

**GUIA DE OPTIMIZACIÓN DE DISPONIBILIDAD POR MANTENIMIENTO DE
UNA MAQUINA ESMALTADORA, CASO DE EMPRESA PRODUCTORA DE
PAPEL**

HERNANDO GODOY GARZÓN

JOANNA ANDREA MERCADO GÓMEZ

Proyecto de grado para optar el título

Magister en Administración en Empresas con Énfasis en Gestión Estratégica

Tutor

Andrés López

UNIVERSIDAD ICESI

FACULTAD DE CIENCIAS ADMINISTRATIVAS Y ECONOMICAS

PROGRAMA MAESTRÍA EN ADMINISTRACIÓN

SANTIAGO DE CALI

2011

**GUIA DE OPTIMIZACIÓN DE DISPONIBILIDAD POR MANTENIMIENTO DE
UNA MAQUINA ESMALTADORA, CASO DE EMPRESA PRODUCTORA DE
PAPEL**

**HERNANDO GODOY GARZÓN
JOANNA ANDREA MERCADO GÓMEZ**

**UNIVERSIDAD ICESI
FACULTAD DE CIENCIAS ADMINISTRATIVAS Y ECONOMICAS
PROGRAMA MAESTRÍA EN ADMINISTRACIÓN
SANTIAGO DE CALI**

2011

CONTENIDO

| | Pág. |
|---|------|
| INTRODUCCIÓN | 9 |
| 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 10 |
| 1.1 CONTEXTUALIZACIÓN DE LA ORGANIZACIÓN..... | 15 |
| 1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO | 17 |
| 1.2.1 OBJETIVO GENERAL DEL PROYECTO..... | 17 |
| 1.2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS | 17 |
| 2. REFERENTES TEÓRICOS | 19 |
| 3. PROPUESTA DE MEJORAMIENTO..... | 24 |
| 3.1 LA PLANEACION ESTRATEGICA..... | 24 |
| 3.2 ANALISIS DE CAUSA RAIZ DE FALLAS EN EQUIPOS PRODUCTIVOS | 26 |
| 3.3 INTRODUCCION A LA METODOLOGIA Y CONCEPTOS BASICOS DEL RCM..... | 26 |
| 3.4 APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA RCM..... | 30 |
| 3.5 INDICADORES DE MANTENIMIENTO | 38 |
| 4. PRESUPUESTO PARA LA IMPLEMENTACION | 42 |
| 5. RECOMENDACIONES PARA LA IMPLEMENTACION | 43 |
| 6. LIMITACIONES Y RESTRICCIONES | 44 |

| | |
|--------------------------|-----|
| 7. CONCLUSIONES | 455 |
| 8. RECOMENDACIONES | 47 |
| BIBLIOGRAFÍA | 48 |
| ANEXOS | 49 |

LISTA DE FIGURAS

| | pág. |
|--|------|
| Figura. 1: Tendencia del promedio de tiempo perdido en paradas de máquina por emergencias (horas/mes)..... | 13 |
| Figura 2. : Tendencia del promedio de tiempos perdidos en paradas de máquina por mantenimiento programado o preventivo (horas/mes)..... | 15 |
| Figura. 3. Proceso de evolución de las estrategias y herramientas de gestión de mantenimiento aplicadas a la administración de activos productivos..... | 21 |
| Figura. 4. Curvas características de las fallas. Se muestra el comportamiento de fallas con relación a la edad del equipo (eje horizontal) y datos estadísticos en industrias y años diferentes..... | 28 |
| Figura 5. Esquema proceso de implementación RCM..... | 30 |
| Figura 6. Diagrama de bloques de la propuesta..... | 34 |
| Figura. 7. Arbol de decisión de estrategia de mantenimiento a aplicar..... | 35 |

LISTA DE TABLAS

pág.

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Ejemplo de tabla para realizar análisis funcional..... | 32 |
| Tabla 2. Presupuesto para la implementación..... | 42 |
| Tabla 3. Cronograma de actividades de implementación..... | 43 |

RESUMEN

El objetivo de este proyecto de grado es plantear una propuesta de mejoramiento al problema de disponibilidad de una máquina específica en una planta productora de papel ubicada en la ciudad industrial de Yumbo en el suroccidente colombiano. Como resultado se obtiene una optimización de recursos financieros de la compañía dado el ahorro relacionado con los tiempos de paradas por mantenimiento preventivo y de emergencia. El trabajo concluye sobre la importancia de implementar sistemas de control y seguimiento en el área de mantenimiento de la manufacturera en la que se aplica la metodología propuesta.

ABSTRACT

The aim of this project of degree is to raise an offer of improvement to the problem of availability of a specific machine in a producing plant of paper located in Yumbo's industrial city in the Colombian southwest. Since result obtains an optimization of financial resources of the company in view of the saving related with the time spend on stops by preventive and emergency maintenance. The project concludes on the importance of implementing systems of control and follow-up in the maintenance department of manufacturing where the proposed methodology applies.

GLOSARIO

- RCM: Reability Centered Maintenance, (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad) comúnmente conocida como RCM es una herramienta que permite que los equipos productivos y de soporte de una organización, activos de la misma, continúen haciendo la función para la cual fueron adquiridos. Es generalmente usado para generar niveles seguros de mantenimiento, cambios en el flujo operativo de trabajo entre otros. ¹
- SAE Internacional: Es una agrupación de científicos, ingenieros y profesionales. Fue fundada en 1900 satisfaciendo la necesidad de investigación y desarrollo en el tema automotriz.²
- ASA: Absolute Stock Attainment, (Atendimiento absoluto de la demanda) Indicador que mide la atención de la producción sobre la demanda generada para un producto.
- Súper Calandras: (Calender Machine) Son máquinas en las que el producto pasa por rodillos conectados que permiten compactar el material y generar el calibre y calidad de apariencia requerida.

¹ http://en.wikipedia.org/wiki/Reliability_centered_maintenance, Mayo 21 de 2011 10:07am

² <http://www.sae.org/about/general/history/>, Mayo 21 de 2011 10:15am

INTRODUCCIÓN

Este documento es el resultado de un análisis realizado en una fábrica de papel de la ciudad de Cali, Colombia, con el cual se pretende plantear una posible solución al problema de disponibilidad total de capacidad instalada en una de sus maquinas esmaltadoras, en la que se presenta un cuello de botella en el proceso productivo.

El desarrollo de este trabajo pretende, con la aplicación de los conocimientos adquiridos en la Maestría en Administración de Empresas, como el análisis de los sistemas de información e indicadores de mantenimiento disponibles, las teorías de confiabilidad de las máquinas y los conocimientos sobre la gestión del conocimiento, el planteamiento de nuevos indicadores de mantenimiento y propuesta para su respectivo seguimiento que permitan mejorar la productividad de la máquina objeto de estudio.

Se desarrolla entonces una propuesta de mejoramiento que además de ser financieramente viable con el análisis costo beneficio, pueda ser implementado como prueba piloto que sirva de parámetro para que la planta haga extensiva la propuesta a las demás maquinas de que dispone en su proceso productivo.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el proceso productivo actual de esmaltar los diferentes tipos de papel, se evidencia una gran oportunidad de mejora en desempeño y productividad. Una de las 5 grandes máquinas de la línea de producción es el foco de este estudio y análisis. La máquina esmaltadora fue instalada y puesta en marcha en el año 2000, es una maquina de 80 metros de largo, consta de: máquina rebobinadora, máquina esmaltadora, dos supercalandrias, una cortadora bobinadora y cocina de preparación de esmalte. Su capacidad de producción teórica es de 320 ton/día, el rango de gramajes es desde 80 gr/m² a 320 gr/m², su rendimiento real ha sido 128 ton/día de producción, esta desviación frente al estándar de su diseño se debe a diferentes causas:

- **Paradas³ obligatorias:** son aquellas paradas por completo de la maquina debido a factores externos como problemas de energía, paradas de fin de año, disminución de la demanda (mercado), vacaciones y catástrofes.
- **Paradas programadas:** son aquellas programadas dentro de la producción estimada mensual, para realizar cambios y ajustes entre diferentes productos, pre-alistamientos de máquina, mantenimientos preventivos y ajustes de máquina post parada.
- **Paradas no planeadas:** Son aquellas que no están contempladas dentro de la planeación mensual de la producción de la máquina, disminuyendo el tiempo disponible de

³ Entiéndase parada como el tiempo durante el cual la máquina interrumpe su proceso productivo normal por diferentes causas

producción real, además de generar grandes pérdidas de dinero e impacto en la entrega de producto al cliente final, se encuentran clasificadas en las siguientes cinco categorías:

- Reventones: Rotura del papel que se está procesando, por diferentes imperfectos en la calidad del mismo o en los ajustes de la máquina que lo procesa.
- Emergencias de mantenimiento: Paradas debido a fallas en el equipo, que no permiten la continuidad del proceso productivo, al poner en riesgo la seguridad del mismo, de las personas que lo operan o la calidad del producto.
- Emergencias operativas: Paradas debido problemas en la operación de la máquina, los cuales afectan los equipos o el producto.
- Fallas por materia prima: Paradas por fallas en la calidad o suministro de las materias primas
- Fallas en suministros internos y externos: paradas por problemas en los suministros (utilities) como agua, vapor, energía, gas entre otros.

