

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DE LOS EQUIPOS  
ROTATIVOS CLAVES PARA LA PRODUCCIÓN DE PAPEL

GLORIA LUCÍA LEÓN GÓMEZ

UNIVERSIDAD EAFIT  
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA  
MEDELLIN  
2010

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DE LOS EQUIPOS  
ROTATIVOS CLAVES PARA LA PRODUCCIÓN DE PAPEL

GLORIA LUCÍA LEÓN GÓMEZ

Proyecto de grado para optar al título de  
Ingeniero Mecánico

ASESOR

Pablo Alejandro Ruiz Moncada

UNIVERSIDAD EAFIT  
ESCUELA DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA  
MEDELLIN  
2010

*Ante todo a Dios, por permitirme las oportunidades de mejorar mi educación y ser una persona útil para la sociedad.*

*A mis padres, por brindarme su apoyo incondicional en la realización de todos mis proyectos. Gracias por todos los esfuerzos para formarme como Ingeniera Mecánica. Siéntanse dueños de este logro.*

*Por ustedes y para ustedes.*

## AGRADECIMIENTOS

A los ingenieros Fabio León Ruiz y Pablo Alejandro Ruiz por toda la colaboración en la realización de este proyecto.

Al grupo de Mecánicos de Mantenimiento Molinos Planta Medellín por todo el acompañamiento y por brindarme los conocimientos para el proceso de desarrollo de este proyecto.

## CONTENIDO

	Pág.
1	INTRODUCCIÓN ..... 12
2	OBJETIVOS ..... 14
2.1	GENERAL ..... 14
2.2	ESPECÍFICOS ..... 14
2.2.1	Objetivo 1 ..... 14
2.2.2	Objetivo 2 ..... 14
2.2.3	Objetivo 3 ..... 14
2.2.4	Objetivo 4 ..... 14
3	DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS ROTATIVOS UTILIZADOS DENTRO LA PRODUCCIÓN DE PAPEL ..... 15
3.1	OBJETIVO ..... 15
3.2	INTRODUCCIÓN ..... 15
3.3	PROCESO PRODUCTIVO DEL PAPEL ..... 16
3.3.1	Planta de preparación de pasta ..... 17
3.3.2	Máquina de papel ..... 19
3.3.3	Definición de los equipos rotativos considerados en el estudio ..... 20
3.3.3.1	Rodillos de La Máquina de Papel ..... 20
3.3.3.2	El Refinador ..... 22
3.3.3.3	Agitadores ..... 24
3.3.3.4	Tamizado Grueso y Fino (screening) ..... 25
3.3.3.5	Bombas Centrífugas ..... 27
4	PROCESO DEL MANTENIMIENTO, INDICADORES DE GESTIÓN Y DETECCIÓN DE FALLAS EN EQUIPOS ..... 28
4.1	OBJETIVO ..... 28

4.2	INTRODUCCIÓN .....	28
4.3	DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO EN LA EMPRESA PRODUCTOS FAMILIA SANCELA S.A .....	29
4.4	DEFINICIÓN DE LAS TAREAS DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO.....	29
4.4.1	Monitoreo de condiciones .....	30
4.4.2	Puntos de medida de los diferentes equipos rotativos .....	33
4.4.3	Definición del cronograma de mantenimiento predictivo .....	37
4.5	DESCRIPCIÓN DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO .....	39
4.6	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS EQUIPOS .....	40
4.6.1	Clase de órdenes programas para cada trabajo de mantenimiento .....	40
4.6.1.1	Comportamiento de las clases de órdenes de mantenimiento.....	42
4.6.1.2	Comportamiento de las órdenes de trabajo por actividad realizada.....	48
4.6.2	Revisión de los consumos de repuestos en los equipos .....	50
4.6.2.1	Descripción del análisis del consumo de repuestos.....	51
4.6.2.2	Análisis de los resultados obtenidos .....	56
5	ESTRATEGIAS PARA EL MEJORAMIENTO DE LOS EQUIPOS .....	58
5.1	OBJETIVO .....	58
5.2	INTRODUCCIÓN .....	58
5.3	ANÁLISIS DE FALLAS A PARTIR DEL HISTORIAL DE LOS EQUIPOS.....	58
5.3.1	Catalogo de fallas a partir de la norma ISO/DIS 14224.....	59
5.3.1.1	Selección de los equipos rotativos para la utilización del catalogo de fallas.....	60
5.3.1.2	Descripción de los códigos en los modos de falla.....	63
5.4	IMPLEMENTACIÓN DEL CATALOGO DE FALLAS EN SAP R3 .....	70
5.5	METODOLOGÍAS PARA EL ANÁLISIS DE COMPONENTES QUE PERMITAN UN ESTUDIO DE LAS FALLAS.....	73
5.5.1	Fallas funcionales .....	74
5.5.2	Tipos de fallas .....	74

