS CONTACTORES		Fecha	JULIO 25 DE 2013		
Tipo	CALENTAMIENTO MOLDE		Preparo	CHRISTIAN RASCOS		
Marcar: X	Seguridad	Calidad	Confiabilidad	Mantenibilidad	Flexibilidad	Accesibilidad
	X		X	X		
Antes			Después			
Se presenta desgaste elevado de los contactos mecánicos. De los contactores del calentamiento de los moldes , KM7 Y KMS generando alta impedancia de cada contacto, bajando la confiabilidad del equipo			Se instalan reles de estado solido para bajar las horas de mantenimiento del equipo ; y a la vez para mejorar la confiabilidad del equipo.			
 <p>CONTACTOR KM7 CALENTAMIENTO CAJA</p> <p>CONTACTOR KMS CALENTAMIENTO REALCES INF</p>			 <p>INDICACION POR MEDIO DE LED</p>			
 <p>CONTACTO FISICO MECANICO DE L CONTACTOR</p> <p>GENERA DETERIORO POR EL SWICHEO CONTINUO Y LA CARGA DE CORRIENTE.</p>			 <p>RELES DE ESTADO SOLIDO RN2A48A50 CARLO GAVAZZI; ALTO SWICHEO Y A LA VEZ AUMENTA LA CONFIABILIDAD DEL EQUIPO A BAJO MANTENIMIENTO</p>			
			Resultados		Comentarios	
Seguridad	se deterioran contactos del contactor				NO se daña ningún contactor por arco eléctrico	
Confiabilidad	No es confiable por que en cualquier momento falla				El equipo trabaja sin presentar alarma de baja temperatura	
Accesibilidad	Solo se accede al modulo con la prensa apogada (M.No)				El mantenimiento se hace menos extensivo	

Fuente: Los Autores

Prevención del mantenimiento

Está considerado como la etapa final del mantenimiento preventivo, consiste en lograr gestionar los activos de tal forma que se pueda evitar, el realizar mantenimiento a algunos componentes del equipo. Es importante lograr la mayor disponibilidad de los equipos, para evitar afectar la eficiencia global de planta.

Este tipo de mantenimiento se logra por medio de la “Gestión Temprana”, un pilar fundamental que tiene en cuenta las condiciones de seguridad y la mantenibilidad de los equipos.

Mantenimiento de Averías

Este tipo de actividad corresponde al ciclo reactivo, donde se debe analizar cada una de las averías presentadas en los equipos para llegar a una causa raíz e implementar las actividades necesarias para evitar que se vuelva a presentar esta misma avería.

Con esta metodología se busca determinar el tipo de actividad que se debe realizar de acuerdo a la evaluación y análisis de las averías presentadas en los equipos.

El resultado de esta implementación tiene como objetivo llevar las averías a un ciclo proactivo, para evitar como su nombre lo indica una recurrencia de la falla presentada. A continuación se ilustra un flujograma utilizado para implementar de acuerdo al tipo de condición básica de falla encontrado en el análisis de causa raíz.

Figura 14. Ciclo de mejoramiento para averías.



Fuente: Los Autores.

3. RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

3.1. DETERMINACIÓN DE LA CRITICIDAD DE LOS EQUIPOS

La planta cuenta con un total de 1382 activos productivos, los cuales fueron objeto del análisis de criticidad. A partir de los diferentes conceptos y consideraciones mencionados en el marco teórico, se definieron 4 variables cuya importancia dentro de los indicadores de la Planta es alta. Para valorizar el riesgo en cada una de ellas y la criticidad de los equipos, se tienen en cuenta las consecuencias, la ocurrencia y el impacto en 5 niveles.

3.1.1. Variables definidas para la Evaluación de Criticidad

- Seguridad y Medio Ambiente: la calificación más alta está relacionada con accidentes cuyas consecuencias afectan la comunidad alrededor de la planta, daños irreparables y una ocurrencia mayor a 4 eventos en el mes.

Tabla 3. Evaluación de Criticidad por Seguridad y medio ambiente.

ASPECTO VARIABLE	CONSECUENCIA	CAL	OCURRENCIA	CAL	IMPACTO	CAL
SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	Si produce un accidente tiene consecuencias sobre la comunidad alrededor de la planta	5	Accidentes con ocurrencia mensual >= 4	5	En caso de fallo los daño son GRAVES E IRREPARABLES en las personas y medio ambiente (violacion a las normal ambientales)	5
	Si produce un accidente tiene consecuencias sobre todos los equipos de planta y a todas las personas	4	Accidentes y/o incidentes con ocurrencia mensual entre 1 y 4.	4	En caso de fallo el nivel gravedad es ALTO en las personas y el medio ambiente (violación a las normas ambientales).	4
	Si produce un accidente tiene consecuencias sobre varios equipos del área y sus controladores	3	Accidentes y/o incidentes con ocurrencia semestral (1)	3	En caso de fallo el nivel gravedad es MEDIO en las personas y el medio ambiente.(con probabilidad de violación a las normas ambientales)	3
	Si produce un accidente tiene consecuencias unicamente al equipo y al controlador	2	Accidentes y/o incidentes con ocurrencia anual (1)	2	En caso de fallo el nivel gravedad es BAJO en la personas o el medio ambiente. (sin violación a las normas ambientales)	2
	No tiene consecuencias sobre el equipo ni el controlador	1	No se han presentado accidentes incidentes	1	Ninguno	1
Fuente: Los Autores						

- Disponibilidad: Se analizan todas las pérdidas de tiempo y cuando se tiene al menos un paro mayor a 8 horas en toda la planta diariamente, dicho riesgo se considera con la calificación más alta. Por el contrario, cuando se tiene un equipo de respaldo que solo genera una pérdida menor a 10 min y se presenta al menos una vez al año, se califica con el riesgo con la puntuación más baja. La información base para determinar el impacto es el Tiempo Medio de Reparación (MTTR) calculado para un periodo de un mes.

Tabla 4. Evaluación de Criticidad por Disponibilidad.

ASPECTO VARIABLE	CONSECUENCIA	CAL	OCURRENCIA	CAL	IMPACTO	CAL
DISPONIBILIDAD	Para toda la Planta	5	Presenta al menos un paro diario	5	Presenta alta incidencia de Paros > 8 horas	5
	Para un área	4	Presenta al menos un paro semanal	4	Presenta alta incidencia de Paros entre 4 y 8 horas	4
	Para la Línea completa	3	Presenta al menos un paro mensual	3	Presenta alta incidencia de Paros entre 1 y 4 horas	3
	Para sólo la máquina	2	Presenta al menos un paro trimestral	2	Presenta alta incidencia de Paros < 1 hora	2
	Existe Stand By	1	Presenta al menos un paro anual	1	No hay registro de paros mayores a 10 min.	1
Fuente: Los Autores						

- Calidad: Esta variable contempla la calificación del riesgo en función del número de defectos que puede generar al producto final, la gravedad de estos defectos que incluso generen roturas o segundas y la frecuencia con la cual se presentan. Dichos niveles se determinan en función de la experiencia y las matrices de calidad donde están consignadas las variables críticas de proceso, las cuales ya cuenta la planta. El caso de mayor puntaje se presenta cuando se tienen al menos 5 defectos, durante un turno que envían toda la producción a rotura. Por el contrario, cuando no se tiene ningún impacto en las variables críticas y en los defectos de producción en al menos un periodo cercano al año, se obtiene un puntaje muy bajo en la calificación del riesgo asociado a esta variable.

Tabla 5. Evaluación de Criticidad por Calidad.

ASPECTO VARIABLE	CONSECUENCIA	CAL	OCURRENCIA	CAL	IMPACTO	CAL
	CALIDAD	Puede generar 5 o más tipos de defectos de calidad	5	Produce defectos de calidad al menos una vez al turno	5	MUY ALTA incidencia en las variables de calidad del producto no apto para el mercado (rotura)
Puede generar entre 3 y 4 tipos de defectos de calidad		4	Produce defectos de calidad al menos una vez al día	4	ALTA incidencia en las variables de calidad del producto en ocasiones no apto para el mercado (rotura ocasional)	4
Puede generar entre 1 y 2 tipos de defectos de calidad		3	Produce defectos de calidad al menos una vez a la semana	3	MEDIA incidencia en las variables de calidad del producto con generación de calidad segunda.	3
Puede generar al menos 1 tipo de defecto de calidad		2	Produce defectos de calidad al menos una vez al mes	2	BAJA incidencia en las variables de calidad del producto con generación ocasional de calidad segunda.	2
No genera ningún defecto de calidad		1	Produce defectos de calidad al menos una vez al año	1	NINGUNA incidencia en las variables de calidad del producto.	1
Fuente: Los Autores						

- Costos: En esta variable se evalúa los costos mensuales de mantenimiento, el impacto en costo de producción y el tiempo programado de operación.

Tabla 6. Evaluación de Criticidad por Costos.