De los tres grandes grupos de causas de ineficiencia del proceso, el desarrollo de este proyecto gira en torno a dos paradas específicas relacionadas a mantenimiento: paradas programadas (relacionadas a mantenimiento preventivo) y paradas no planeadas por emergencias de mantenimiento (relacionadas con mantenimiento reactivo). Dado que establecer actividades que permitan evitar la falla durante la operación normal, es una opción más favorable, comparada con las pérdidas o gastos generados al optar por reparar cada vez que se presente la falla. Es necesario disponer de un tiempo para la ejecución de las tareas requeridas y garantizar los recursos necesarios para su ejecución, lo cual permite tener una operación confiable entre paradas programadas. Los tiempos de paradas por emergencias

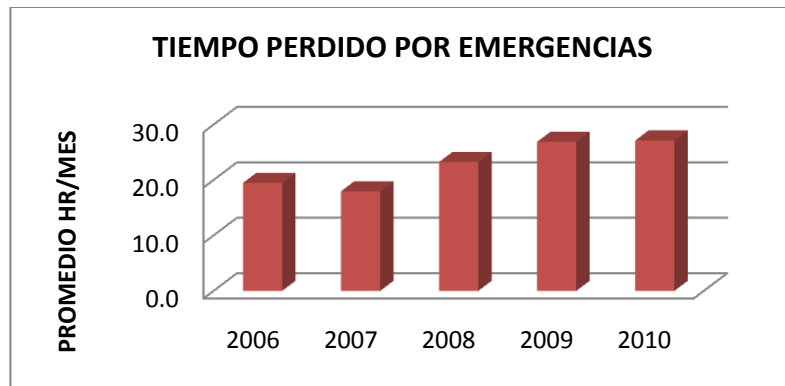
deben ser lo más cercano a cero al lograrse una efectividad cercana al 100% en las paradas para mantenimiento preventivo (paradas planeadas). Sin embargo, esto requiere de un trabajo en equipo, estructurado y de un conocimiento profundo de los activos productivos; tanto en la operación como en el mantenimiento. Los procesos de gestión para la planeación, coordinación y ejecución de las tareas deben ser igualmente confiables y dentro de los parámetros de diseño de los fabricantes de los diferentes equipos.

Los datos históricos de los últimos 5 años muestran un alto valor en horas/mes de paradas por emergencia de mantenimiento, tornándose especialmente crítico en los dos últimos años. El promedio mensual de este periodo es superior a las 25 horas por mes⁴, mientras que el estándar planeado de paradas de emergencia horas/mes/parada es de 8.2 horas/mes, es decir, del tiempo total de la capacidad de trabajo de la maquina (8.167 horas) se está perdiendo 300 horas de producción al año, o sea el 3.6%, debido a emergencias de mantenimiento al mes, conociendo el margen de contribución por hora, la suma de dinero atribuible a este rubro al año es una suma considerable, siendo el 1,67% del costo total de operación. Adicionalmente, al margen de contribución se suman los gastos para corregir los problemas, en la mayoría de los casos, estos gastos se incrementan al ser corregidos en situación de emergencia (parada de la máquina no considerada en la planeación de la producción) debido al pago de tiempo extra del personal de mantenimiento, fabricaciones o compras de emergencia y el costo de no producir cuando era esperado hacerlo, lo cual genera impactos en la satisfacción del cliente final, lo que es medido por la organización en un indicador corporativo que mide la

⁴ Ver Figura. 1: Tendencia del promedio de tiempo perdido en paradas de Máquina por emergencias (horas/mes)

producción real versus la producción planeada de acuerdo a los pronósticos de demanda de los clientes finales.

Figura. 1: Tendencia del promedio de tiempo perdido en paradas de máquina por emergencias (horas/mes)



Fuente: Los autores

Las consecuencias de este tiempo perdido son entre otros: incremento en los costos de mantenimiento, interrupción en la producción, incumplimiento en el ASA (Absolute Stock Attainment), además del impacto sobre los costos por desperdicios y rechazos mientras ocurre la falla y se normaliza la operación. El objetivo del presente trabajo es proponer una metodología y el uso de diferentes herramientas conocidas para identificar las actividades de mantenimiento, su frecuencia y efectividad, con el fin de lograr mayor disponibilidad de los equipos productivos. Se considera que implementando la propuesta de este proyecto, las horas/mes por parada disminuirán de 25 a 12.5 horas, lo cual representa una mejora del 50% del tiempo perdido por paradas por emergencia, al hacer una implementación de cada una de las etapas y acciones correctivas de acuerdo a las evaluaciones que se realicen en cada etapa

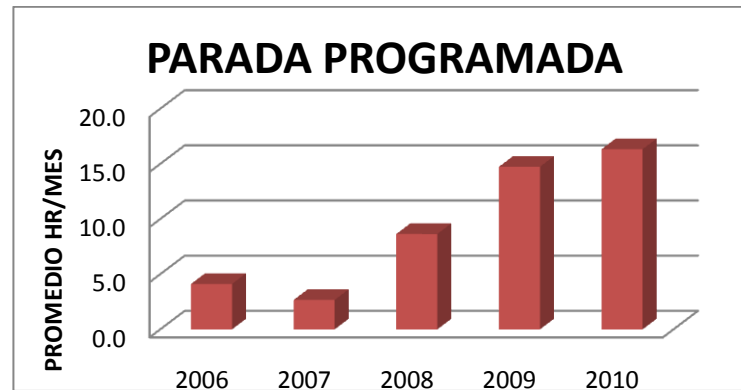
de la metodología propuesta. Aún así no se conseguiría alcanzar a cumplir con las especificaciones técnicas de la maquina que son 8.2 horas/mes. Si se realiza una mejora, disminuyendo 12.5 horas/mes, es decir 150 horas al año y de acuerdo con un margen de contribución teórico de U\$ 1.000/hora, se estiman unos beneficios de U\$ 150.000/año. Según información suministrada por el equipo responsable de la máquina objeto de este estudio.

Los costos de mantenimiento, rechazos en producto y desperdicio de materia prima, son considerados superiores a los costos de parada, donde se considera solo el tiempo de la maquina sin producir y corresponden a lo que teóricamente se llama la base de iceberg⁵. Por lo tanto, los costos escondidos son superiores a los visibles en una relación de 4 a 6 veces, por lo cual, se estaría hablando de aproximadamente U\$480.000 adicionales de ahorro. Los factores que causan esta desviación serán objeto de estudio de este trabajo y se analizarán en conjunto con el personal de mantenimiento y operación, con el fin de encontrar la causa raíz y organizar, no solo la parte de mantenimiento, sino proponer acciones operativas y administrativas que mejoren la productividad y la confiabilidad de la máquina.

El comportamiento del mantenimiento planeado (Figura 2) muestra de igual manera un incremento, sin embargo, no se observa una disminución en las curvas de emergencias, lo que indica que se deben revisar las actividades y estrategias realizadas en las paradas programadas y su relación con las causas atribuibles a las paradas de emergencia.