5.5.3	Modos de falla.....	75
5.5.4	Efectos de los modos de falla .....	75
5.6	PROPUESTAS PARA IMPLEMENTAR EL ANÁLISIS DE FALLAS A LAS PARTES DE EQUIPOS ROTATIVOS .....	76
5.6.1	Formato de FMECA .....	76
6	RECOMENDACIONES PARA MEJORAMIENTO DE LA CONDICIÓN DE LOS EQUIPOS.....	82
6.1	OBJETIVO .....	82
6.2	INTRODUCCIÓN .....	82
6.3	CATALOGO DE FALLAS PARA OTROS EQUIPOS ROTATIVOS.....	82
7	CONCLUSIONES.....	86
8	BIBLIOGRAFÍA .....	89
9	ANEXOS .....	91

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Proceso para la producción de papel.....	17
Figura 2. Rodillo de una máquina papelera .....	21
Figura 3. Refinador .....	23
Figura 4. Agitador .....	25
Figura 5. Screen Vertical .....	26
Figura 6. Bomba Centrífuga.....	27
Figura 7. Cronograma de rutas para mantenimiento predictivo .....	37
Figura 8. Clase de órdenes para el año 2005 .....	42
Figura 9. Tendencia de la clase de orden para el año 2005 .....	43
Figura 10. Clase de orden para el año 2006.....	43
Figura 11. Tendencia clase de orden para el año 2006.....	44
Figura 12. Clase de órdenes para el año 2007 .....	44
Figura 13. Tendencia clase de orden para el año 2007 .....	45
Figura 14. Clase de orden para el año 2008.....	45
Figura 15. Tendencia clase de orden para el año 2008.....	46
Figura 16. Clase de orden para el año 2009.....	46
Figura 17. Tendencia clase de orden para el año 2009.....	47
Figura 18. Clase de actividad por tipo de orden para PM02 .....	48
Figura 19. Clase de actividad por tipo de orden PM03 .....	49
Figura 20. Clase de actividad por tipo de orden PM04 .....	49
Figura 21. Cambio de componentes en equipos generales.....	53
Figura 22. Cambio de componentes en bombas .....	54
Figura 23. Cambio de componentes en agitadores .....	55
Figura 24. Cambio de componentes en equipos papeleros.....	56
Figura 25. Modos de Falla en equipos rotativos en la norma ISO/DIS 14224 .....	61

Figura 26. Catálogo de fallas en bombas .....	62
Figura 27. Catalogo de fallas en motores .....	63
Figura 28. Síntomas de las fallas en equipos .....	64
Figura 29. Síntomas por variación de flujo.....	65
Figura 30. Síntomas por deficiencia estructural .....	66
Figura 31. Síntomas por fuga de fluido proceso .....	66
Figura 32. Síntomas por fuga de fluido utilitario.....	67
Figura 33. Síntomas por problemas menores en servicio .....	67
Figura 34. Síntomas por ruido.....	68
Figura 35. Síntomas por vibración .....	68
Figura 36. Visualización del aviso en SAP R3 .....	70
Figura 37. Visualización del catalogo de fallas .....	71
Figura 38. Visualización del catalogo de fallas con todos sus componentes.....	72
Figura 39. Visualización del catalogo de fallas desde la orden de mantenimiento	73
Figura 40. Parámetros para la Severidad de la falla .....	78
Figura 41. Parámetros para la Ocurrencia de las fallas .....	79
Figura 42. Parámetros para la Detección de la falla .....	80
Figura 43. Propuesta de catalogo FMECA .....	81
Figura 44. Catálogos para Rodillos.....	83
Figura 45. Catálogo para Agitadores .....	84
Figura 46. Catálogo para Screenes .....	84
Figura 47. Catálogo para Refinadores .....	85

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Puntos de medida de las bombas centrifugas .....	34
Tabla 2. Puntos de medida del agitador .....	35
Tabla 3. Puntos de medida de los rodillos de la máquina de papel .....	35
Tabla 4. Puntos de medida de los equipos papeleros .....	36
Tabla 5. Clasificación de las órdenes de trabajo.....	41
Tabla 6. Pareto de equipos generales .....	52
Tabla 7. Pareto de bombas.....	53
Tabla 8. Pareto de agitadores.....	54
Tabla 9. Pareto de equipos papeleros .....	55

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. TUTORIAL PARA EL MANEJO DEL CATÁLOGO DE FALLAS MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE SAP R3 .....	91
--	----

## 1 INTRODUCCIÓN

El trabajo, pretende explicar el funcionamiento adecuado de los equipos rotativos más importantes para la obtención de pasta en el proceso de producción de papel. Se estudian todos los factores posibles que pueden afectar el funcionamiento de estos equipos y hacer un análisis de fallas, de comportamiento, y desempeño planteando un redireccionamiento en los programas de mantenimiento realizados para prevenir las averías y paros.