ASPECTO VARIABLE	CONSECUENCIA	CAL	OCURRENCIA	CAL	IMPACTO	CAL
	COSTO	Costo de reparación y MTTO mensual mayor a 10 millones	5	Operación mayor a 650 horas / mes	5	MUY ALTO impacto en el costo por unidad producida. Sobrecosto mayor al 10%.
Costo de reparación y MTTO mensual entre 6 y 10 millones		4	Operación entre 450 y 650 horas / mes	4	ALTO impacto en el costo por unidad producida. Sobrecosto menor a 10% y mayor al 5%	4
Costo de reparación y MTTO mensual entre 3 y 6 millones		3	Operación entre 200 y 450 horas / mes	3	MEDIO impacto en el costo por unidad producida. Sobrecosto menor al 5% y mayor al 1%.	3
Costo de reparación y MTTO mensual entre 1 y 3 millones		2	Operación entre 100 y 200 horas / mes	2	BAJO impacto en el costo por unidad producida. Sobrecosto menor al 1%.	2
Costo de reparación y MTTO mensual menor a 1 millón		1	Operación menor a 100 horas / mes	1	No impacta en el costo por unidad producida.	1
Fuente: Los Autores						

3.1.2. Aplicación de la Evaluación

La calificación de riesgo en cada variable se calcula como el producto de la consecuencia, la ocurrencia y el impacto, teniendo como máximo valor 125 puntos:

$$\text{RIESGO} = \text{CONSECUENCIA} \times \text{OCURRENCIA} \times \text{IMPACTO}$$

Finalmente para determinar la criticidad del equipo, se suma el riesgo de las cuatro variables, teniendo un máximo de 500 puntos:

$$\text{CRITICIDAD} = \text{SEGURIDAD} + \text{DISPONIBILIDAD} + \text{CALIDAD} + \text{COSTO}$$

Tras realizar dicha Evaluación de Criticidad al 100% de los equipos de la planta (1382 activos), el puntaje más alto alcanzado lo obtuvieron, los Molinos MRV200 con una calificación de 334 puntos, calculados como se observa en la siguiente tabla:

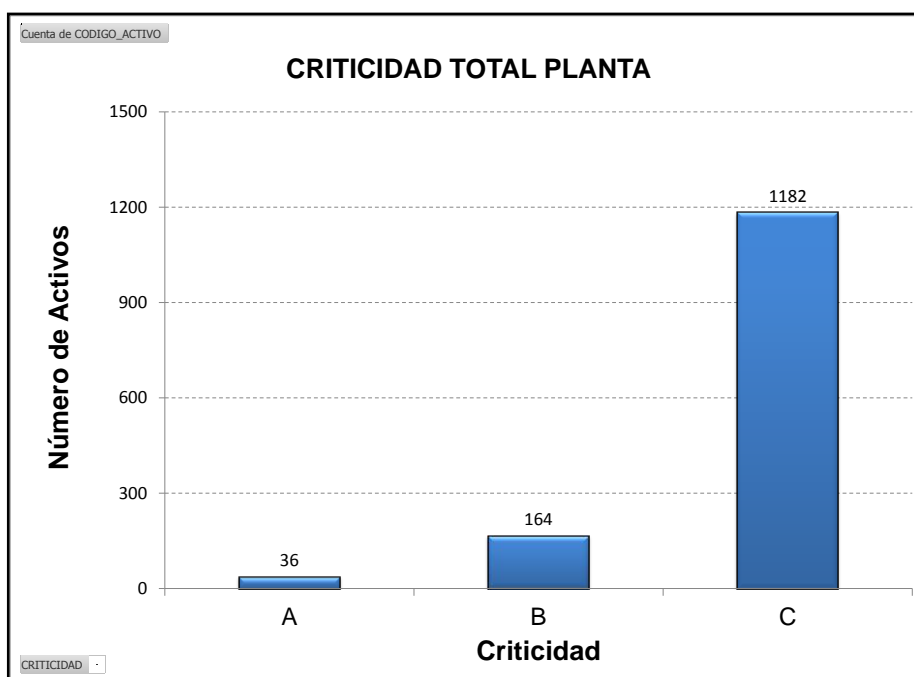
Tabla 7. Evaluación de Criticidad Molino MRV200.

ASPECTO VARIABLE	CONSECUENCIA	CAL	OCURRENCIA	CAL	IMPACTO	CAL	RIESGO	CRITICIDAD	
SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	Si produce un accidente tiene consecuencias sobre la comunidad alrededor de la planta	5	Accidentes con ocurrencia mensual ≥ 4	5	En caso de fallo los daño son GRAVES E IRREPARABLES en las personas y medio ambiente (violación a las normal ambientales)	5	45	334	
	Si produce un accidente tiene consecuencias sobre varios equipos del área y sus controladores	3	Accidentes y/o incidentes con ocurrencia semestral (1)	3	En caso de fallo el nivel gravedad es MEDIO en las personas y el medio ambiente.(con probabilidad de violación a las normas ambientales)	3			
DISPONIBILIDAD	Para toda la Planta	5	Presenta al menos un paro diario	5	Presenta alta incidencia de Paros > 8 horas	5	125		
CALIDAD	Puede generar 5 o más tipos de defectos de calidad	5	Produce defectos de calidad al menos una vez al turno	5	MUY ALTA incidencia en las variables de calidad del producto no apto para el mercado (rotura)	5	100		
	Puede generar entre 3 y 4 tipos de defectos de calidad	4	Produce defectos de calidad al menos una vez al día	4	ALTA incidencia en las variables de calidad del producto en ocaciones no apto para el mercado (rotura ocasional)	4			
COSTO	Costo de reparación y MTTO mensual entre 6 y 10 millones	4	Operación entre 450 y 650 horas /mes	4	ALTO impacto en el costo por unidad producida. Sobrecosto menor a 10% y mayor al 5%	4	64		
Fuente:	Los Autores								

Por otro lado, solo 36 equipos (2,6%), tienen una criticidad superior al 50% del puntaje alcanzado por el equipo más crítico, es decir, superan 167 puntos, los cuales serán denominados de criticidad "A". La experiencia conocida del proceso, permite confirmar este criterio para poder definir este nivel de criticidad.

Para nivel de criticidad "B", se define un puntaje a partir de una calificación de 2 en consecuencia y ocurrencia con un impacto de 3 en las cuatro variables, es decir un puntaje de 48 puntos mínimo. Con esto se obtienen 164 máquinas (11,87%). Al validar los equipos calificados con esta criticidad, la experiencia del proceso permite confirmar este criterio de definición.

Figura 15. Criticidad Total Planta



Fuente: Centro de Información de Planta

En función de esta evaluación se selecciona el equipo objeto de estudio para el cual se diseña el plan piloto de RCM2, teniendo como base toda la información presentada en Marco teórico y los conceptos desarrollados por la compañía en los últimos 10 años.

3.2. INFORMACION GENERAL DEL EQUIPO CRÍTICO

El molino vertical de rodillos tipo MRV 200, es un molino para moler mediante proceso en seco, que permite obtener un molido muy fino de los materiales con valores residuales hasta 0,5% mayores o iguales a 40 micrones, con una capacidad de producción variable según el material y la granulometría de molido deseada. Este equipo es fabricado por la firma LB Officine Meccaniche S.p.A., quien diseña y construye plantas y maquinaria para la industria Cerámica.

Figura 16. Molino MRV 200



Fuente: LB Officine Meccaniche S.p.A.

3.2.1. Ficha Técnica del equipo:

La información del fabricante indica las siguientes especificaciones técnicas:

- Capacidad: ~~---~~ Ton/h con residuo \leq ~~0~~% a ~~---~~ micrones con arcillas rojas.
- Potencia de la pista: ~~---~~ kW.
- Potencia del ventilador filtro: ~~---~~ kW.
- Potencia del clasificador: ~~---~~ kW.

- Capacidad térmica: Entre ~~100000~~ kcal/h y ~~200000~~ kcal/h.
- Flujo de aire: Entre ~~10000~~ Nm³/h y ~~20000~~ Nm³/h.
- Área filtrante: ~~100~~ m²
- Presión máxima del sistema hidráulico de molienda: ~~10~~ Bar.
- Peso total de la maquinaria: ~~100~~ toneladas.⁷

3.3. PLAN DE MANTENIMIENTO

El plan de mantenimiento para estos equipos se construyó en función de la información suministrada por parte del fabricante, basado en tareas de carácter preventivo, abordando solo algunos componentes y validando ciertas condiciones básicas de operación. Un gran número de las actividades implementadas en el plan, estaban concentradas en rutinas de lubricación e inspección, con muy pocas frecuencias claras de cambio de componentes, las cuales están asociadas al cambio de los elementos de molienda.

3.3.1. Inspección

Rutinas donde se realiza la comparación de una variable en un componente frente a una especificación cuantitativa o una referencia marcada en el equipo (Control Visual), con una frecuencia definida. Dichas inspecciones contemplan limpiezas y ajustes y se resumen en un total de 36 actividades agrupadas de la siguiente manera:

- Inspección del nivel de aceite en reductores y centralinas hidráulicas (6 actividades).
- Inspección de tornillos de anclaje, nivelación y alienación de equipos, según control visual (8 actividades).
- Inspección de holguras entre componentes (5 actividades).
- Inspección de presiones de trabajo de los sistemas hidráulicos, de gas y de aire (8 actividades).
- Inspección de diferenciales de presión en filtro de captación de polvo (3 actividades).
- Inspección de transmisiones de correas y cadenas (3 actividades).
- Inspección del estado de componentes internos del molino sometidos a desgaste por abrasión (3 actividades).

⁷ La información presentada a continuación es propiedad de la compañía y por tal motivo no se autoriza su publicación.

- Inspección a posición de micros y sensores según control visual (4 actividades)

3.3.2. Lubricación

Rutinas donde se aplica una cantidad específica del lubricante indicado, con una frecuencia definida, con un total de 7 actividades concentradas en aplicación de grasas en rodamientos y bujes, y otras 3 actividades relacionadas con cambios de aceite.

3.3.3. Cambio de componentes basado en el tiempo (TBM)

La información suministrada por el fabricante no especifica frecuencias de cambio y solo se han determinado algunas, fruto de los aprendizajes del proceso y de las inspecciones realizadas, las cuales están relacionadas con las actividades basadas en condición.

3.3.4. Cambio de componentes basado en condición (CBM)

Respecto a este aspecto, se tiene una tarea crítica relacionada con la medición del desgaste de los cuerpos moledores y en el momento en el cual se cumple con la condición se realiza su cambio, junto con el cambio de los componentes descritos en TBM.