⁵ Este término se refiere en procesos productivos, al análisis de todas las perdidas relacionadas a un problema, generalmente la punta del iceberg se refiere a aquellas perdidas fácilmente cuantificables, sin embargo analizando todos los costos implicados en las perdidas se evidencia un impacto económico mayor debido a las perdidas adicionales “escondidas” bajo el agua (no tan fácilmente identificables)

Figura 2. : Tendencia del promedio de tiempos perdidos en paradas de máquina por mantenimiento programado o preventivo (horas/mes)



Fuente: Los autores

1.1 CONTEXTUALIZACIÓN DE LA ORGANIZACIÓN

La empresa productora de papel en la que se desarrolla este proyecto, es una de las industrias líderes en Colombia con 49 años operando en el país; ofreciendo soluciones integrales a la industria gráfica, con la producción de papeles para diversos usos (impresión, escritura, etc.). Su objetivo es abastecer el mercado nacional y la región Andina de América Latina. La producción mundial de pulpa y papel es de 390 millones de toneladas. La producción Colombiana, en el 2009 era de 1.039.000 toneladas y una importación de 580.000 toneladas. La participación en el mercado con respecto a la producción nacional está alrededor del 24%, sin hacer las clasificaciones con respecto a los diferentes productos que hay en la industria (papel toalla, cartón, cartulinas, papeles de impresión y escritura, papeles estucados)⁶.

⁶ FUENTE: 1973-1975 Plan Indicativo. 1976 en adelante. Cámara de Pulpa, Papel y Cartón ANDI. Agosto 29 de 2010 5 p.m.

La empresa cuenta con dos plantas de producción, ubicadas en los departamentos del Valle del Cauca y Cauca. Al ser estas, regiones azucareras tradicionales, es estratégica su ubicación geográfica cerca de los proveedores principales de materia prima. Una de sus plantas se encuentra ubicada en el municipio de Yumbo, Valle del Cauca, cuenta con tres máquinas papeleras y una esmaltadora, siendo esta una de las más modernas plantas esmaltadoras de Latinoamérica, esta planta produce papeles y cartulinas esmaltados⁷, C1S⁸ y C2S⁹ con excelente acabado superficial; con una formulación de esmalte que emplea los más altos estándares de calidad internacional, con características de conformación que permiten una excelente eficiencia en las máquinas impresoras y de conversión, para uso en el mercado de impresores y convertidores, principalmente en la elaboración de libros, revistas y etiquetas. Esta última máquina es en la que se basa el estudio, análisis y propuesta de mejoramiento de este trabajo de grado.

Entre el 2008 y el 2010 en Colombia se importaron en promedio 44.000 toneladas de papel estucado para impresión y escritura. La facilidad de tener una planta que produzca los diferentes gramajes de papel con diferentes calidades genera una ventaja competitiva para los consumidores de Colombia y la Región Andina, con posibilidades de entregas a tiempo y bajos inventarios. La alta tecnología permite controlar en forma eficiente la calidad de su producto.¹⁰ La empresa cuenta con un portafolio de productos de papeles esmaltados y no esmaltados que satisface las necesidades de un amplio segmento del mercado donde se

⁷ Proceso de esmaltado: proceso por el cual se aplica un recubrimiento a la hoja de papel base donde se utiliza 100% pulpa química "Woodfree", para mejorar sus propiedades de acabado superficial, este acabado final puede ser mate o brillante según la necesidad del producto.

⁸ Proceso de esmaltado por una de las caras del papel.

⁹ Proceso de esmaltado por las dos caras del papel.

¹⁰ FUENTE: DIAN y ANDI, Cámara de Pulpa, Papel y Cartón. Mayo 19 de 2011 9: 40 p.m.

encuentran distribuidores, convertidores e impresores; satisfaciendo las necesidades del cliente final con productos como: libros, revistas, etiquetas, impresos públicos, entre otros.

La empresa produce papeles blancos para impresión y escritura, y como un subproceso de acabado que consiste en la aplicación de un recubrimiento sobre el papel para producir papel esmaltado (o estucado), esta planta tiene capacidad de producir 45.000 ton/año de este papel, el papel base es producido dentro de la misma empresa proveniente de dos máquinas, las cuales se usan dependiendo de los gramajes a estucar, una de estas máquinas está especializada en papeles de bajos gramajes y la segunda en altos gramajes.

1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.2.1 OBJETIVO GENERAL DEL PROYECTO

Mejorar en 50% del tiempo perdido por paradas de emergencia, implementando la guía resultado de este proyecto de grado

1.2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Mejorar la productividad y confiabilidad de la maquina reduciendo los tiempos perdidos por paradas de emergencia.
- Proponer una guía para analizar los factores que causan desviaciones entre el tiempo especificado y el real de mantenimiento por emergencia.
- Obtener unos ahorros proyectados de U\$150.000/año en costos directos, implementando la guía propuesta.

- Obtener unos ahorros proyectados de U\$480.000/año en costos indirectos (poco visibles), implementando la guía propuesta.

2. REFERENTES TEÓRICOS

En un mundo cada vez más globalizado y cambiante, las empresas manufactureras implementan y sostienen estrategias de producción, calidad y mantenimiento, utilizando estrategias que les ayuden a ser sostenibles financieramente, consiguiendo ventajas comparativas y competitivas frente a sus competidores a nivel mundial.

John Moubray dice “el mantenimiento asegura que los activos físicos continúen haciendo lo que los usuarios desean hacer con ellos”¹¹ y según Goldratt es responsabilidad de la organización garantizar que los equipos funcionen bien permitiendo el flujo del proceso productivo llegar a convertirse en el producto que realmente genera valor para la organización y sus clientes (Throughput)¹². Una de estas estrategias es el mantenimiento de los equipos del proceso productivo, la que generalmente es una de las menos atendidas, y a la que menos seguimiento se le presta. Algunas cifras en Estados Unidos indican que el costo de mantenimiento ha subido a una tasa del 10% anual, pasando de U\$200 billones de dólares en 1979 a U\$2.000 billones en el 2005¹³, y aun más preocupante, el 40% de estos costos de mantenimiento ha sido innecesario, por tal motivo se debe prestar más atención al Departamento de Mantenimiento, encargado de lograr la confiabilidad de los activos y asegurar la producción, siendo fuente de ahorro en costos que no son evidentes, al no estar regulados y controlados por indicadores claros, monitoreados de forma periódica que permita a la dirección reaccionar ante los resultados con un sistema de control preventivo.

¹¹ *Ibíd.* pág. 7.

¹² GOLDRATT Eliyahu, COX Jeff, *La Meta*

¹³ WIREMAN TERRY, *Benchmarking Best Practices in Maintenance Management*. Foreward Pag 15

Wireman realiza una compilación de las mejores prácticas de la industria para crear, evaluar, desarrollar e implementar sistemas de gestión de mantenimiento, soportada con cifras de empresas americanas y con los costos propios de las funciones de mantenimiento y su impacto financiero en la sostenibilidad de las empresas.

Para desarrollar una estrategia de mantenimiento que soporte la estrategia de la compañía, según Wireman¹⁴ es importante considerar aspectos como: el mantenimiento preventivo, los inventarios y compras de repuestos y equipos, el flujo de trabajo y controles, el uso de los sistemas de información y la tecnología como soporte de los sistemas de gerenciamiento del mantenimiento, el entrenamiento del RRHH, el involucramiento del personal operativo, el mantenimiento predictivo, el mantenimiento centrado en la confiabilidad, el mantenimiento productivo total, la optimización financiera y el mejoramiento continuo.

En las empresas que desarrollan políticas de mantenimiento reactivo, la productividad del mantenimiento fluctúa entre 25% y 35%, de ocho horas de trabajo, tres son tiempo real de trabajo y cinco se usan en espera de partes, información, planos, instrucciones, entrega de equipos por parte de producción, permisos de seguridad (bloques de energía), contratistas para hacer el mantenimiento; corriendo de emergencia a emergencia. Obtener un 100% en la productividad del mantenimiento es poco probable; sin embargo con un sistema de medición, evaluación y seguimiento se logran alcanzar valores cercanos al 60% o 70%.¹⁵

¹⁴ WIREMAN TERRY, Benchmarking Best Practices in Maintenance Management. Foreward Pag 20

¹⁵ WIREMAN TERRY, Benchmarking Best Practices in Maintenance Management. Foreward pag16

El mantenimiento ha evolucionado con del desarrollo de la industria, sin embargo, a pesar de hablarse de mantenimiento de cuarta generación, siempre habrá limitaciones en el mismo por los incrementos de productividad, calidad y nuevos desarrollos de equipos¹⁶. La Figura 3 presenta la evolución de las estrategias de mantenimiento, entre los 40`s y 70`s, iniciando con mantenimiento reactivo, pasando luego por Mantenimiento Productivo Total, (TPM), Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, (RCM), Análisis de Causa Raíz (RCA), Mejoras en Calidad, Seguridad y Ambiente, optimización de intervalos preventivos y predictivos, hasta llegar a estrategias alineadas a la norma de administración de activos (PAS-55).