El desarrollo de este proyecto parte de la imperiosa necesidad del sector papelerero de mejorar sus procesos productivos, para garantizar mejor calidad de sus productos, de avanzar en la aplicación de prácticas de mantenimiento que reduzcan los paros de producción por fallas inesperadas, de minimizar las averías que causan impactos negativos en la producción y de mejorar la calidad de las intervenciones sobre los equipos utilizados y consecuentemente la condición de estos.

La industria del papel es una de las más antiguas que existen en el mundo. Esta industria ha crecido en los últimos años en Colombia, en coherencia con el crecimiento de la demanda en los mercados interno y la creciente participación en el mercado internacional.

Por el impacto favorable en el medio ambiente, las fibras recicladas se han convertido en la principal materia prima. Estas fibras provienen en su gran mayoría de desperdicio de oficina (pulpa química base blanca) o papel periódico (pulpa mecánica de alto rendimiento).

El proceso de fabricación del papel empieza en un equipo llamado Depurador ciclónico o pulper, en donde las fibras vírgenes y recicladas son hidratadas con diferentes químicos (como el Peróxido de Hidrógeno) y desintegradas. Los químicos utilizados en el depurador previenen el amarillamiento de las fibras, causado por el medio alcalino en que se deben conservar para la posterior desintegración del material reciclado.

Una vez la pasta haya sido desintegrada en los pulper y se han extraído los materiales extraños durante el proceso de limpiezas gruesa y fina, se somete al proceso de refinación, cuyo objeto es desarrollar las fibras con las características de resistencias requeridas. Dentro del proceso de la preparación de pasta, la bombas de pulpa, screen vertical y horizontal y los agitadores, son importantes en el proceso de fabricación del papel debido a que su función consiste en la limpieza y descontaminación de las fibras así como su suministro para la posterior formación del mismo.

Durante el proceso de formación del papel, la materia prima utilizada es la fibra celulósica y dependiendo del tipo de papel se incorporan químicos para mejorar algunas características y propiedades que son necesarias para el producto final. Los rodillos de la máquina de papel forman, prensan y secan la hoja que se enrolla en la última de las secciones que constituyen el proceso a estudiar.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 GENERAL

Proponer una estrategia de mantenimiento para optimizar la disponibilidad operativa durante la vida útil de algunos equipos rotativos empleados en la producción de papel Tissue en la empresa Productos Familia Sancela S.A

### 2.2 ESPECÍFICOS

#### 2.2.1 Objetivo 1

Definir las condiciones técnicas importantes para el funcionamiento correcto de algunos equipos rotativos en la producción del papel Tissue.

#### 2.2.2 Objetivo 2

Identificar la condición actual, funcional y vida útil de los equipos rotativos claves en la producción de papel.

#### 2.2.3 Objetivo 3

Proponer los planes y estrategias de mantenimiento con los cuales se avance en la optimización de la condición operativa de los equipos durante su vida útil..

#### 2.2.4 Objetivo 4

Plantear recomendaciones aplicables a estos equipos utilizados en la producción del papel, para contribuir al mejoramiento del proceso productivo.

### 3 DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS ROTATIVOS UTILIZADOS DENTRO LA PRODUCCIÓN DE PAPEL

#### 3.1 OBJETIVO

Definir las condiciones técnicas importantes para el funcionamiento correcto de algunos equipos rotativos en la producción del papel Tissue.

#### 3.2 INTRODUCCIÓN

La gama de tipos de papel que se fabrica es muy amplia y depende de la utilización a que se destine. Se suelen clasificar en: Papeles finos, de pasta de trapos, a la que también se le pueden añadir celulosa; Papeles semifinos, preferentemente a base de celulosa y Papeles ordinarios, en los que prevalece la pasta de madera mecánica.

Se llama papel Tissue al papel suave y absorbente para uso doméstico y para sanitario que se caracteriza por bajo peso y a su proceso de crepado, el cual le confiere elasticidad, absorción y suavidad.

En la producción de papeles tipo Tissue intervienen diferentes equipos rotativos, los cuales desempeñan distintas funciones para garantizar las características apropiadas como la textura, la porosidad, la blancura y la opacidad.

Estos equipos son claves dentro del proceso productivo, el cual conformado por los procesos de pulpeo, de agitación, de limpiezas fina y gruesa, de destintado, de espesado y refinación que se realizan previos a la llegada de materia prima como

fibras recicladas y materia virgen a la Máquina de Papel. Las etapas de la producción de papel en su respectiva máquina son los conocidos como aproximación, formación, presión, succión, secado, y enrollado, siendo este último el principio del proceso llamado conversión.