3.4. HISTORIAL DE FALLAS Y PAROS

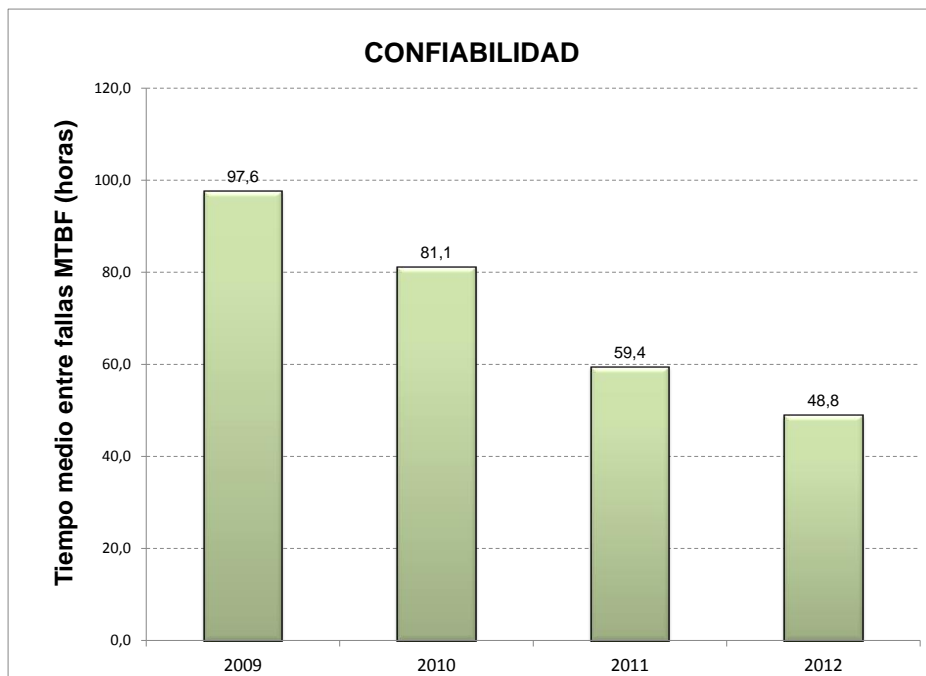
Estos equipos fueron instalados y puestos en funcionamiento a finales del año 2008, con registro de información oficial desde marzo de año 2009. Dado que era una tecnología nueva para la planta e incluso relativamente nueva en el mundo, los aprendizajes fueran simultáneos tanto para la compañía como para el fabricante.

3.4.1. Confiabilidad (MTBF)

A medida que han ido cumpliendo vida varios de los componentes sobre los cuales no se tenía definida ninguna actividad de mantenimiento, el número de paros se ha ido incrementando, muchos de ellos con alta recurrencia consecuencia del bajo conocimiento del equipo. Los datos de confiabilidad que se presentan a continuación, se encuentran en base al tiempo programado de operación, 480 horas mensuales.

$$\text{Confiabilidad} = \frac{480[h/mes] \times 12[mes]}{\text{Número de paros}} = \text{MTBF}[h]$$

Figura 17. Confiabilidad MRV200 2009-2012



Fuente: Los autores

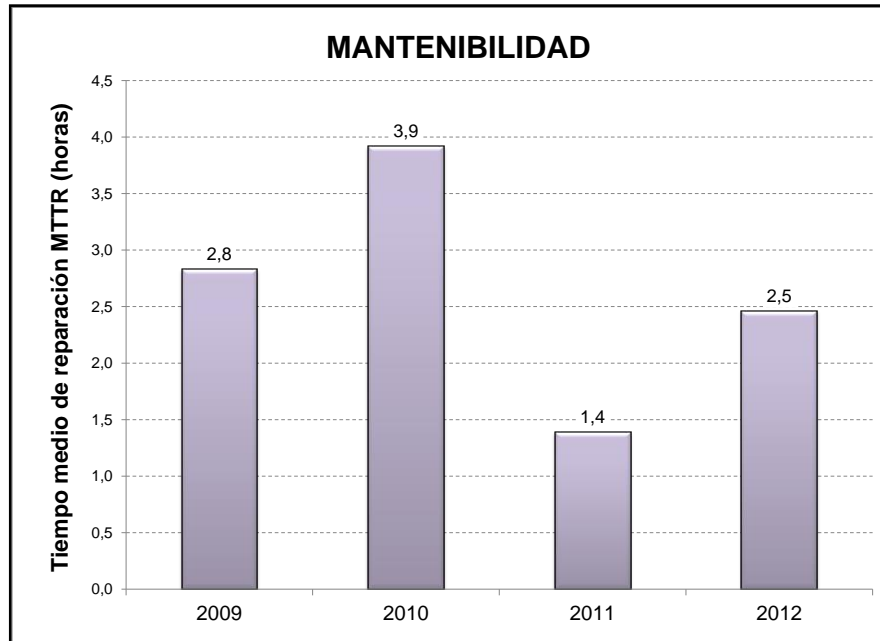
3.4.2. Mantenibilidad (MTTR)

Los paros que ha tenido el equipo en algunas ocasiones han tomado varios días de reparación, dado que se requiere realizar consultas al fabricante y poder tomar decisiones para reestablecer las condiciones de operación del equipo. A esto se le suma el movimiento de componentes de gran tamaño y peso, la búsqueda de proveedores con la capacidad de atender la urgencia y los desplazamientos hacia Bogotá.

La avería más representativa se presentó en el año 2010, con una duración de 6 días y 8 horas, donde se destruyó el rodamiento de uno de los rodillos de molienda. En el 2012 se tuvieron fallas constantes en el circuito hidráulico de presión de rodillos, por el deterioro de empaques y la obstrucción de válvulas. Dicho indicador es calculado en función del número de paros y la duración total de los mismos:

$$\text{Mantenibilidad} = \frac{\sum \text{Tiempos perdidos}[h]}{\text{Número de paros}} = \text{MTBF}[h]$$

Figura 18. Mantenibilidad MRV200 2009-2012



Fuente Los autores

4. DESARROLLO DEL MODELO PROPUESTO

4.1. EQUIPO DE TRABAJO

El primer paso para desarrollar la propuesta es la construcción del equipo de trabajo, para el cual se convocó a los técnicos de mantenimiento del área, tanto eléctricos como mecánicos, los controladores de proceso del equipo de estudio, los controladores de los procesos adyacentes, los supervisores de mantenimiento y producción, en compañía de los facilitadores de la herramienta RCM2. En algunos casos se consultó con el equipo de ingeniería encargado del montaje y de igual forma con los fabricantes.

Se programaron sesiones de trabajo de 2 horas quincenales con todo el equipo y reuniones ocasionales con algunos integrantes para tratar temas específicos, con los cual se tuvo una participación muy integral en todos los aspectos de la metodología.

Figura 19. Equipo de Trabajo RCM

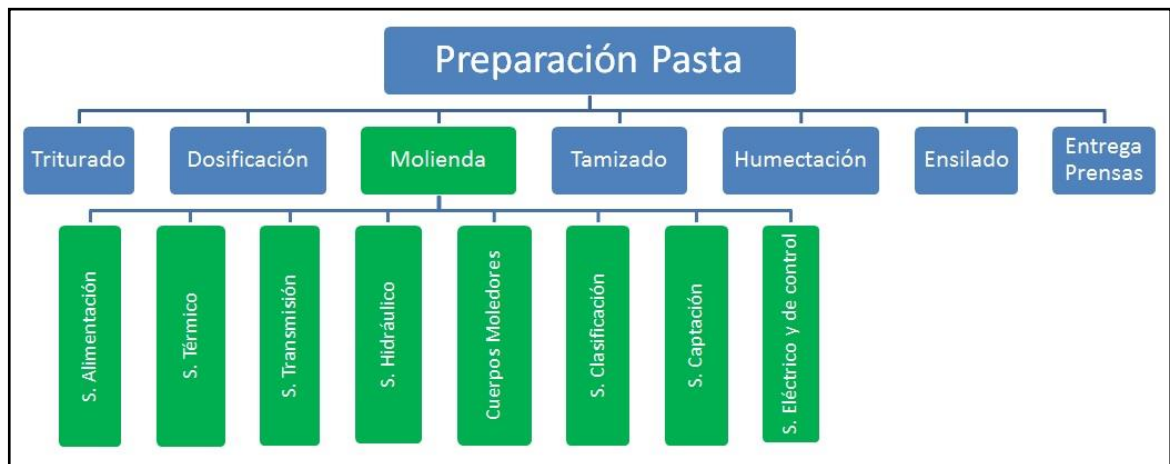


Fuente: Los Autores

4.2. ARBOL TAXONÓMICO

Se construye el árbol taxonómico partiendo del macro proceso al cual pertenece nuestro equipo objeto de estudio, es decir, el proceso de preparación pasta y los subprocesos con los cuales interactúa; a su vez los 8 sistemas que constituyen la molienda, los cuales fueron definidos según las funciones específicas que cada uno de ellos desarrolla durante el proceso. Es importante resaltar que los procesos siguientes como el Tamizado y la Humectación, pueden influir en los paros de la molienda al tratarse de proceso continuo y por ello no son parte de este estudio.

Figura 20. Árbol Taxonómico

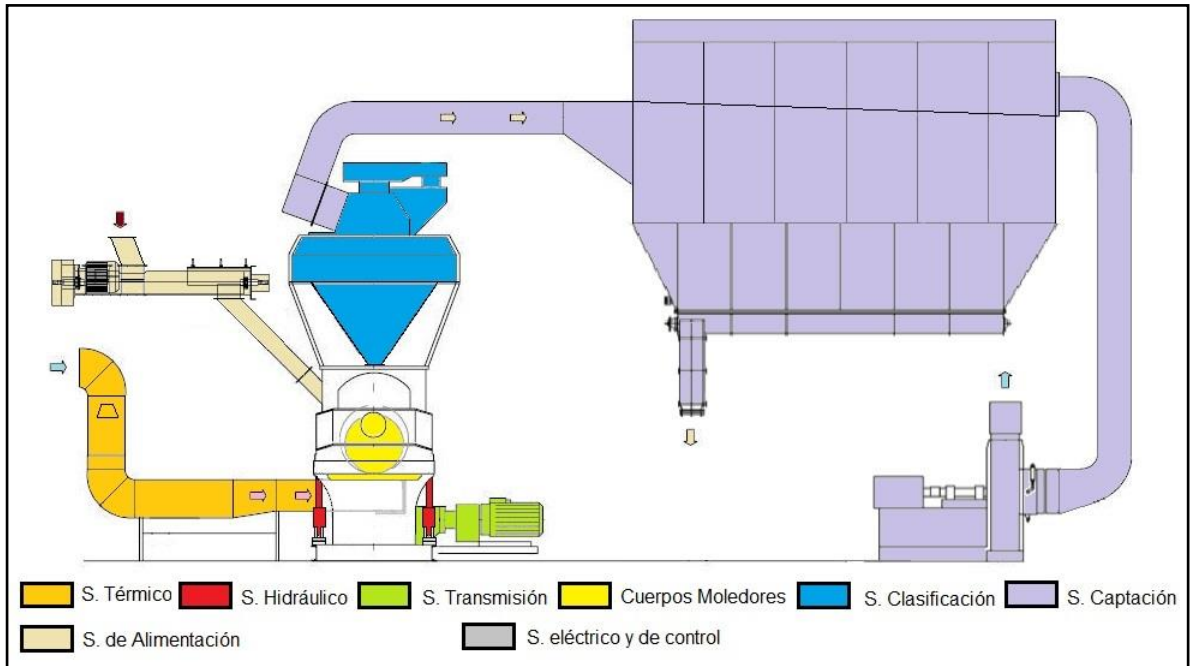


Fuente Los autores

A continuación se presenta en forma gráfica, la disposición física donde se encuentran ubicados cada uno de los sistemas que conforman la molienda y sobre los cuales se hará referencia a lo largo del desarrollo de la metodología, identificados con diferentes colores. Adicionalmente se señalan las entradas y salidas de las materias primas, el producto y el aire de proceso.