Figura. 3. Proceso de evolución de las estrategias y herramientas de gestión de mantenimiento aplicadas a la administración de activos productivos.



Fuente: MSc José Bernardo Duran¹⁷

¹⁶ MOUBRAY John, Reliability Centered Maintenance, John Moubray, segunda edición pág. 1

¹⁷ The Woodhouse Partnership Ltd, Conferencia: Mantenimiento de 4a generación Evolución o Revolución www.noria.com/congreso2k4.asp consultada el día Febrero 15 de 2011 a las 20:30 pm se encuentran publicados artículos relacionados al VI Congreso Panamericano de Ingeniería de Mantenimiento, que se llevo a cabo en la ciudad de México, D.F los pasados 23 y 24 de septiembre de 2004.

Mundialmente se reconoce el papel que juega el RCM en la formulación de las estrategias de administración de activos físicos y la importancia de la aplicación del RCM de forma correcta. Los conceptos “mantener” y “modificar” dentro de este proceso tienen que ser claros al momento de realizar acciones recomendadas para cada caso de implementación, contemplado bajo el enfoque principal de mantenimiento.

Asegurar que: “los trabajos que están siendo planeados, son los trabajos que deben ser planeados”¹⁸ (haciendo el trabajo correcto), con una selección de las herramientas o técnicas de mantenimiento a utilizar, ayuda a mejorar el rendimiento y al mismo tiempo controla o reduce los costos de mantenimiento. En el contexto operativo se define donde y como el activo va a ser usado. El autor John Moubray define Mantenimiento Centrado en Confiabilidad así: “Mantenimiento Centrado en Confiabilidad: es un proceso usado para determinar que se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que los usuarios quieren hacer en el contexto operativo actual.”¹⁹

El RCM se fundamenta en dar solución a las siguientes preguntas:

- ¿Cuáles son las funciones y rendimientos estándar asociados al activo en el presente contexto operativo?
- ¿En qué forma el equipo falla cumpliendo sus funciones?
- ¿Qué causa cada falla funcional?
- ¿Qué sucede cuando cada falla ocurre?

¹⁸ MOUBRAY John, Reliability Centered Maintenance, John Moubray, segunda edición Cap 1, Pág. 5.

¹⁹ Ibid. pág. 7

- ¿En qué forma cada falla ocurre?
- ¿Qué se puede hacer para predecir o prevenir cada falla?
- ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?²⁰

El autor aporta conceptos técnicos, metodología organizada y ejemplos prácticos para aplicar el mantenimiento centrado en confiabilidad. Con este aporte se puede tener un panorama sobre lo que genera desviación y qué se debe planear para que ocurra el evento.

²⁰²⁰ MOUBRAY John, Reliability Centered Maintenance, John Moubray, segunda edición Cap. 1, Página 7.

3. PROPUESTA DE MEJORAMIENTO

El resultado de este proyecto es una guía para la implementación de un sistema que permita reducir la brecha entre los tiempos de mantenimiento planeados y los reales. La propuesta para disminuir los tiempos perdidos por emergencia y mantenimiento preventivo²¹ consta de las siguientes actividades:

1. Planeación estratégica del RCM
2. Análisis de Causa Raíz para eventos que ocasionan paradas por mantenimiento en la maquina esmaltadora, usando una metodología estándar y reconocida.
3. Introducción a la metodología y conceptos básicos del RCM
4. Aplicación de la metodología RCM
5. Definición de indicadores de gestión de mantenimiento requeridos y metodología de comunicación.

3.1 LA PLANEACION ESTRATEGICA

La empresa ha realizado el ejercicio de planeación estratégica, definiendo claramente ejes estratégicos sobre los cuales trabajará acorde con su visión. Estos son:

- Excelencia operacional
- Innovación – productos y mercados
- Sostenibilidad

²¹ El desarrollo de este proyecto de grado se centra en el estudio de los tiempos perdidos por paradas de emergencia y mantenimiento preventivo, ver página 9.

- Crecimiento y diversificación
- Alineación de la organización – cambio y cultura

Aun cuando la participación en estos ejes es transversal a toda la organización, hay una responsabilidad directa dentro del eje de excelencia operacional en la línea de “disponibilidad de planta y optimización del mantenimiento”, lo cual es controlado con dos indicadores: Disponibilidad de los equipos productivos críticos y costo de mantenimiento por tonelada.

Dentro del área de mantenimiento se define la planeación estratégica del RCM, la cual debe incluir la definición de un grupo de trabajo a cargo de la correcta implementación de la “guía de implementación guía de optimización de disponibilidad por mantenimiento de una maquina esmaltadora, caso de empresa productora de papel”. Este grupo debe definir las áreas de oportunidad que requieren atención especial en donde se aplicara RCM, para mejorar su disponibilidad y por ende la productividad del proceso.

3.2 ANALISIS DE CAUSA RAIZ DE FALLAS EN EQUIPOS PRODUCTIVOS

Es importante que los métodos de registro y análisis de las fallas se realicen en forma disciplinada, siguiendo un método comprobado y eficiente. Las herramientas más comunes son diagramas de causa efecto, metodología de Kepner and Trigoe, mapas de causa, metodología del 5 porque, Taproot entre otros; este último es la herramienta oficial utilizada en la planta de producción, aprovechando la reciente inversión de la misma en la adquisición de la herramienta y la capacitación ya realizada de las personas involucradas en el proceso, con el fin de identificar la causa y corregir los factores causales.

3.3 INTRODUCCION A LA METODOLOGIA Y CONCEPTOS BASICOS DEL RCM

La herramienta RCM se enfoca en usar arboles de decisión, para seleccionar y establecer estrategias de mantenimiento a aplicar en un activo, identificando las fallas conocidas o posibles, que pueden presentarse en un equipo o máquina en un contexto operativo dado. Esta metodología busca preservar las funciones del equipo o máquina, no solamente su operatividad, esto se consigue al enfocarse en el equipo para mantener la funcionalidad del “sistema” y no de los componentes individuales. La herramienta relaciona el tiempo de operación y las fallas más importantes, y busca conocer la condición probabilística de falla a una edad específica; su objetivo es mantener la confiabilidad inherente al diseño del equipo. De igual manera, define las fallas como una condición insatisfactoria, por lo tanto, la falla puede ser una pérdida de funcionamiento como un rechazo por calidad.

En el marco teórico se explican los conceptos generales, sin embargo hay que hacer claridad sobre lo siguiente:

Función: se describe con un verbo, un objeto y un desempeño estándar para un equipo o sistema en un contexto operativo. Adicionalmente hay funciones primarias y secundarias.

Falla Funcional: Se presenta cuando un activo deja de cumplir el estándar de desempeño requerido por el usuario, bajo el contexto operativo definido. Puede ser una función primaria o secundaria y la falla puede ser parcial o total.

Modo de Falla: según las normas SAE, es definido como la causa del estado de falla y debe ser descrito de forma que permita establecer una tarea para prevenir. Este modo de falla debe ser razonablemente posible (según la norma esto significa que debe ser aceptado por el propietario o usuario del activo). El nivel de detalle de su descripción debe permitir identificar

una política de administración de fallas adecuada (programas de causa raíz). Estas fallas pueden ser causadas por deterioro, defectos de diseño, error humano (operación o mantenimiento). El deterioro incluye procesos tales como fatiga, corrosión, erosión, evaporación entre otros.