La industria papelera debe garantizar unos estándares de calidad a lo largo de su cadena productiva, para lo cual debe prestarse especial mayor atención a los programas de mantenimiento predictivo, correctivo y preventivo, con el fin de garantizar la disponibilidad y la confiabilidad operativa requerida y a la vez mejorar la condición de la infraestructura de producción y la de sus componentes.

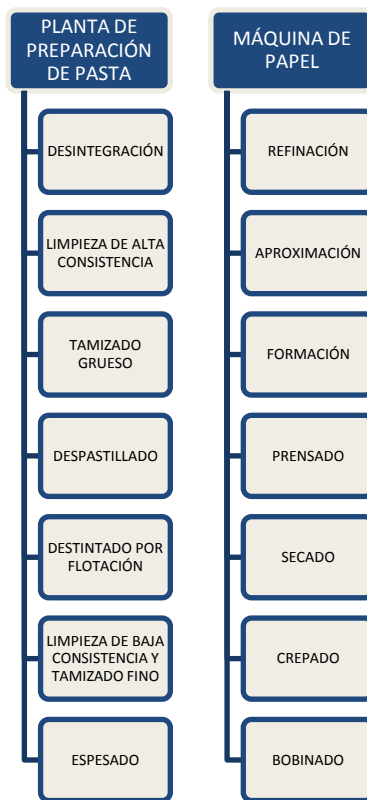
### 3.3 PROCESO PRODUCTIVO DEL PAPEL

Todo papel se produce con fibras de origen vegetal, las que se entrelazan en un proceso de formación en húmedo y luego se secan para formar una hoja continua. Las fibras se obtienen de la celulosa (fibra virgen) o de papeles viejos (fibra reciclada), y pueden ser combinadas en distintas proporciones en la fabricación de papel Tissue, según las características y usos previstos para cada producto.

La fibra virgen se extrae de madera de fibra corta como el de eucalipto globulus y de madera de fibra larga como el de pino insigne. La fibra reciclada es obtenida de papeles y cartones viejos, los que son sometidos a un proceso industrial donde se separan las fibras vegetales, de las impurezas propias del papel usado.

El proceso de fabricación de papel a partir de materia prima reciclada se realiza en dos etapas: La primera etapa se lleva a cabo en la Planta de Preparación de Pasta en donde se eliminan todas las impurezas y contaminantes que traen las fibras y la segunda etapa se desarrolla en la Máquina de Papel.

Figura 1. Proceso para la producción de papel



### 3.3.1 Planta de preparación de pasta

En esta parte del proceso de producción de papel se llevan a cabo varios procesos:

**Desintegración:** Este proceso tiene como propósito la liberación de las fibras. Se realiza en medio acuoso y en equipo llamado pulper, donde por medio de la acción mecánica y de aditivos químicos se separan las fibras, se desprende las partículas de tinta. El funcionamiento del pulper es continuo y después de completado el tiempo de desintegración de las fibras el contenido de este equipo se descarga a

las Peras de Vaciado, en las cuales el contenido que no se desintegró es separado de los materiales que continúan en el proceso.

**Limpieza de Alta Consistencia:** El producto aceptado del proceso de pulpeo es enviada a la primera etapa del depurador ciclónico o hidrociclón para la eliminación de contaminantes de alta densidad como vidrios, arenas, trozos metálicos que son más pesados que la fibra.

**Tamizado Grueso:** Los contaminantes de baja densidad y de mayor tamaño como plástico y polímeros en general son separados al pasar por a través de un tamiz que tiene perforaciones o ranuras.

**Despastillado:** Las fibras que quedaron en grumos y sin desintegrar se deshacen y se mejora el desprendimiento de las partículas de tinta que quedan en las fibras.

**Destintado por flotación:** En este proceso se desprenden las partículas de tinta de la suspensión fibrosa, se mezclan las tintas y el jabón con el agua produciendo burbujas que suben a la superficie formando espuma que contiene gran cantidad de tinta y que posteriormente es separada por succión.

**Limpieza de baja consistencia y Tamizado fino:** El procedimiento es igual que al de alta consistencia y al grueso respectivamente. Pero las partículas que se rechazan tienen mayor tamaño y peso que las fibras.

**Espesado:** El objetivo de este proceso es aumentar la consistencia y enviarla a los tanques de almacenamiento de la máquina de papel. La pulpa que sale del espesador es adecuada para la formación de papel.

### 3.3.2 Máquina de papel

En la máquina de papel se llevan a cabo los siguientes procesos:

**Refinación:** El propósito de este proceso es someter las fibras a acción mecánica para desfibrilar e hidratar sin producir el corte de las mismas para aumentar los puntos de contacto y de esta forma aumentar la resistencia del papel

**Proceso de Aproximación:** Se da lugar a diferentes tipos de fibras. Se adicionan aditivos para la resistencia en húmedo y se diluye la pulpa garantizando una consistencia y flujo estable para que pueda ir al rodillo formador de la máquina. También se realiza la última limpieza por tamiz para que se puedan eliminar las últimas impurezas que puedan dañar el aspecto del papel.