Cabe resaltar que el Sistema Eléctrico y de Control contempla desde los tableros de control y potencia alimentados desde un ML exclusivo para todos los equipos que componen la Molienda, hasta todos aquellos elementos o componentes que se encuentran a lo largo del proceso, incluyendo las estaciones de operación principal y esclava.

Figura 21. Sistemas del proceso de Molienda



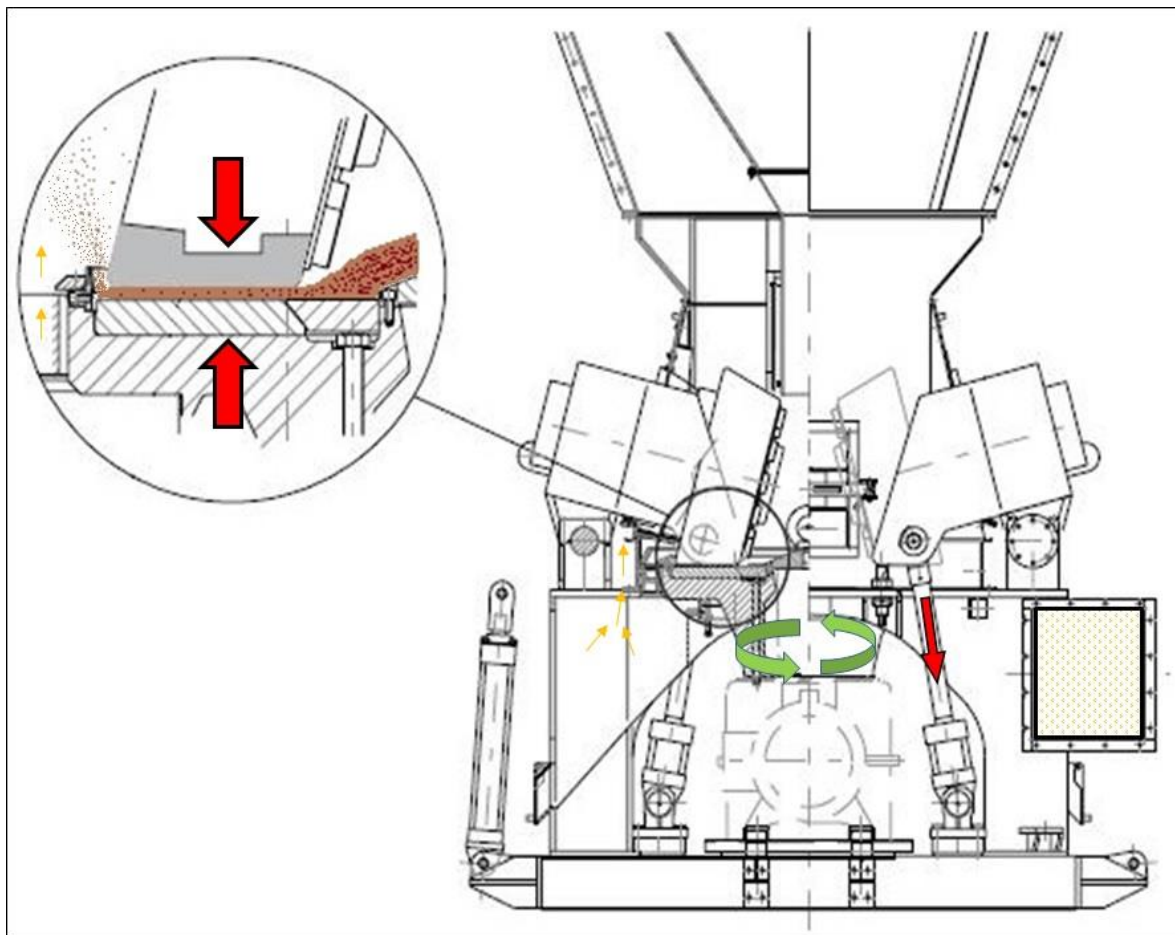
Fuente Los autores

4.3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE MOLIENDA

Este proceso recibe de una combinación de los diferentes insumos que componen la formulación de la pasta con diferentes distribuciones granulométricas, como se mencionó en la contextualización de este documento. Esta combinación de insumos son almacenados en tolvas con una capacidad de \approx toneladas. A partir de allí, en la descarga de la tolva se encuentra una compuerta de regulación manual que permite entregar a un tornillo sin fin, que se encarga de dosificar la materia prima de manera controlada por un variador de velocidad hacia al interior del molino.

En el interior del molino se encuentra una pareja de rodillos giratorios libres que se encuentran en contacto a través del producto con una pista giratoria motriz, zona en la cual se realiza el proceso de molienda debido a la presión ejercida entre estos 2 componentes. Dicha presión es ejercida por un grupo de pistones que por medio del sistema hidráulico, específicamente de unos acumuladores precargados con nitrógeno, se mantiene dentro de un rango específico programado para la operación.

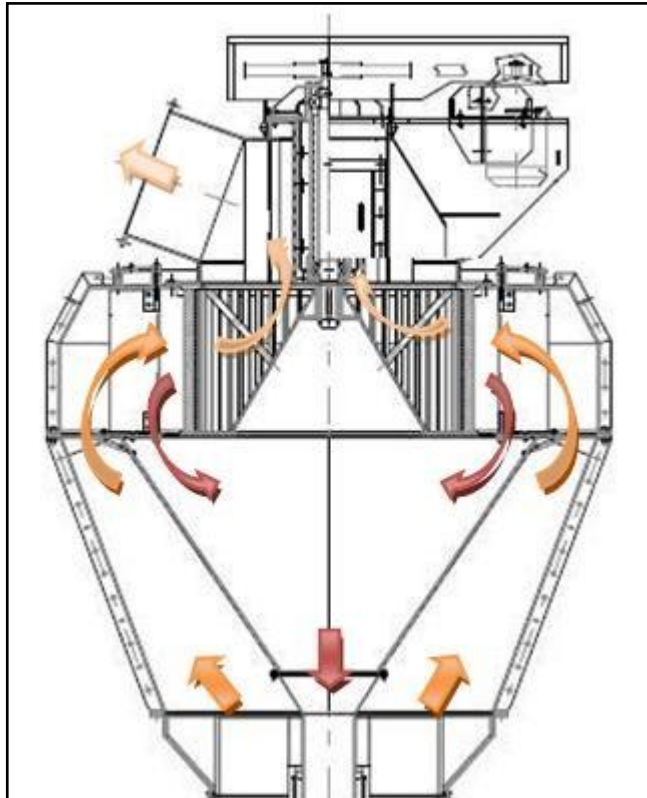
Figura 22. Proceso de Molienda



Fuente Los autores

El material que ingresa al molino, tras ser molido es transportado hacia la parte superior, debido a un flujo de aire generado por la succión del ventilador del filtro de captación de polvo y que ingresa caliente por la parte inferior alrededor de la pista, gracias a un conducto donde se encuentra un quemador a gas natural, requerido a una temperatura específica para reducir la humedad de la materia prima. Antes de salir de la cámara del molino, el producto cruza un clasificador dinámico encargado de permitir el paso solo de las partículas con un tamaño específico y las rechazadas son regresadas a la cámara de molienda por gravedad. Esto se logra controlando la velocidad del clasificador dinámico por medio de un variador electrónico.

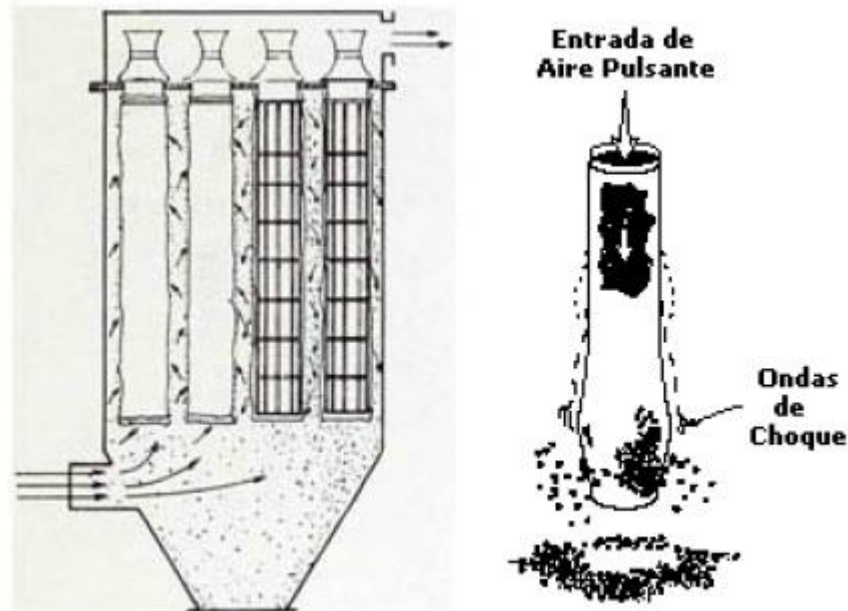
Figura 23. Funcionamiento Clasificador Dinámico



Fuente: Los Autores

Posteriormente el flujo combinado de aire y producto pasa a través de un filtro de captación de polvo, donde un grupo de mangas retiene el material particulado permitiendo el paso únicamente del aire hacia el ambiente con un porcentaje de humedad. Dichas partículas van cayendo por gravedad al fondo del filtro donde se encuentra un tornillo sinfín que dosifica la descarga del material hacia unas válvulas denominadas Tip-Tap, que se encargan de mantener la hermeticidad del filtro. El filtro cuenta con un sistema de limpieza de mangas con pulsos de aire comprimido denominado "Pulse Jet", el cual se programa para mantener un nivel de saturación que permita el equilibrio entre el flujo del aire y la descarga del producto. A partir de allí el material molido es transportado y dosificado al siguiente proceso de tamizado por medio de sinfines y válvulas tipo estrella, donde se retiran los algunos sobre tamaños y adicionalmente se realiza el control de las variables del producto, granulometría y humedad.