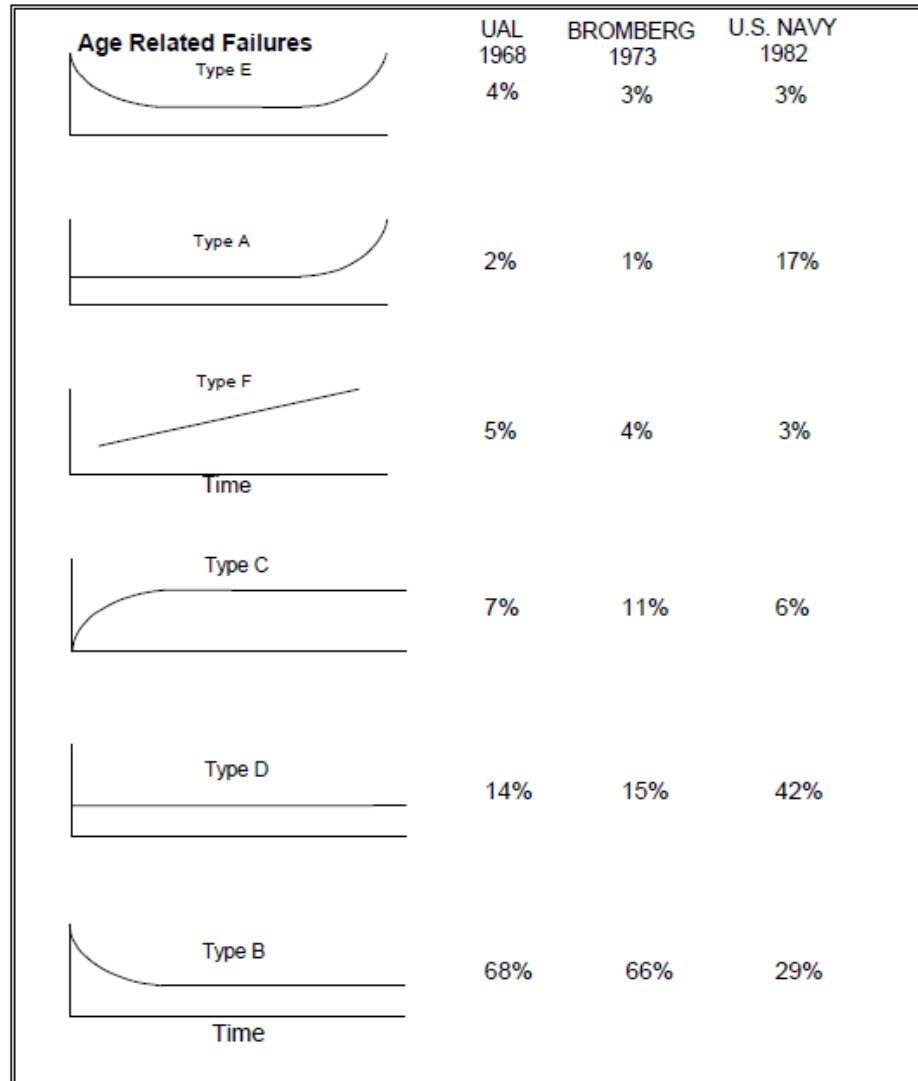
Efectos de falla: para SAE es responder a la pregunta ¿Qué pasa cuando ocurre una falla?, otra pregunta que debemos resolver para identificar los efectos de falla es ¿Qué pasaría si no hay una tarea específica para anticiparse, prevenir o detectar la falla?, esta información es la que soporta la evaluación de las consecuencias de falla.

Consecuencias de falla: Es la forma en la que las fallas afectan la organización puede afectar: operaciones, calidad del producto, cliente, la seguridad de las personas y el medio ambiente. Estas consecuencias son las que motivan a tener acciones para prevenir las fallas.

Confiabilidad: Es la probabilidad condicional de falla de un activo, con una edad determinada, para que opere en un periodo dado bajo unas condiciones dadas, sin presentar falla. La probabilidad condicional de falla se incrementa con la edad.

Características de Falla: También son denominadas patrones de falla. El primer modelo consideraba que las fallas se presentaban al final de la vida útil (fig. 4, tipo A), y el siguiente modelo considera que las fallas se presentaban al comienzo y al final de su vida útil (fig. 4 tipo E). En mantenimiento de tercera generación, se plantean 6 modelos de falla con la vida de los equipos. Estos tipos de falla están asociados a la naturaleza y diseño del mismo equipo y sus patrones de falla, así por ejemplo un bombillo de filamento presenta su falla con el tipo D.

Fig. 4. Curvas características de las fallas. Se muestra el comportamiento de fallas con relación a la edad del equipo (eje horizontal) y datos estadísticos en industrias y años diferentes.



Fuente: RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE GUIDE FOR FACILITIES AND COLLATERAL EQUIPMENT, National Aeronautic and Space Administration, Feb. 2000.

Modos de fallas y Análisis de Efectos (FMEA): se aplica a cada sistema, sub-sistema o componente y se estructura identificando para cada función, los múltiples modos de falla o pérdida de las funciones y luego se analizan las consecuencias de cada falla sobre la operación o sobre los equipos.

Causas de falla: El conocer los modos de falla facilita entender e investigar si es necesaria la causa de la falla. Si se tiene claridad, es posible definir una tarea adecuada y la frecuencia de ejecución para detectar a tiempo la desviación y tomar la acción correctiva.

Mantenimiento proactivo: estas rutinas buscan extender la vida útil de los equipos, modificando las condiciones de diseño, instalación y procedimientos de mantenimiento. Se soporta en análisis de información, análisis de causa raíz e historial del equipo.

Actividades por defecto: son las actividades básicas mínimas para la conservación de un equipo o sistema, tales como limpieza, inspección visual y lubricación.

Mantenimiento preventivo: consiste en la ejecución de tareas programadas de ajuste, limpieza, lubricación y reemplazo de piezas. Estas actividades son realizadas sin tener en cuenta el estado del equipo, su frecuencia es marcada por intervalos en tiempo, distancias recorridas o en unidades producidas.

Pruebas predictivas e inspección: se conoce también como mantenimiento predictivo, usa tecnologías que permiten diagnosticar el estado de los equipos sin afectar su estado ni integridad; se recomienda generar tendencia con sus valores adquiridos y registrados para realizar diagnósticos acertados. Este reemplaza las actividades preventivas a término fijo (intrusivas).

Mantenimiento reactivo o emergencia: Operar hasta falla, la reparación se realiza cuando hay deterioro del equipo o falla funcional.

Mantenimiento proactivo: Son actividades que mejoran el mantenimiento en las etapas de diseño, instalación, procedimientos de mantenimiento, mano de obra y planeación.

3.4 APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA RCM

El proceso de gestión de mantenimiento establecido, su flujo, las habilidades técnicas y recursos requeridos para su implementación, están relacionados paso a paso en la figura 5.

Figura 5. Esquema proceso de implementación RCM.



Fuente: Basado en Conferencia RCM, ACIEM Bogotá (2006).

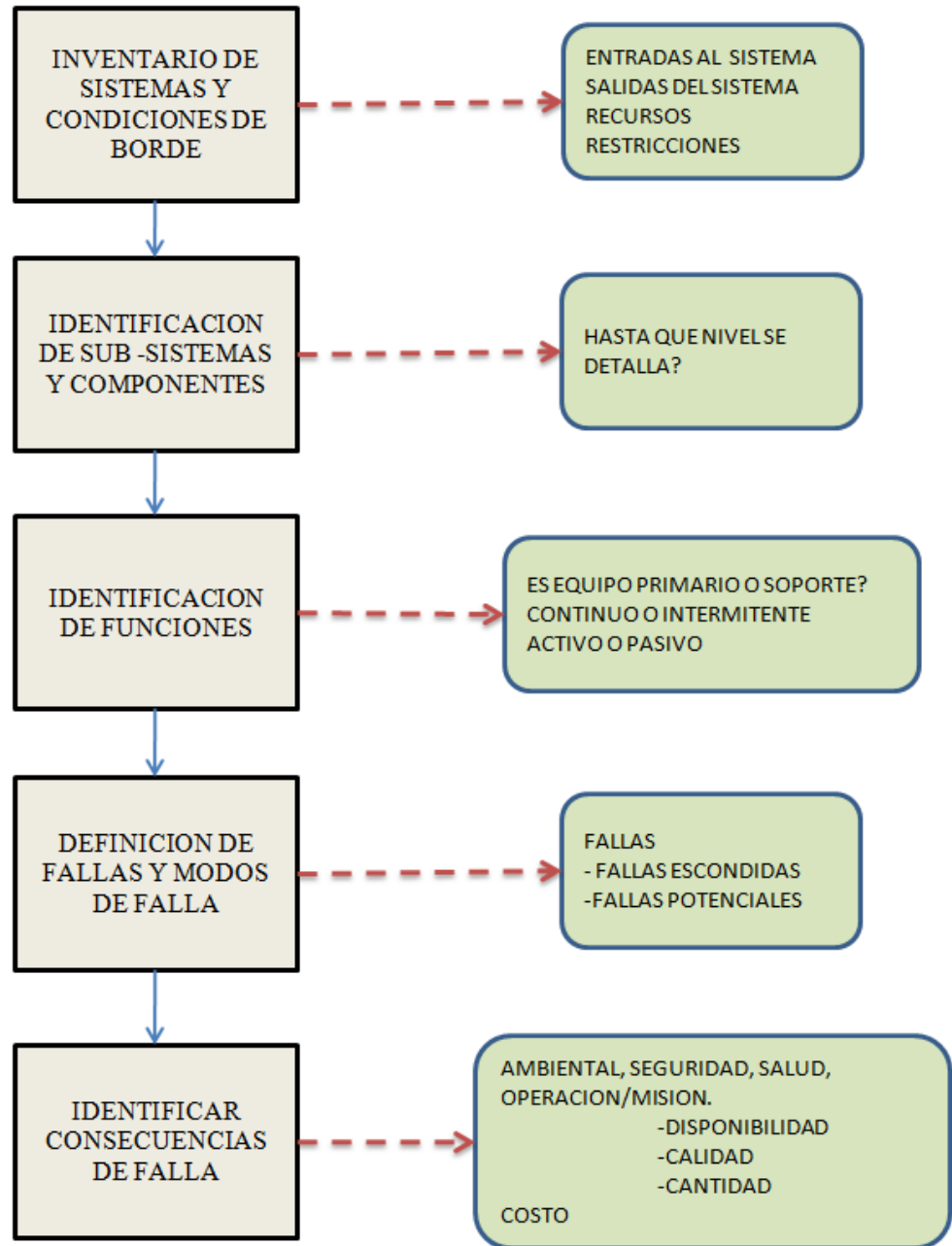
Esta figura se complementa con el flujo paso a paso descrito a continuación:

- La prioridad de equipos en los que se debe implementar la propuesta de este trabajo se debe hacer utilizando la matriz de priorización de equipos denominada matriz RAM (por sus iniciales en inglés: Risk Asset Management). La matriz contiene dos ejes: eje vertical asociado a las consecuencias (económicas, seguridad, medio ambiente, imagen) y el eje horizontal asociado a la probabilidad de ocurrencia del evento. Esta matriz permite validar cual de los equipos tiene mayor potencial de riesgo y ocurrencia de una falla y por ende mayor probabilidad de generar impactos económicos y productivos dentro de la organización.
- Conociendo el inventario de equipos y su clasificación se debe realizar un plan de revisión de análisis funcional (funciones primarias y secundarias de los equipos o sistemas), llevando la secuencia del proceso, esto permite definir las condiciones esperadas por parte de los usuarios de los activos productivos y las ventanas operativas. Este análisis se puede realizar de forma práctica y sencilla utilizando el esquema planteado en la tabla 1.

- Teniendo esta información y los resultados del análisis de causa raíz²², se puede conocer los modos de fallas funcionales, consecuencias de las fallas y establecer las actividades y estrategias para evitar la ocurrencia de las mismas. (Ver Figura 6)
- Definición de actividades prácticas de realizar (frecuencia, duración, efectividad) de tal manera que los planes establecidos sean viables (económica y técnicamente) sin afectar la disponibilidad en forma negativa, intentando minimizar los mantenimientos reactivos y enfocarse en los preventivos, predictivos y proactivos (Ver Anexo A). Para ello, se recomienda incluir dentro de estas actividades las horas-hombre por especialidad, definir el estado del equipo (parado, en operación, se ejecuta para un línea, parada total de planta), estandarizar el nombre de la actividad, para luego poder realizar filtros por falla y recurrencia de la actividad, para facilitar la implementación y realizar los análisis de demanda de mano de obra y especialidad (como también de herramientas y entrenamiento).

²² Ver sección 3.2 pagina 22 del presente trabajo de grado

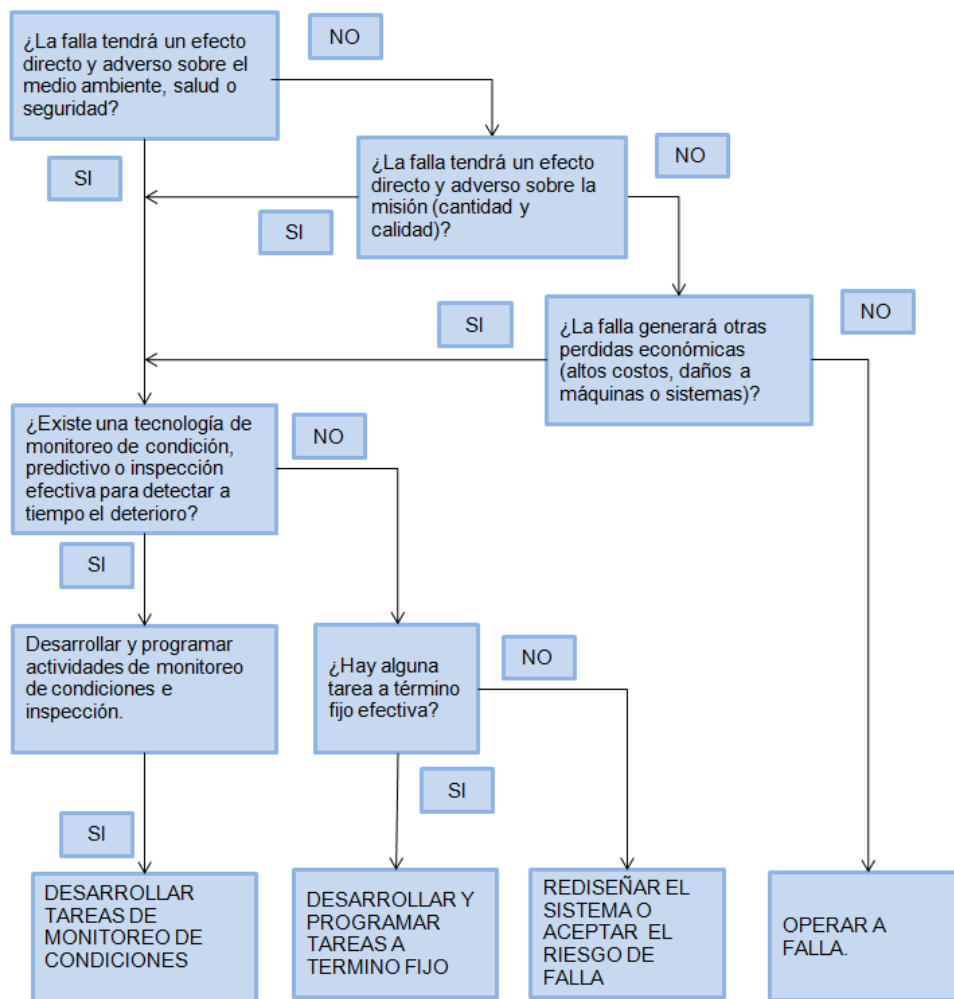
Figura 6. Diagrama de bloques de la propuesta



Fuente: RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE GUIDE FOR FACILITIES AND COLLATERAL EQUIPMENT, National Aeronautic and Space Administration, Feb. 2000. Pág. 2-8

- La secuencia lógica del árbol de decisión se presenta en la figura 7 dando como resultado final una estrategia de mantenimiento de acuerdo con un análisis de la causa de la falla funcional y sus consecuencias.

Figura. 7. Arbol de decisión de estrategia de mantenimiento a aplicar.



Fuente: Traducido de REALIABILITY CENTERED MAINTENANCE GUIDE FOR FACILITIES AND COLLATERAL EQUIPMENT, National Aeronautic and Space Administration, Feb 2000 página 2-10

- Del análisis del balance de actividades a implementar depurado se genera un estimado de las horas hombre requerido para su ejecución en cada especialidad, esta necesidad se debe comparar contra la capacidad disponible interna, con lo que se puede establecer si el equipo de personal propio es suficiente o si requiere contratar un servicio o suministro de mano de obra adicional por parte de un tercero. Esto puede ocurrir debido a:
 - No se cuenta con la cantidad de personas requerido
 - El personal no tiene las competencias requeridas
 - No se cuenta con la tecnología – herramientas requeridas.