**Formación de la hoja:** Este proceso se realiza en la cabeza de la máquina, la cual tiene como función distribuirla homogéneamente y según el ancho de la malla (Fabricación de Papel ,TORRAS PAPEL S.A, 2008).

**Prensado:** La hoja es conducida a través de prensas que, por presión y succión, eliminan el exceso de agua y provocan la unión de las fibras. El exceso de agua es transferida al fieltro el cual la retiene y es posteriormente retirada por las cajas de vacío. El fieltro lleva la hoja al rodillo secador Yankee.

**Secado:** En la fase de secado se elimina el agua que se encuentra dentro de la fibra. Este proceso ocurre al pasar la hoja entre un cilindro calentado con vapor y un secador que expelle aire calentado. La hoja húmeda es transferida a alta velocidad (alrededor de 100 km/hora) a un paño continuo, similar a una alfombra, que la transporta y la traspasa prensada a un cilindro metálico de grandes dimensiones, calentado internamente por vapor. Sobre este cilindro la hoja es

calentada y, adicionalmente, se le inyecta por fuera aire a alta velocidad, a una temperatura aproximada a los 500° C. A través de todo este proceso la hoja es completamente secada.

**Crepado:** Este proceso genera en la hoja de papel una onda tipo acordeón que le confiere elasticidad, y que mejora su suavidad y su absorción respecto de los papeles lisos. Una lámina metálica aplicada al cilindro secador separa de éste la hoja de papel y la arruga, otorgándole una textura rugosa que imita a la del género y que le da sus propiedades de flexibilidad, absorción y suavidad.

**Bobinado:** La hoja continua es retirada o raspada desde el cilindro mediante una lámina raspadora, al tiempo que es enrollada. Como el enrollado se hace a menor velocidad que la del secador, la hoja tiende a arrugarse contra la lámina raspadora produciendo el “crepado” característico del papel Tissue.

### 3.3.3 Definición de los equipos rotativos considerados en el estudio

#### 3.3.3.1 Rodillos de La Máquina de Papel

Los rodillos son los principales componentes de la máquina de papel cuya función consiste en transportar la lámina delgada, ancha y uniforme que se forma a partir del caudal de pasta que entra a la máquina y llevarla a través de las mesas de formación y prensado retirando el exceso de agua presente en la lámina.

Figura 2. Rodillo de una máquina papelera



(STOWE WOODWARD, 2005)

Estos equipos son de gran tamaño y peso y su función específica varía según la posición de éstos en la máquina (Rodamientos para máquinas papeleras, Shaeffler KG, 2008).

Una máquina de papel contiene los siguientes tipos de rodillo:

**Rodillo Formador:** Son los primeros en recibir el papel cuando todavía es pulpa para ser guiado a través de las mesas formación y prensado. Este rodillo extrae gran cantidad de agua y se da la forma a la lámina de papel restante. Este equipo consta de un cilindro de acero resistente a la corrosión. El agua se extrae a través de unos orificios dispuestos en toda la superficie del cilindro.

La lámina de papel que se empieza a formar es transportada por mediante una banda llamada fieltro hacia la zona de prensado a través de los cilindros aspiradores (Rodamientos para máquinas papeleras, Shaeffler KG, 2008).

**Rodillos Aspiradores (Succión):** Estos rodillos se encuentran en la sección de fieltro o prensas de una máquina papelera. Son cilindros que contienen una gran cantidad de agujeros por todo el perímetro del mismo. La caja de vacío es estacionaria.

Rodillos Prensa: La lámina de papel es transportada por el fieltro a través de los rodillos en donde es extraída gran parte del agua. En la zona de prensado, estos cilindros son presionados contra el cilindro central de la máquina.

Rodillos Guía: Son los conductores del fieltro en las zonas húmedas y de secado de la máquina.

Cilindros Secadores (Yankee): En la zona de secado, el agua todavía presente en la lámina de papel es evaporada. Estos cilindros son calentados por vapor de agua (La temperatura depende del tipo de papel, de su espesor, de su velocidad y del número de cilindros secadores).

#### 3.3.3.2 El Refinador

La refinación es el proceso de cambio en tamaño, superficie específica y plasticidad que sufren las fibras al ser sometidas a un proceso de transferencia de energía hacia la suspensión en medio acuoso. Esta modificación que sufre la fibra permite desarrollar el potencial de enlace o destrucción de las mismas. En este proceso se imparten las características deseadas en el papel, como producto integrado por fibras, con determinadas características de resistencia, absorbencia y translucidez (Turrado, 2005).

Dentro del proceso de la producción de papel, el refinador cumple una importante labor en el tratamiento mecánico para alistar las fibras antes de entrar a la máquina de papel.