Figura 24. Filtro de mangas y sistema Pulse Jet



Fuente: Los Autores.

4.4. DEFINICIÓN DE FRONTERAS

Las fronteras se definieron a partir de los puntos de interacción con el proceso anterior y el proceso siguiente, es decir a partir del sinfín alimentador, hasta las válvulas de descarga Tip-Tap. A partir de allí es posible definir las entradas y salidas de cara al material procesado⁸.

4.4.1. Entradas

El proceso de molienda tiene 2 entradas en función del material y otras entradas en función de la operación:

- Por el lado del sinfín alimentador ingresa material grueso con tamaños de partícula desde ~~200~~ micras hasta ~~2~~ mm, compuesto por arcillas, roturas, caliza y material a reprocessar, con una humedad de ~~10~~%.
- Por el ducto del sistema térmico ingresa aire medio ambiente.

⁸ La información presentada a continuación es propiedad de la compañía y por tal motivo no se autoriza su publicación

- También se tienen como entradas energía eléctrica de 440V a 60hz, gas natural a una presión de ~~≠~~ bares, aire comprimido a ~~≠~~ bares de presión.

4.4.2. Salidas

Las salidas también se dan por vías de cara al producto y otras de cara a la operación:

- Descarga de las válvulas Tip-Tap, sale el producto molido con un ~~≠~~% de partículas con un tamaño inferior a ~~≠~~ micras con una humedad de ~~≠~~%.
- Salida de aire al medio ambiente por medio del ventilador del filtro de captación de mangas, con el porcentaje de humedad retirado del material y los demás productos del proceso de combustión del sistema térmico a base de gas natural.
- Señales de control, alarma y estado.

4.5. HOJA DE TRABAJO RCM

A continuación se inicia la construcción de la Hoja de Trabajo, donde será consignada toda la información requerida por los pasos para el desarrollo del modelo de RCM para el equipo de estudio.

Dicha Hoja de trabajo contendrá los siguientes ítems:

- Elemento de estudio.
- Características técnicas del elemento.
- Condiciones operacionales.
- Condiciones ambientales.
- Fronteras
- Interfaces
- Código de función (Ej: CF 1)
- Función
- Código de falla funcional (Ej: CFF 1A)
- Falla funcional.
- Código del modo de la falla funcional (Ej: CMFF 1A1)
- Modo de falla funcional.
- Efecto de la falla funcional.
- Falla oculta (Si/No)
- Calificación del riesgo Ambiental en función de la matriz.
- Calificación del riesgo Humano en función de la matriz.

- Calificación del riesgo Económico en función de la matriz.
- Calificación del riesgo a la imagen de la compañía en función de la matriz.
- Valorización económica de los impactos generados.
- Código del tipo de decisión en función de la Hoja de decisión
- Descripción de la tarea de mantenimiento que evitara que se presente el modo de falla.

4.6. DEFINICIÓN DE FUNCIONES

Con la información recolectada hasta el momento, como lo son las entradas, las salidas y las condiciones ambientales del equipo, es posible construir la definición tanto de la función principal como de las funciones secundarias, teniendo en cuenta los criterios mencionados en el marco teórico. Dicha información básica ya se encuentra registrada en la hoja de trabajo RCM.

Tabla 8. Hoja de trabajo RCM - Información básica

ELEMENTO DE ESTUDIO	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ELEMENTO	CONDICIONES OPERACIONALES	CONDICIONES AMBIENTALES	FRONTERAS (PLANO-DIAGRAMA)	INTERFASES
SISTEMA DE MOLIENDA	Capacidad: $\leftarrow \rightarrow$ Ton/h con residuo $< \square \%$ a $\leftarrow \rightarrow$ micrones. Potencia de la pista: $\leftarrow \rightarrow$ kW. Potencia del clasificador: $\square \rightarrow$ kW. Capacidad termica: Entre $\square \rightarrow$ kcal/h y $\square \rightarrow$ kcal/h. Flujo de aire: Entre \rightarrow Nm ³ /h y \leftarrow Nm ³ /h	Tamaño material de ingreso: entre \leftarrow mm y \rightarrow mm. Tamaño material de salida: $\leftarrow \rightarrow$ % sobre malla $\square \rightarrow$. % Humedad de entrada máximo \rightarrow % y de salida $\square \rightarrow$ %. Tension de alimentación \rightarrow V a 60hz.	Abrasión en componentes por arcillas	Entrada: Silo de almacenamiento de material a moler Salida: Sinfines de transporte hacia los tamices.	Entra: Energía eléctrica, térmica, hidráulica, señales de control y materia prima
Fuente	Los Autores				

4.6.1. Función principal

Esta definición contiene la razón de ser del equipo y el motivo por el cual fue seleccionado. Se define como función principal:

- Reducir el tamaño granulométrico de las materias primas según Ficha Técnica, con un \leftarrow % inferior a \leftarrow micras, con una humedad de \leftarrow % + \leftarrow %, con un rendimiento mínimo de \leftarrow Ton/h.

4.6.2. Funciones secundarias:

Teniendo en cuenta otros aspectos con los cuales debe cumplir el equipo durante su operación, como la seguridad de las personas, del equipo, el medio ambiente, los desperdicios de material y las normas que se deben cumplir como por ejemplo el manejo de gas natural y su proceso de combustión. También se hace un recorrido por la función principal de cada uno de los sistemas que componen la molienda y se analiza si ya está contemplada dentro de la función principal o si puede definir alguna función secundaria. A partir de allí se definen las siguientes funciones secundarias:

- Detener la maquina al accionar los hongos de emergencia.
- Operar con la compuerta de inspección con una apertura máxima de 1 mm.
- Permitir la salida del 100 % material solo por las válvulas Tip-Tap.
- Operar con un máximo de 1000 mmH₂O de depresión en el filtro.
- Operar con un máximo de 0,4 IPS Pico de vibración en los rodamientos del ventilador.
- Impedir el contacto directo de los rodillos con la pista.
- Operar con máximo 50 mmH₂O de ingreso de aire frio al sistema.
- Operar con un máximo de emisiones de material particulado de 150 mg/m³.
- Operar con un máximo 1000ppm de fugas de gas natural.
- Operar con un máximo de 50 ppm de CO durante el proceso de combustión.
- Operar con un consumo máximo de 100 CFM de aire comprimido.
- Operar con al menos el nivel mínimo de aceite en la centralina.
- Operar con al menos 45 Bar de presión de nitrógeno en los acumuladores del sistema hidráulico.
- Operar con al menos 5MΩ de aislamiento en las estructuras frente a corto circuito.

Las normas colombianas revisadas para la determinación de estas funciones son:

- Normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas, Resolución 0909 de Junio 5 de 2008.
- Reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE), Resolución No. 9 0708 de Agosto 30 de 2013.
- Reglamento técnico de instalaciones internas de gas combustible, Resolución No. 9 0902 de 24 de Octubre de 2013.

4.7. FALLAS FUNCIONALES

4.7.1. Fallas funcionales de la función principal

Inicialmente, las fallas por las cuales se puede perder la función principal del equipo están relacionadas con la detención total o parcial del equipo, la cual se puede generar por una anomalía detectada por el sistema de control. La detención parcial para este equipo se conoce como “parada breve” y detiene por unos minutos la alimentación del equipo y la presión ejercida por los rodillos sobre la pista, lo cual permite el paso de partículas de mayor tamaño por el clasificador dinámico al cambiar los flujos de aire e implica estar por fuera de las especificaciones del producto de salida. Por otro lado, está la falla relacionada con la reducción de rendimiento por debajo de lo definido en la función principal. Las fallas relacionadas con la no obtención de la humedad requerida están asociadas al comportamiento del sistema de combustión, monitoreado por el sistema de control que su vez generaría alguna de las fallas ya mencionadas. Estas 3 fallas funcionales de la función principal quedan registradas en la Hoja de Trabajo como se ve en la siguiente tabla:

Tabla 9. Fallas funcionales de la función principal

CF	FUNCIONES	CFF	FALLA FUNCIONAL
1	Reducir el tamaño granulométrico de las materias primas según Ficha Técnica, con un 92% inferior a 150 micras, con una humedad de 3% +- 0.5%, con un rendimiento mínimo de 30 Ton/h	1A	La maquina se detiene subitamente
1	Reducir el tamaño granulométrico de las materias primas según Ficha Técnica, con un 92% inferior a 150 micras, con una humedad de 3% +- 0.5%, con un rendimiento mínimo de 30 Ton/h	1B	La maquina se encuentra en parada breve
1	Reducir el tamaño granulométrico de las materias primas según Ficha Técnica, con un 92% inferior a 150 micras, con una humedad de 3% +- 0.5%, con un rendimiento mínimo de 30 Ton/h	1C	El rendimiento del molino es inferior a 30 Ton/h

Fuente Los autores

4.7.2. Fallas funcionales de las funciones secundarias

Las fallas que afectan los aspectos de seguridad a las personas, al medio ambiente, la contención de material y fluidos son las siguientes:

Tabla 10. Fallas funcionales de las funciones secundarias

CF	FUNCIONES	CFF	FALLA FUNCIONAL
2	Detener la maquina al accionar los hongos de emergencia	2A	La maquina no se detiene tras la activación de los hongos de emergencia
3	Operar con la compuerta de inspección con una apertura máxima de 1 mm.	3A	La maquina opera con la compuerta de inspección abierta mas de 1 mm.
4	Permitir la salida del 100 % material solo por las válvulas Tip-Tap	4A	Existe salida de material por otros componentes
5	Operar con máximo de 1000 mm H ₂ O de depresión en el Filtro	5A	La depresión del filtro supera los 1000 mmH ₂ O.
6	Operar con un máximo de 0,4 IPS Pico de vibración en los rodamientos del ventilador	6A	La vibracion en los rodamientos del ventilador supera 0,4 IPS
7	Impedir el contacto directo de los rodillos con la pista	7A	Los rodillos tienen contacto con la pista.
8	Operar con un máximo 50 mmH ₂ O de ingreso de aire frio al sistema	8A	Ingresa mas 50 mmH ₂ O de aire frio al sistema
9	Operar con un máximo de emisiones de material particulado de 150 mg/m ³	9A	Las emisiones de material particulado superan 150 mg/m ³
10	Operar con un máximo 1000ppm de fugas de gas natural.	10A	Las fugas de gas superan 1000ppm.
11	Operar con un máximo de 50 ppm de CO en el proceso de combustión	11A	El CO supera los 50 ppm durante el proceso de combustión.
12	Operar con un consumo máximo de 100 CFM de aire comprimido	12A	El consumo de aire supera 100CFM
13	Operar con al menos el nivel mínimo de aceite en la centralina	13A	El nivel de aceite de la centralina es inferior al minimo
14	Operar con al menos 45 Bar de presión de nitrógeno en los acumuladores del sistema hidráulico.	14A	La presión de nitrógeno en los acumuladores es inferior a 45Bar.
15	Operar con al menos 5MΩ de aislamiento en las estructuras frente a corto circuito.	15A	El aislamiento en las estructuras frente a corto circuito es inferior a 5MΩ.
Fuente Los autores			

4.8. MODOS DE FALLA Y EFECTOS DE FALLA

Durante la definición de los modos de falla se determina los efectos de falla, teniendo como fuente de información la hoja de vida del equipo, el historial de fallas, junto con el conocimiento y la experiencia de todos los integrantes del equipo. Adicionalmente se cuestionan situaciones que aún no se hayan presentado, pero que se consideran probables:

4.8.1. Modos y efectos de falla de la función principal

En primer lugar se definen estos modos y efectos para la falla relacionada con la detención súbita del equipo. Los efectos están relacionados con el tiempo que toma reestablecer las condiciones de operación, ya que es el efecto de mayor impacto.

Tabla 11. Modos y efectos de la falla 1A

CFF	FALLA FUNCIONAL	CMFF	MODO DE FALLA FUNCIONAL	EFECTO DE LA FALLA
1A	La maquina se detiene subitamente	1A1	Falla el sensor de movimiento del clasificador Dinámico, por impacto con la leva.	Para la operación por 30 minutos por cambio del sensor
1A	La maquina se detiene subitamente	1A2	Falla el aislamiento del motor del clasificador dinámico	Para la operación por 3 horas por cambio del motor
1A	La maquina se detiene subitamente	1A3	Fallan los rodamientos del motor del clasificador, por falta de lubricación	Para la operación por 3 horas por cambio del motor
1A	La maquina se detiene subitamente	1A4	Falla del variador del clasificador dinamico, por exceso de temperatura	Para la operación por 2 horas por cambio del variador
1A	La maquina se detiene subitamente	1A5	Fallan las correas del clasificador dinamico	Para la operación por 1 hora por cambio de las correas
1A	La maquina se detiene subitamente	1A6	Fallan los rodamientos del clasificador, por falta de lubricación	Para la operación por 6 días por cambio del clasificador

1A	La maquina se detiene subitamente	1A7	Falla el sensor de movimiento del ventilador del filtro, por impacto con la leva.	Para la operación por 30 minutos por cambio del sensor
1A	La maquina se detiene subitamente	1A8	Falla el aislamiento del motor del ventilador del filtro	Para la operación por 4 días por cambio del motor ventilador filtro
1A	La maquina se detiene subitamente	1A9	Fallan los rodamientos del motor del ventilador del filtro, por falta de lubricacion	Para la operación por 4 días por cambio del motor ventilador filtro
1A	La maquina se detiene subitamente	1A10	Falla del variador del ventilador, por exceso de temperatura	Para la operación por 4 horas por cambio de los ventiladores de refrigeración del variador
1A	La maquina se detiene subitamente	1A11	Falla del variador del ventilador, por error de comunicación.	Para la operación por 4 horas por cambio del modulo de comunicaciones
1A	La maquina se detiene subitamente	1A12	Falla la rejilla del acople del ventilador filtro, por falta de lubricación.	Para la operación por 4 horas por cambio de la rejilla del acople
1A	La maquina se detiene subitamente	1A13	Fallan los rodamientos del ventilador por falta de lubricación	Para la operación por 4 días por cambio de los rodamientos del ventilador filtro
1A	La maquina se detiene subitamente	1A14	Fallan los rodamientos del ventilador por vibraciones generadas por desbalanceo	Para la operación por 4 días por cambio de los rodamientos del ventilador filtro

Fuente: Los Autores

De igual forma se construyen los modos y efectos de falla para las de más fallas funcionales de la función principal, es decir los relacionados con la detención parcial del equipo, o paradas breves y con la perdida de rendimiento del equipo.

4.8.2. Modos y efectos de falla de las funciones secundarias

Durante el análisis de la función principal se identificaron un gran número de modos y efectos de falla, que incluso se pueden presentar para las demás fallas funcionales, reduciendo el número restante de modos de falla a analizar por cada una de las funciones secundarias. Dichos modos y efectos de falla se encuentran en el Anexo 1.

4.9. CONSECUENCIAS DE FALLA

Las consecuencias se evalúan en 4 aspectos, el riesgo ambiental, el riesgo a la seguridad, el riesgo económico y la imagen de la compañía, junto con la probabilidad de que ocurra el modo de falla. Dicha calificación se ubica en la siguiente matriz:

Tabla 12. Matriz de evaluación de consecuencias RCM.

CONSECUENCIAS				NIVEL	PROBABILIDAD						
HUMANAS	AMBIENTALES	COSTOS	IMAGEN		IMPOSIBLE	IMPROBABLE	REMOTO	OCASIONAL	MODERADO	FRECUENTE	
Más de un muerto	Efectos irreversibles	>100 M	Internacional	Catastrófico	1						
Incapacidad permanente	Efectos irreversibles en menos de 2 años	ENTRE 100M - 10M	Nacional	Crítico	2						
Incapacidad temporal	Efectos reversibles en menos de 6 meses	ENTRE 10 M- 1M	Regional	Marginal	3						
Lesiones	Efectos pueden ser controlados	ENTRE 1M-.05M	Local	Insignificante	4						
Ninguna	No afecta el medio ambiente	<0.05M	Ninguno	Ninguno	5						
						> 10 Años	< 10 Años	< 5 Años	< 2 Años	< 6 Meses	± 1 Mes
						A	B	C	D	E	F

Fuente: ORTIZ, Daniel. Especialización en Gerencia de Mantenimiento -Notas de clase. UIS, 2013.

Partiendo de esta evaluación de consecuencias y adicionalmente identificando si la falla es oculta o no, para los modos de fallo 1A1 a 1A14 y valorizando económicamente su riesgo, se obtiene el siguiente resultado:

Tabla 13. Consecuencias de Falla

CMFF	MODO DE FALLA FUNCIONAL	EFEECTO DE LA FALLA	FALLA OCULTA	R. AMB.	R. HUM.	R. ECON.	R. IMAGEN	VALOR DEL RIESGO
1A1	Falla el sensor de movimiento del clasificador Dinámico, por impacto con la leva.	Para la operación por 30 minutos por cambio del sensor	NO	C5	C5	C4	C5	\$ 200.000
1A2	Falla el aislamiento del motor del clasificador dinámico	Para la operación por 3 horas por cambio del motor	NO	C4	C5	C3	C5	\$ 10.000.000
1A3	Fallan los rodamientos del motor del clasificador, por falta de lubricación	Para la operación por 3 horas por cambio del motor	NO	D5	D5	D3	D5	\$ 1.500.000

1A4	Falla del variador del clasificador dinámico, por exceso de temperatura	Para la operación por 2 horas por cambio del variador	NO	C5	C5	C3	C5	\$ 4.000.000
1A5	Fallan las correas del clasificador dinámico	Para la operación por 1 hora por cambio de las correas	NO	E4	E5	E4	E5	\$ 1.000.000
1A6	Fallan los rodamientos del clasificador, por falta de lubricación	Para la operación por 6 días por cambio del clasificador	NO	A5	A4	A2	A5	\$ 90.000.000
1A7	Falla el sensor de movimiento del ventilador del filtro, por impacto con la leva.	Para la operación por 30 minutos por cambio del sensor	NO	C5	C5	C4	C5	\$ 200.000
1A8	Falla el aislamiento del motor del ventilador del filtro	Para la operación por 4 días por cambio del motor ventilador filtro	NO	B5	B5	B2	B5	\$ 80.000.000
1A9	Fallan los rodamientos del motor del ventilador del filtro, por falta de lubricación	Para la operación por 4 días por cambio del motor ventilador filtro	NO	B5	B5	B3	B5	\$ 12.000.000
1A10	Falla del variador del ventilador, por exceso de temperatura	Para la operación por 4 horas por cambio de los ventiladores de refrigeración del variador	NO	C5	C5	C3	C5	\$ 2.000.000
1A11	Falla del variador del ventilador, por error de comunicación.	Para la operación por 4 horas por cambio del módulo de comunicaciones	NO	C5	C5	C3	C5	\$ 5.000.000
1A12	Falla la rejilla del acople del ventilador filtro, por falta de lubricación.	Para la operación por 4 horas por cambio de la rejilla del acople	NO	D5	D5	D4	D5	\$ 2.000.000
1A13	Fallan los rodamientos del ventilador por falta de lubricación	Para la operación por 4 días por cambio de los rodamientos del ventilador filtro	NO	D5	D3	D3	D5	\$ 6.000.000
1A14	Fallan los rodamientos del ventilador por vibraciones generadas por desbalanceo	Para la operación por 4 días por cambio de los rodamientos del ventilador filtro	NO	D5	D4	D3	D5	\$ 6.000.000

Fuente: Los Autores

4.10. HOJA DE DECISIÓN Y TAREAS PROPUESTAS

A partir de los análisis de los riesgos y junto con toda la información recolectada, se contestan las preguntas planteadas en la hoja de decisión (Figura 5) y se definen tareas de mantenimiento que permitan evitar los modos de falla detectados. Adicionalmente se definen frecuencias en función de la experiencia y conocimiento del equipo, junto con los recursos y responsables requeridos para cada actividad.