- Por cualquiera de los motivos anteriores, pueden identificarse tareas a contratar para lo cual se debe realizar un proceso de evaluación y selección de los proveedores que pueden prestar el servicio. A las firmas seleccionadas, se les debe dar todo el entrenamiento previo tanto en la parte operativa como en el sistema de seguimiento implementado, con el fin de hacer la integración adecuada a los procesos de la compañía y así obtener los resultados esperados. Dentro del sistema SAP²³, modulo MM²⁴, se tiene un plan de evaluación de proveedores, el cual contiene desde el punto de vista de mantenimiento, la necesidad de calificar al proveedor por su buen desempeño en seguridad (se debe medir el IFA individual del contratista y establecer meta) y calidad del servicio (Tiempo de planeación, ejecución, satisfacción del cliente). Los servicios contratados deben ser especificados dentro de un contrato marco con el fin de definir las condiciones generales bajo las cuales se prestará el servicio, responsabilidades y derechos. Las unidades de

²³ SAP: Software de Gestión Empresarial.

²⁴ MM: Modulo de Materiales.

medida de contratación, los tiempos previos para la planeación, serán manejadas para cada evento planeado con órdenes individuales. La supervisión estará a cargo del contratista. Es necesario tener una o varias reuniones previas según sea el caso, entre la firma contratista y planeación de mantenimiento, con el fin ultimar detalles de la planeación del trabajo a ejecutar.

- La etapa de revisión y seguimiento a los indicadores²⁵ permite evaluar la efectividad de lo propuesto y debe servir para generar tendencias de estos indicadores y tomar acciones correctivas a la estrategia implementada.
- Los ajustes a la estrategia deben estar acompañados de un proceso de gestión del cambio, dirigido al grupo humano participante tanto en la definición, como en la ejecución de la estrategia, para lograr un ambiente de trabajo agradable que motive a realizar las tareas planeadas con alta eficiencia y calidad.
- Se debe garantizar el cumplimiento de todas las normas legales y las definidas por la empresa contratante para los contratistas, con el fin de garantizar la seguridad, integridad y la viabilidad de su operación.
- En el proceso de análisis de funciones, uno de sus resultados, son las actividades a realizar, estas actividades requieren herramientas y materiales. En esta parte nos centraremos en especial en las herramientas especiales (aquellas que hacen parte del kit de dotación para cada especialidad, mecánico, electricista, instrumentista, soldador) y deben ser identificadas, para poder ser planeada su disponibilidad durante el proceso de

²⁵ Ver Sección 3.5 pagina 35 del presente trabajo de grado

ejecución de la actividad programada. Se debe tener en cuenta que las herramientas deben tener un plan de inspección previa a su uso de tal manera que se garantice una ejecución segura. Por otro lado se debe tener en cuenta el establecimiento del control del tiempo requerido para aquellas herramientas o equipos críticos, que son cuello de botella en un plan de ejecución y que requieren una secuencia de operaciones previamente definida (tiempos y movimientos).

3.5 INDICADORES DE MANTENIMIENTO

Partiendo del supuesto que lo que no se mide y se controla no se puede mejorar, una parte de la propuesta para la empresa es implementar una guía de medición y seguimiento para el proceso de mantenimiento y su efectividad, el objetivo de este proyecto es generar una prueba piloto para este sistema, el cual se realizará en la máquina estucadora de papel.

El sistema de medición propuesto consta de identificar las mayores causas que afectan la efectividad del mantenimiento y por ende afectan la disponibilidad de la maquina, trasladando estos a un sistema de seguimiento de indicadores, bajo el cual, cada uno de los actores del proceso tendrán la capacidad y facilidad de acceder a la información sobre el comportamiento de estos indicadores.

Adicionalmente se creará un sistema de información general para transmitir la información a nivel de la planta, por medio de un centro de información que permitirá que operarios, personal de mantenimiento, personal de administrativos y líderes de la empresa tener acceso a los resultados en tiempo real, facilitando una alineación con la estrategia de la organización, permitiendo identificar los procesos críticos y ajustarlos a tiempo, lo que facilitará el aumento

de la efectividad de la gestión de mantenimiento que finalmente impactará aumentando la disponibilidad de la maquina, incrementando la productividad de la misma y el ahorro de recursos importantes como repuestos, mano de obra, aumento del output, disminución del desperdicio, cada uno de los cuales afecta directamente los costos del producto, mejorando la utilidad final del ejercicio al tener la capacidad de disminuir los costos y por ende ser más competitivos en precio o generar mayor utilidad a los accionistas; dos pilares fundamentales de los mapas estratégicos de cualquier organización.

El sistema a implementar consta de un TV plasma de 52" en el cual transmitirá 24 horas al día los indicadores claves del mantenimiento del área piloto, entre los cuales se encuentran:

- MTBF: Tiempo medio entre fallas. Número de paradas de emergencia/total horas del periodo. Este indicador se debe aplicar en especial a los equipos críticos del proceso, ya que evalúa la eficiencia del mantenimiento predictivo. Frecuencia: mensual.
- % Cumplimiento de Mantenimiento preventivo= # de mantenimientos realizados/# de mantenimientos preventivos programados. Regularmente planeados sobre una base de tiempo (semana, mes). Mide capacidad de ejecución del planeamiento del mantenimiento.
- Comparativo de mantenimiento preventivo vs mantenimiento de emergencia= # Horas semanales destinadas a cada uno de los dos tipos de mantenimiento en la maquina. Permite evaluar la eficacia del mantenimiento preventivo. Frecuencia: mensual.

- Impacto económico de las paradas por mantenimiento de emergencia= Sumatoria de costos calculados debido a paradas de la maquina no programadas en incumplimiento de entregas, retrasos, desperdicio, mano de obra, horas extras, repuestos y demás variables cuantitativas que se vean afectadas por la parada de la maquina. Evalúa el costo oculto de las paradas de emergencia. Frecuencia: mensual.
- Costo de Mantenimiento/tonelada procesada= Costo mantenimiento/total producido en un periodo de tiempo (Ton). Permite regular el gasto y evaluar económicamente la efectividad del mantenimiento. Frecuencia: mensual.
- Tiempo de Mantenimiento preventivo= Tiempo real del mantenimiento preventivo/tiempo programado o estimado para el mantenimiento. Evalúa la efectividad de la planeación del mantenimiento preventivo en términos de tiempo que toma realizarlo. Frecuencia: mensual.
- Tiempo de Mantenimiento por emergencia= Tiempo real del mantenimiento por emergencia/tiempo programado o estimado para el mantenimiento. . Evalúa la efectividad de la planeación del mantenimiento por emergencia en términos de tiempo que toma realizarlo. Frecuencia: mensual.
- Disponibilidad por Mantenimiento= (Tiempo total programado – tiempo por mantenimiento de emergencia)/tiempo programado total. Permite determinar la efectividad y la calidad del mantenimiento ejecutado. Frecuencia: mensual.
- Horas-Hombre mantenimiento preventivo = Horas-Hombre mantenimiento preventivo/total horas–hombre destinadas a mantenimiento. Permite validar la

efectividad de la asignación de recursos al mantenimiento preventivo. Frecuencia: mensual.

- $\text{Horas-Hombre mantenimiento correctivo (emergencia)} = \text{Horas-Hombre mantenimiento correctivo} / \text{total Horas-Hombre destinadas a mantenimiento}$. Permite validar la efectividad de la asignación de recursos al mantenimiento correctivo. Frecuencia: mensual.

Además de estos indicadores, el sistema de información consta de planes de acción para cada uno de los indicadores que no esté de acuerdo a los objetivos planteados por el equipo, con responsable, acción, fecha y estatus. Esto facilitará identificar visualmente el cumplimiento de las acciones y el seguimiento para la mejora de la disponibilidad de la máquina.

También se contará con diagramas de los equipos multidisciplinarios que realizan el mantenimiento y una evaluación de la efectividad de cada uno de estos; permitiendo la toma de acciones de manera rápida y oportuna en caso de que algún equipo no esté generando los resultados esperados, a saber, la corrección y prevención de fallas que puedan llegar a parar la máquina fuera de los momentos programados para esta labor.

4. PRESUPUESTO PARA LA IMPLEMENTACION

TABLA 2. Presupuesto para la implementación.

| | |
|---|---------------|
| 1. Entrenamiento en RCM | U\$20.000 |
| 2. Acceso a red de información en sala de reuniones | U\$5.000 |
| 3. Software y licencias a usar | U\$50.000 |
| 4. Asesoría en la implementación | U\$30.000 |
| 5. Contingentes / Consumibles | U\$3.000 |
| 6. Centro de Información para la prueba piloto | U\$3.500 |
| Total U\$ | U\$111.500 |
| Total \$COP ²⁶ | \$223.000.000 |

Fuente: Los autores.