Figura 3. Refinador



(Metso Paper, 2008)

Los objetivos del proceso de refinación son los siguientes:

- Desarrollo adecuado de la resistencia de las fibras.
- Control de formación de la hoja y el drenaje de la máquina de papel.
- Obtención de las propiedades físicas, ópticas y estéticas que se necesitan en el papel.

El refinador consta de tres elementos: Rotor, Estator y cuerpo del equipo. En el diseño de este equipo se puede identificar dos zonas: la zona de liberación de fibras y la zona de refinación. De acuerdo a lo anterior el refinador cumple dos funciones:

- Como bomba de baja eficiencia, tanto el rotor como el estator están conformados por nervaduras (de ancho, largo y ángulo diferentes) y canales. La inclinación de las nervaduras y canales pueden ejercer la acción de expulsar el material fibroso o retenerlo por más tiempo en la zona de refinación.
- Como implemento para transmitir energía mecánica a las fibras. El tiempo de refinación debe ser máximo para permitir el acondicionamiento de las fibras y mejor asimilación de energía por las mismas. Si se aplica demasiada energía en poco tiempo, las fibras no pueden asimilarla y explotan generando su destrucción. Es muy importante que la inclinación de las nervaduras sea la adecuada (Turrado, 2005).

La acción de un refinador depende de tres factores: diseño, forma de operarlo y características de la pulpa.

En el diseño es importante la velocidad de rotación, la geometría de los discos y las dimensiones de los dientes.

En su forma de operación influyen mucho la dirección de flujo de la pasta, la configuración, la carga o potencia eléctrica que se aplica mediante el control en la distancia de entre los discos, la consistencia a la cual se opera y el flujo o tonelaje que se pasa a través de un refinador.

En cuanto a las características de la pulpa la especie de fibra, el método o grado de pulpeo, el proceso de blanqueo y la distribución de la longitud de la fibra y su composición química influyen dentro del proceso de refinación.

Con una óptima refinación es posible lograr mejoramientos en la fabricación de la hoja de, disminución de los reventones, aumento en la velocidad de la máquina, reducción de la energía de secado y reducción de la necesidad de fibras y aditivos costosos en la formulación de pasta (Torres, 1996).

### 3.3.3.3 Agitadores

El proceso de agitación consiste en forzar un fluido o varios por medios mecánicos para que genere un movimiento circular en el interior de un recipiente o tanque. Por lo general un sistema de agitación consiste en un recipiente (abierto o cerrado) y un reductor que se acopla al sistema de paletas cortantes que son

accionados por un motor que proporciona la potencia suficiente para su funcionamiento.

La principal función de los agitadores en la industria papelera radica en no permitir que la pulpa se estanque al interior del tanque de almacenamiento porque ésta puede sufrir algunas modificaciones en su estructura molecular causado por los distintos químicos que se utilizan en el proceso.

Figura 4. Agitador



(Tecnología avanzada para procesos y conversión, 2008)

Otra función de los agitadores es garantizar la producción fluida y no se presente precipitación de la fibra.

#### 3.3.3.4 Tamizado Grueso y Fino (screening)

Durante el proceso de fabricación del papel es importante llevar control sobre el material que luego va a ser parte de la hoja de papel. Este proceso de control se

llama tamizado grueso y fino (screening) y se realiza durante el proceso de preparación de pasta.

El objetivo principal de este equipo es retirar los elementos sólidos que puedan interferir en el proceso debido a que las impurezas son de diferente tamaño, diferente forma y diferente deformación con respecto a las fibras de la pulpa.

Figura 5. Screen Vertical



(Kadant, 2010)

Esta máquina está compuesta por una rejilla ranurada o tamiz en cuyo interior se encuentran unos álabes rotatorios. La pasta entra al interior del tamiz y el rotor con los álabes produce un impulso que hace pasar las fibras por las ranuras del tamiz. Los elementos de las fibras que no logran pasar por las ranuras son conducidas al fondo de la misma donde son extraída por la tubería de rechazos.

### 3.3.3.5 Bombas Centrífugas

Las bombas centrífugas son máquinas hidráulicas en las que la energía mecánica es incrementada por acción de una fuerza centrífuga. Sus elementos constituyentes son: la tubería de aspiración, el impulsor o rodete y la voluta.

Figura 6. Bomba Centrífuga



(Tecnología avanzada para procesos y conversión, 2008)

Este tipo específico de bombas es muy utilizado en los sistemas de bombeo empleados en la industria de papel para el recorrido del fluido del proceso (Sanabria, 2010).