Tabla 14. Tareas propuestas para los modos de falla

CMFF	MODO DE FALLA FUNCIONAL	TIPO DE DECISION	Descripcion de la tarea	Frecuencia	Responsable	Repuestos y consumibles	Herramientas
1A1	Falla el sensor de movimiento del clasificador Dinámico, por impacto con la leva.	O2	Ajustar sensor de movimiento del clasificador dinamico	1 Mes	Técnico Eléctrico	N.A.	Llave mixta 13
1A2	Falla el aislamiento del motor del clasificador dinámico	O1	Medir aislamiento del motor del clasificador dinamico	2 Meses	Técnico Eléctrico	N.A.	Megger
1A3	Fallan los rodamientos del motor del clasificador, por falta de lubricación	O1	Lubricar los rodamientos del motor de clasificador dinamico	1 Mes	Controlador de proceso	5 gramos, Grasa EP2	Inyector de grasa
1A4	Falla del variador del clasificador dinamico, por exceso de temperatura	O2	Limpia el ventilador del variador del clasificador dinamico	1 Mes	Técnico Eléctrico	N.A.	Destornillador estrella
1A5	Fallan las correas del clasificador dinamico	O3	Cambiar las correas del clasificador dinamico	6 Meses	Técnico Mecánico	3 Correas B151	Juego llaves mixtas
1A6	Fallan los rodamientos del clasificador, por falta de lubricación	O2	Lubricar los rodamientos del clasificador dinamico	1 Mes	Controlador de proceso	5 gramos, Grasa EP2	Inyector de grasa
1A7	Falla el sensor de movimiento del ventilador del filtro, por impacto con la leva.	O2	Ajustar sensor de movimiento del ventilador del filtro	1 Mes	Técnico Eléctrico	N.A.	Llave mixta 13
1A8	Falla el aislamiento del motor del ventilador del filtro	O1	Medir aislamiento del motor del ventilador del filtro	2 Meses	Técnico Eléctrico	N.A.	Megger
1A9	Fallan los rodamientos del motor del ventilador del filtro, por falta de lubricación	O2	Lubricar los rodamientos del motor ventilador del filtro	1 Mes	Controlador de proceso	5 gramos, Grasa EP2	Inyector de grasa
1A10	Falla del variador del ventilador, por exceso de temperatura	O3	Cambiar los ventiladores de refrigeración del variador del ventilador filtro	6 Meses	Técnico Eléctrico	2 Ventiladores Sinamics G90	Juego llaves mixtas y bristol
1A11	Falla del variador del ventilador, por error de comunicación.	O2	Inspeccionar conectores del modulo de comunicaciones del variador ventilador filtro	6 Meses	Técnico Eléctrico	N.A.	Juego llaves mixtas
1A12	Falla la rejilla del acople del ventilador filtro, por falta de lubricación.	O2	Inspeccionar estado de la rejilla del acople ventilador filtro	6 Meses	Técnico Mecánico	N.A.	Juego llaves mixtas
1A13	Fallan los rodamientos del ventilador por falta de lubricación	O2	Lubricar los rodamientos del ventilador del filtro	1 Mes	Controlador de proceso	5 gramos, Grasa EP2	Inyector de grasa
1A14	Fallan los rodamientos del ventilador por vibraciones generadas por desbalanceo	O1	Medir balanceo del rotor del ventilador filtro.	2 Meses	Técnico Mecánico	N.A.	Analizador de vibraciones

Fuente: Los Autores

De este mismo modo se determinan todas las tareas para todos los modos de falla detectados durante la aplicación de la metodología, obteniendo cerca de 180.

4.11. PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN

Partiendo de los estándares construidos para este sistema antes de la aplicación de RCM, se propone una etapa de actualización, complementando todos los campos que sugiere el TPM y los cuales ya fueron mencionados en el marco teórico. Dicha etapa puede tomar cerca de 2 meses.

Figura 25. Ejemplo Estándar de Mantenimiento que requiere actualización.

ESTANDAR DE MANTENIMIENTO										Codigo:			
PLANEADO <input type="checkbox"/> AUTONOMO <input checked="" type="checkbox"/>										Vigente desde:			
LINEA :	SISTEMA HIDRAULICO MOLIENDA			ID Máquina		SISTEMA HIDRAULICO 1214 Y 2214							
DIAGRAMA	No.	Item	Criterio	Método	Herramientas	Tiempo (min)	FRECUENCIA					Persona Resp.	
							T	D	S	Q	M		
	1	INSPECCION PISTONES	SIN FUGAS EXCEIVAS	LUP	VISUAL	10			X			RICARDO FREDEY	
	2	AJUSTE TORNILLOS BRAZO PISTONES (12mm)	TORQUE 8,74kg/m	LUP	TORCOMETRO COPA MACHO 12 mm	1	2	3	4			X	RICARDO FREDEY
	3	INSPECCION PRESION ACUMULADOR	ENTRE 40 Y 50 BAR	LUP	VISUAL	1	2	3	4			X	RICARDO FREDEY
	4	INSPECCION PRESION ACUMULADOR EN PROCESO	ENTRE 70 Y 80 BAR	LUP	VISUAL	1	2	3	4		X		RICARDO FREDEY
	5	INSPECCION VALVULA DE SEGURIDAD	PRESION MAX 120 BAR PARA SU	LUP	VISUAL Y MANUAL	1	2	3	4				RICARDO FREDEY
	6	INSPECCION ESTRANGULADOR DE 3/8	ABIERTO REGULACION AL 90%	LUP	VISUAL Y MANUAL	1	2	3	4		X		RICARDO FREDEY
	7	INSPECCION ESTRANGULADOR DE 1/2	ABIERTO REGULACION AL 50%	LUP	VISUAL Y MANUAL	1	2	3	4		X		RICARDO FREDEY
	8	INSPECCION APERTURA DE CONTROL DE RECARGA ACUMULADOR	PRESION MAX 100 BAR PRESION MIN 50	LUP	VISUAL	1	2	3	4		X		RICARDO FREDEY
	9	AJUSTE DE MANGUERAS HIDRAULICO	SIN FUGAS O PERFORACIONES	LUP	LLAVE FIJA 30 mm Y 32 mm VISUAL	1	2	3	4			X	RICARDO FREDEY
	10	AJUSTE DE SOPORTE MANGUERAS HIDRAULICO (6 mm)	TORQUE 1,16 kg/m	LUP	TORCOMETRO COPA MACHO 5 mm	1	2	3	4			X	RICARDO FREDEY
	11	INSPECCION DE MANGUERAS HIDRAULICO	SIN FUGAS O PERFORACIONES	LUP	VISUAL	1	2	3	4		X		RICARDO FREDEY
	12	INSPECCION REGISTROS SISTEMA HIDRAULICO	ABIERTOS	LUP	VISUAL	1	2	3	4		X		RICARDO FREDEY
	13	CAMBIO DE ACEITE SHELL TELLUS 46	CADA 4000 HORAS	LUP	ACEITE TELLUS 68	1	2	3	4				RICARDO FREDEY
	14	CAMBIO DE FILTROS	CADA 4000 HORAS	LUP	VER LUP	1	2	3	4				RICARDO FREDEY
	15	ANALISIS DE MUESTRAS DEL HIDRAULICO	CADA 1000 HORAS	LUP	MOVIL	1	2	3	4				RICARDO FREDEY
	16	CARGA DE ACUMULADORES	ENTRE 40 Y 50 BAR	SOP	NITROGENO GASEOSO ACOPLE	1	2	3	4				RICARDO FREDEY
	17	INSPECCION ROTULA BRAZO PISTON	DESGASTE MAX 1 mm	LUP	GALGA mm	1	2	3	4		X		RICARDO FREDEY
	18						1	2	3	4			
	19						1	2	3	4			
	20						1	2	3	4			
	21						1	2	3	4			
	22						1	2	3	4			

Nota: (Frecuencia) T= Turno, D=Diariamente, S= Semanalmente, 2S = Cada 2 Semanas, M = Mensual
 1 - ALIMENTACIÓN HIDRAULICA 2 - ALIMENTACIÓN NEUMÁTICA 3 - ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA 4 - ALIMENTACIÓN MATERIA PRIMA