Retomando las cifras del planteamiento del problema, en donde se espera conseguir una mejora de 10 horas/mes promedio (Ahorros de U\$120.000) y teniendo en cuenta el costo de la implementación de la propuesta de mejoramiento, sin tener en cuenta aquellos costos ocultos (efecto iceberg), el proyecto tendría un análisis costo beneficio B/C así: $B/C = 630.000 \text{ USD} / 111.500 \text{ USD} = 5.6$, en ese sentido, por cada dólar de costos se obtiene más de un dólar de beneficio. En consecuencia, como el índice es positivo, la propuesta de mejoramiento es viable financieramente.

²⁶ \$COP: Pesos Colombianos, asumiendo una tasa de cambio de \$ 2.000 / 1 U\$

5. RECOMENDACIONES PARA LA IMPLEMENTACION

Para una buena implementación de esta propuesta, se requiere la búsqueda del apoyo de expertos que dominen toda la metodología; con el fin de seguir un proceso controlado. Este debe incluir:

- Conformar equipo de trabajo.
- Definir un líder.
- Conocimiento y entrenamiento sobre tecnologías de monitoreo de condiciones.
- Entrenar al grupo en metodología RCM.
- Definir la logística requerida para desarrollo del proyecto.
- Acceso a información de los equipos: planos, manuales, fabricantes.
- Las actividades recomendadas deben ser aprobadas y auditadas por los gerentes responsables de los activos.
- Las descripciones de las tareas programadas se deben escribir con el detalle requerido con el fin de asegurar que la tarea sea hecha correctamente.

TABLA 3. Cronograma de actividades de implementación.

| Actividad | Responsable | Fecha |
|--|--------------------------------------|----------|
| Conformar equipo de trabajo | Comité Gerencial de la organización | abril-11 |
| Definir un líder | Comité Gerencial de la organización | abril-11 |
| Conocimiento y entrenamiento sobre tecnologías de monitoreo de condiciones | Departamento de Entrenamiento | mayo-11 |
| Entrenamiento en la metodología RCM | Departamento de Entrenamiento | junio-11 |
| Definición de la logística necesaria para el desarrollo del proyecto | Equipo de trabajo implementación RCM | junio-11 |
| Acceso a información de los equipos | Equipo de trabajo implementación RCM | julio-11 |
| Aprobación de actividades | Gerente de Ingeniería | Continuo |
| Auditoria del cumplimiento de las tareas | Auditor de Proceso | Continuo |

Fuente: Los Autores.

6. LIMITACIONES Y RESTRICCIONES

Las limitaciones de la propuesta están fundamentadas en dos grandes pilares, el primero, es el cambio cultural requerido para que el sistema funcione adecuadamente, ya que todas las personas involucradas en el proyecto deben tener un nivel alto de compromiso con el mismo y soportar la irrigación del sistema a todos los niveles de la organización. Esto es importante para el éxito de la propuesta ya que al ser un sistema de control y seguimiento necesita de la actualización de datos confiables a diario y de la respuesta de los diferentes actores a estos resultados.

La segunda restricción es el dinero invertido en el centro de información propuesto. Las industrias colombianas aún no dan la importancia y peso requerido al departamento de ingeniería, al ser este un departamento erróneamente visto como aquel que soluciona los problemas.

7. CONCLUSIONES

- El resultado esperado con la implementación de la propuesta es que al ser visibles para todos los resultados del mantenimiento (preventivo o de emergencia) sea más fácil y rápida la toma de decisiones efectivas para corregir los valores que los indicadores muestren por debajo del objetivo y así conseguir que los mantenimientos preventivos sean efectivos y los mantenimientos por emergencias se reduzcan y estén en unos índices controlados por parte de la planeación de manufactura.
- La maestría en administración con énfasis en gestión estratégica ha logrado generar en sus estudiantes una visión integral de procesos, como el de manufactura, aportando conceptos e ideas administrativas de liderazgo y gerenciamiento útiles para optimizar el resultado de un proceso productivo como el que se ha analizado.
- En cuanto al desarrollo del proyecto y la propuesta de mejora, esta se debe iniciar a utilizar con los equipos en circunstancias más críticas de la planta, ya que son los que más generan tiempos perdidos por emergencia, por lo tanto son los que generaran un beneficio más notable, lo que soportará el proyecto para ser implementado en otras áreas de la empresa.
- Uno de los conceptos claves para el proyecto, y que es de vital importancia, es que se ha permeado en la cultura de la organización que los cambios en la confiabilidad están más relacionados al diseño que al mantenimiento, por lo que para garantizar una

mayor vida útil de los equipos y sistemas se deben controlar las especificaciones, calidad, inventarios y repuestos de los mismos.

- Como la mayoría de los proyectos dentro de una organización se requiere la participación y compromiso de todo el personal de operaciones y mantenimiento, logrando una colaboración activa de todos los gestores del proyecto, conociendo el impacto de RCM en seguridad, calidad, medio ambiente y economía de la organización.
- La implementación de la propuesta resultado de este proyecto de grado permite disminuir la brecha encontrada entre las horas reales empleadas en el mantenimiento de la máquina esmaltadora en la organización y su estándar óptimo. Sin embargo, sólo se consigue cerrar la brecha en un 50%, (mejora significativa en productividad y costos), pues la máquina aún está a 50% de alcanzar su especificación técnica para paradas de mantenimiento. El resultado de este proyecto sirve como base para futuras investigaciones con el fin de continuar cerrando la brecha real vs especificaciones técnicas del fabricante.
- A la fecha de elaboración del presente documento se ha iniciado con la etapa de análisis de fallas más críticas y repetitivas con un plan detallada en orden de prioridad.

8. RECOMENDACIONES

Se recomienda implementar la propuesta resultado del trabajo de proyecto de grado realizado en un área específica como prueba piloto y hacer seguimiento a su evolución con los indicadores establecidos. De acuerdo a los resultados, validando la viabilidad de la aplicación, se puede iniciar su implementación en otras aéreas del proceso, logrando una estandarización de procesos y flujos de trabajo logrados en la curva de aprendizaje de la prueba piloto, para ahorrar tiempo de implementación en las demás áreas.

Se recomienda a la empresa papelera un seguimiento a la implementación de esta prueba piloto por parte de la dirección para lograr el soporte y alineación estratégica de la organización con el sistema propuesto de mejora continua de los indicadores de mantenimiento.

Adicionalmente es necesario generar un equipo definido para el proyecto que incluya personas de los departamentos de producción, calidad y planeación de la producción, para así maximizar los resultados del sistema planteado.

Una vez se implemente con éxito la propuesta en la máquina esmaltadora se debe iniciar un proceso de implementación a gran escala en todas las máquinas de la empresa para así generar un impacto económico y productivo al interior de la organización.

BIBLIOGRAFÍA

MOUBRAY, J (1997). Reliability Centered Maintenance. (2nd Ed.) New York, NY: Industrial Press Inc.

National Aeronautics and Space Administration (2000). Reliability Centered Maintenance Guide For Facilities and Collateral Equipment.

PEREZ, C.M (2010). EL camino hacia el RCM. Recuperado el 2 de Abril de 2011.

<http://confiabilidad.net/articulos/el-camino-hacia-el-rcm/>

SOTUYO, S (2001). Optimización integral de mantenimiento. Recuperado el 11 de Septiembre de 2011. www.mantenimientoplanificado.com

Subcommittee of the SAE G-11 Supportability Committee. Normas SAE JA1011 (2009). Evaluation Criteria for Reability-Centered Maintenance (RCM) Processes.

The SAE G-11 RCM Subcommittee. Norma SAE JA1012 (2002). A Guide to the Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard.

WIREMAN, T (2004). Benchmarking, Best practices in maintenance management. New York, NY: Industrial Press Inc.

ANEXOS

ANEXO A. AMPLIACION DE COMPONENTES DE MANTENIMIENTO.



Fuente: RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE GUIDE FOR FACILITIES AND COLLATERAL EQUIPMENT, National Aeronautic and Space Administration, Feb. 2000. Pág. 1-1