## 4 PROCESO DEL MANTENIMIENTO, INDICADORES DE GESTIÓN Y DETECCIÓN DE FALLAS EN EQUIPOS

### 4.1 OBJETIVO

Identificar la condición actual, funcional y vida útil de los equipos rotativos claves en la producción de papel

### 4.2 INTRODUCCIÓN

La industria papelera tiene como elementos importantes algunos equipos rotativos tales como rodillos, bombas y agitadores, para la transformación de insumos que dan como resultado la materia prima para la elaboración de sus productos.

Estos equipos evidencian durante las intervenciones rutinarias de mantenimiento comportamientos muy comunes que son características de estas máquinas. Estos comportamientos muestran uno o varios de los siguientes síntomas: vibraciones, soldadura mecánica, fugas de fluidos, desalineación, fisuras, fatiga mecánica, obstrucción en el flujo del proceso.

Para garantizar unas buenas prácticas de mantenimiento se recurre a la ayuda que ofrecen los equipos electrónicos que proporcionan una información más real de las condiciones en que se encuentran los componentes más importantes de cada equipo dentro del proceso producción al cual pertenecen. Dentro de estas herramientas se encuentran las utilizadas en el mantenimiento predictivo, como son, ultrasonido, el monitoreo de vibraciones, monitoreo del estado de

rodamientos, diagnóstico aplicando termografías y utilización de líquidos penetrantes.

Existen diferentes metodologías de gestión y realización del mantenimiento que se pueden implementar en la estructuración de un programa de rutinas de inspecciones que faciliten la organización de las actividades de cada una de las personas integrantes de los equipos de trabajos de mantenimiento y como resultado de una buena gestión, garantizar la conservación de los equipos y el logro del resultado del proceso.

#### 4.3 DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO EN LA EMPRESA PRODUCTOS FAMILIA SANCELA S.A

De acuerdo con el programa de mantenimiento diario establecido, las rutinas de inspección de equipos van desde apretar prensa estopas hasta el monitoreo de vibraciones, verificación del estado de los rodamientos medidos en decibeles, medición de temperaturas y lubricación.

En general las rutinas de mantenimiento están basadas en el monitoreo de condiciones, en donde los síntomas identificados en las máquina determinan la actividad o actividades que se debe realizar, verificar el comportamiento de las variables funcionales más importantes que provean mejor información de fallas potenciales y a partir de esto cometer las actividades de manera se puedan evitar anomalías en las partes constitutivas de cada equipo.

#### 4.4 DEFINICIÓN DE LAS TAREAS DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO

El mantenimiento predictivo se centra en el estudio del comportamiento de parámetros que pueden orientar sobre posible ocurrencia de fallas y a partir de

esta información determinar el tiempo en el cual se podrían originar condiciones de avería fuera de los escenarios estándares de funcionamiento de los equipos, para planificar las tareas proactivas con la oportunidad requerida para evitar consecuencias anómalas graves que generen paros imprevistos en los equipos.

Este tipo de mantenimiento se basa en tres importantes aspectos: Detección, Análisis y Corrección. La Detección se basa en la identificación del problema ya sea por una inspección rigurosa y contante de los equipos por medio de un sistema de ayuda que almacena datos de las variables monitoreadas en las actividades de inspección. El Análisis se basa en la precisión del problema para identificar las diferentes causas que dependen en gran medida del punto donde aparece el síntoma, la localización y el entorno donde opera la máquina. Por último, la Corrección es el conjunto de actividades que se implementan para solucionar el problema. Para este último paso se requiere del análisis y definición de las acciones a seguir, del momento más adecuado para la implementación, buscando siempre que sea eficaz, minimizando o evitando el impacto negativo en el proceso de producción.

#### 4.4.1 Monitoreo de condiciones

Para el desarrollo de las tareas que constituyen una parte del monitoreo de condiciones se utiliza el equipo VIBROTIP.

VIBROTIP es un equipo utilizado en mantenimiento predictivo con el objetivo de conocer y hacer seguimiento de las tendencias de los parámetros de las máquinas para su posterior intervención oportuna con el fin de reducir la frecuencia de fallos y paradas inesperadas. Una de las características más relevantes de este equipo es el software especializado que permite la visualización del comportamiento de

cada máquina inspeccionada. Esta herramienta computacional proporciona un gran número de posibilidades para llevar a cabo un buen monitoreo por condición

Los puntos de medición utilizados en los equipos son los anclajes, las chumaceras, las volutas, las carcasas con el fin medir con mayor precisión la vibración.

Las variables a medir por el VIBROTIP son:

- Análisis de vibración.
- Estado de rodamientos.
- Cavitación.
- Temperatura.
- RPM.

- Análisis de vibración

El parámetro utilizado para la medición de vibración se obtiene mediante la velocidad efectiva RMS de la máquina. Una vez los datos son obtenidos por el equipo se procede a analizar los resultados aplicando la metodología indicada en la norma ISO 2372, la cual clasifica el nivel de vibración según el tipo de máquina que se esté utilizando.