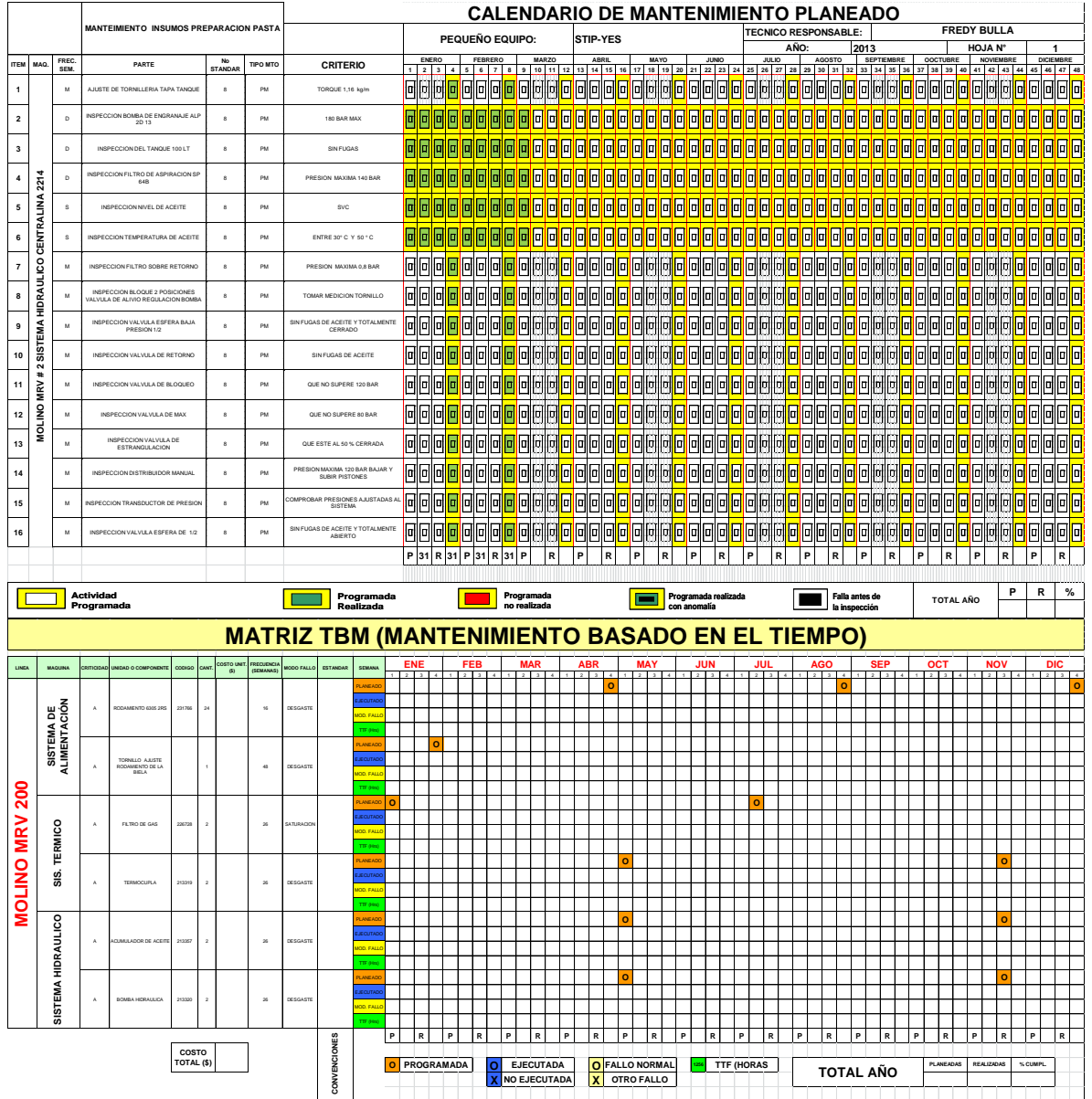
Fuente: Los Autores

Tras la actualización de estándares, se debe iniciar la actualización de los calendarios, donde se realizará el seguimiento y control a las actividades definidas. Allí también serán reportadas anomalías que permitan redefinir actividades que en su construcción no tenían criterios muy claros, especialmente en las frecuencias como suele suceder.

Desde el punto de vista de TPM, se deben actualizar 3 tipos de formatos de control y seguimiento: Los calendarios PM con las actividades de Limpieza, Inspección, Lubricación y Ajuste, los calendarios TBM, con las frecuencias de

cambio de componentes y los gráficos de CBM, con la medición de una variable o condición.

Figura 26. Ejemplo Calendario PM que requiere actualización.



Fuente. Los Autores.

CONCLUSIONES

- El proceso de selección del equipo piloto con herramientas como la matriz de criticidad, donde las variables evaluadas seguridad y medio ambiente, la disponibilidad, la calidad y los costos, permitieron orientar la herramienta de RCM hacia un equipo tan importante para la planta, como el Molino MRV200.
- El análisis de los diferentes aspectos y niveles mencionados en el estudio de criticidad permite tener un panorama muy claro de los activos productivos y su impacto en los resultados integrales de la compañía.
- La definición de la función principal del equipo, fue modificada y complementada de acuerdo a lo estipulado en la metodología RCM, donde contiene la razón de ser del equipo y el motivo por el cual fue seleccionado.
- Durante el desarrollo de la metodología RCM, se realizaron los análisis de principios de funcionamiento de sistemas eléctricos, electrónicos y mecánicos del Molino Vertical, complementando lo realizado con la metodología TPM.
- En la conformación del equipo de trabajo se hizo necesaria la participación del personal operativo que controla el equipo, logrando un mayor involucramiento en el cuidado y diagnóstico de las fallas de los componentes del Molino Vertical.
- La metodología TPM se encuentra muy estructurada en la planta y es la forma en que se trabaja actualmente, pero logramos definir de una manera muy transparente las tareas definidas por la estrategia RCM, para lo cual está en proceso la actualización de los calendarios de Mantenimiento Preventivo, en tareas de Inspección, limpieza y ajuste, al igual que los calendarios TMB y CBM.
- A partir de la investigación, el estudio de RCM y el conocimiento en TPM, se logró interpretar los puntos de interacción de las 2 metodologías, validando su aplicación conjunta para la gestión de mantenimiento en plantas industriales. La metodología de RCM permite determinar una serie de actividades partiendo del impacto de los equipos críticos y las necesidades del proceso, las cuales, son interpretadas, estandarizadas, controladas y aseguradas por medio del TPM.
- En esta etapa de la implementación es prematura dar un resultado del incremento de la disponibilidad y la disminución de los costos de mantenimiento, esta evaluación esperamos tenerla en un periodo aproximado de 6 meses.

BIBLIOGRAFÍA

MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. North Carolina: Aladon Ltd., 2004.

SAE JA1011. Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Proceses. Society of Automotive Engineerings, Inc 1999

SHIROSE Kunio, TPM para Mandos Intermedios de Fábrica. Cambridge, Massachusetts: TORAN, S.A. 2000

SUZUKI, Tokutaro. TPM en las industrias de proceso. Madrid: TGP-Hoshin, 1996.

ANEXOS

Listado de equipos de criticidad A

MÁQUINAS RV. MD			SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE			PRODUCCIÓN			CALIDAD			COSTO			S	P	Q	C	PUNTOS (S+P+Q+C)
ID_EQUIPO	DESCRIPCION_BASICA	FABRICANTE	CONS	OCUR	IMPA	CONS	OCUR	IMPA	CONS	OCUR	IMPA	CONS	OCUR	IMPA	S	P	Q	C	
			ECUE	RENCI	CTO	ECUE	RENCI	CTO	ECUE	RENCI	CTO	ECUE	RENCI	CTO					
551-005	MOLINO MRV 200 I	SACLB	3	3	5	5	5	5	4	5	5	4	4	4	45	125	100	64	334
551-006	MOLINO MRV 200 II	SACLB	3	3	5	5	5	5	4	5	5	4	4	4	45	125	100	64	334
462-008	HORNO RODILLOS N 8	B&T	4	1	3	3	4	3	5	5	5	5	5	5	12	36	125	125	298
462-009	HORNO RODILLOS N 9	B&T	4	1	3	3	4	3	5	5	5	5	5	5	12	36	125	125	298
462-001	HORNO RODILLOS N 1	B&T	4	1	3	4	3	3	5	5	5	5	5	4	12	36	125	100	273
462-007	HORNO RODILLOS N 7	B&T	4	1	3	3	4	3	5	5	5	5	5	4	12	36	125	100	273
462-002	HORNO RODILLOS N 2	B&T	4	1	3	4	3	3	5	5	5	5	5	4	12	36	125	100	273
462-003	HORNO RODILLOS N 3	B&T	4	1	3	4	3	3	5	5	5	5	5	4	12	36	125	100	273
462-005	HORNO RODILLOS N 5	B&T	4	1	3	4	3	3	5	5	5	5	5	4	12	36	125	100	273
609-008	PRENSA PH 1400 N 8	OMIS	3	1	2	3	4	3	5	5	5	5	5	4	6	36	125	100	267
609-001	PRENSA PH 1400 N 1	OMIS	3	1	2	3	4	3	5	5	5	5	5	4	6	36	125	100	267
609-002	PRENSA PH 1400 N 2	SM	3	1	2	3	4	3	5	5	5	5	5	4	6	36	125	100	267
609-007	PRENSA PH 1400 N 7	OMIS	3	1	2	3	4	3	5	5	5	5	5	4	6	36	125	100	267
609-009	PRENSA PH 1400 N 9	OMIS	3	1	2	3	4	3	5	5	5	5	5	4	6	36	125	100	267
609-010	PRENSA PH 1400 N 10		3	1	2	3	4	3	5	5	5	5	5	4	6	36	125	100	267
609-011	PRENSA PH 2090 N 11	SM	3	1	2	3	4	3	5	5	5	5	5	4	6	36	125	100	267
609-012	PRENSA PH 2090 N 12	SM	3	1	2	3	4	3	5	5	5	5	5	4	6	36	125	100	267
462-004	HORNO RODILLOS N 4	B&T	4	1	3	3	3	3	5	5	5	5	5	4	12	27	125	100	264
462-006	HORNO RODILLOS N 6	SACMI	4	1	3	3	3	3	5	5	5	5	5	4	12	27	125	100	264
468-006	HUMECTADOR GRC 700 I	SACLB	3	1	3	5	5	5	4	4	5	5	3	3	9	125	80	45	259
468-007	HUMECTADOR GRC 700 II	SACLB	3	1	3	5	5	5	4	4	5	5	3	3	9	125	80	45	259
609-003	PRENSA PH 680 N 3	SM	3	1	2	3	4	3	5	5	5	5	5	3	6	36	125	75	242
609-006	PRENSA PH 1400 N 6	OMIS	3	1	2	3	4	3	5	5	5	5	5	3	6	36	125	75	242
609-005	PRENSA PH 680 N 5	OMIS	3	1	2	3	4	3	5	5	5	5	5	3	6	36	125	75	242
699-001	SECADERO VERTICAL EVA 270 N 1	SM	4	1	3	3	4	3	5	4	4	5	5	3	12	36	80	75	203
699-002	SECADERO VERTICAL EVA 270 N 2	SM	4	1	3	3	4	3	5	4	4	5	5	3	12	36	80	75	203
699-006	SECADERO VERTICAL EVA 702 N 6	SM	4	1	3	3	4	3	5	4	4	5	5	3	12	36	80	75	203
699-007	SECADERO VERTICAL EVA 702 N 7	SM	4	1	3	3	4	3	5	4	4	5	5	3	12	36	80	75	203
699-008	SECADERO VERTICAL EVA 702 N 8	SM	4	1	3	3	4	3	5	4	4	5	5	3	12	36	80	75	203
699-009	SECADERO VERTICAL EVA 702 N 9	SACMI	4	1	3	3	4	3	5	4	4	5	5	3	12	36	80	75	203
700-009	SECADERO HORIZONTAL MULTI	SM	4	1	3	3	4	3	5	4	4	5	5	3	12	36	80	75	203
699-003	SECADERO VERTICAL EVA 90 N 3	SM	4	1	3	2	5	3	5	4	4	5	5	3	12	30	80	75	197
699-010	SECADERO VERTICAL EVA 902 N 10	SM	4	1	3	2	5	3	5	4	4	5	5	3	12	30	80	75	197
699-005	SECADERO VERTICAL SITTI D7 N 5	SM	4	1	3	2	5	3	5	4	4	5	5	2	12	30	80	50	172