- Estado de rodamientos

Para el estado de rodamientos, el VIBROTIP utiliza el método de choques para llevar a cabo su registro, el cual es transmitido por el contacto de superficies diferentes en los rodamientos que presentan algún defecto o anomalía produciendo ruido y vibración. Estos impulsos pueden darse en todo el rodamiento debido a las irregularidades de sus superficies y sus elementos rodantes. Para el

análisis del estado de rodamientos este equipo efectúa las mediciones de decibeles (dB)

- Cavitación

Este equipo puede medir la cavitación en bombas, turbinas y válvulas.

- Temperatura

El VIBROTIP mide la temperatura con una termocupla situada en la parte superior de este, con la cual se puede medir dentro de un rango comprendido entre -30°C y 270°C. También es adecuado para medir la temperatura de los fluidos del proceso.

- Descripción del software OMNITREND

Este software permite llevar un registro de las mediciones, las tendencias seguidas por los equipos a través del tiempo, efectuar análisis de la información que conlleve a la intervención oportuna y óptima con el fin de garantizar la productividad y la disminución de fallas imprevistas. La utilidad de este software radica en que dinamiza y agiliza la tarea de manipulación de datos por parte de la persona encargada de realizar las tareas de inspección y monitoreo.

Una ventaja de este programa computacional es la capacidad de producir reportes diarios, semanales, quincenales, mensuales. El OMNITREND maneja una base de datos con todos los equipos pertenecientes al proceso productivo de papel, algunos de los cuales son agitadores, rodillos, bombas, refinadores, screenes, por medio de una estructura tipo árbol que ayuda a jerarquizar los tipos de procesos como aproximación, secado, prensado, embobinado.

Las herramientas de ayuda para el análisis de los equipos que ofrece el OMNITREND son las alarmas que se pueden programar por parte del usuario para cada equipo. El programa grafica los registros obtenidos mediante la codificación de rutas que maneja OMNITREND, con las que se puede organizar un cronograma de actividades diarias, mensuales, o de otra periodicidad, para garantizar la intervención oportuna en cada equipo de proceso de producción.

#### 4.4.2 Puntos de medida de los diferentes equipos rotativos

Para llevar a cabo las mediciones con el equipo VIBROTIP en la realización de las tareas de mantenimiento predictivo, se deben tener en cuenta los puntos de medición identificados y formalizados para cada máquina.

- Bombas de Agua, Pulpa y Sumidero

Las bombas dentro de la industria papelera representan los elementos más comunes y muy importantes dentro de la producción de papel. Su importancia genera la necesidad de mantener todos sus componentes en un estado adecuado de funcionamiento y confiabilidad.

Los puntos para el monitoreo en una bomba están organizados como se indica en la siguiente tabla:

Tabla 1. Puntos de medida de las bombas centrifugas

BOMBA CENTRÍFUGA	
PUNTOS DE MEDIDA	MEDICIÓN
Lado Transmisión	Análisis de Vibraciones y Estado de Rodamientos
Lado Impeller	Análisis de Vibraciones y Estado de Rodamientos
	Análisis de Vibraciones
Voluta	Cavitación
Acople	Inspección Visual
Carcasa Bomba	Temperatura

- Agitador

Las variables a monitorear en esta clase de equipo son las vibraciones en el motor y la polea. También se analizan los rodamientos de las chumaceras.

Los puntos de medición se indican en la siguiente tabla:

Tabla 2. Puntos de medida del agitador

AGITADORES	
PUNTOS DE MEDIDA	MEDICIÓN
Chumacera Lado Propela	Análisis de vibraciones, Estado de Rodamientos, Temperatura
Chumacera Lado Polea	Análisis de vibraciones, Estado de Rodamientos, Temperatura
Polea (Banda de Transmisión)	Inspección visual
Motor	Análisis de vibraciones, Estado de Rodamientos, Temperatura

- Rodillos de la Máquina de Papel

Los rodillos desempeñan una función muy importante para las características del papel como son la humedad, la blancura, la resistencia mecánica, la rugosidad y la opacidad. La realización del monitoreo de las condiciones a este tipo de equipo es fundamental para garantizar la producción.

Las partes a monitorear se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 3. Puntos de medida de los rodillos de la máquina de papel

RODILLOS MÁQUINA DE PAPEL	
PUNTOS DE MEDIDA	MEDICIÓN
Chumacera Lado Operación	Análisis de Vibraciones, Estado de Rodamientos, Temperatura
Chumacera Lado Transmisión	Análisis de Vibraciones, Estado de Rodamientos, Temperatura

- Equipos papeleros

El seguimiento de las condiciones a los equipos papeleros en donde se realiza la limpieza de las fibras y la preparación de pasta de papel en el momento previo a la entrada a la Máquina, se basa en la inspección de las siguientes partes:

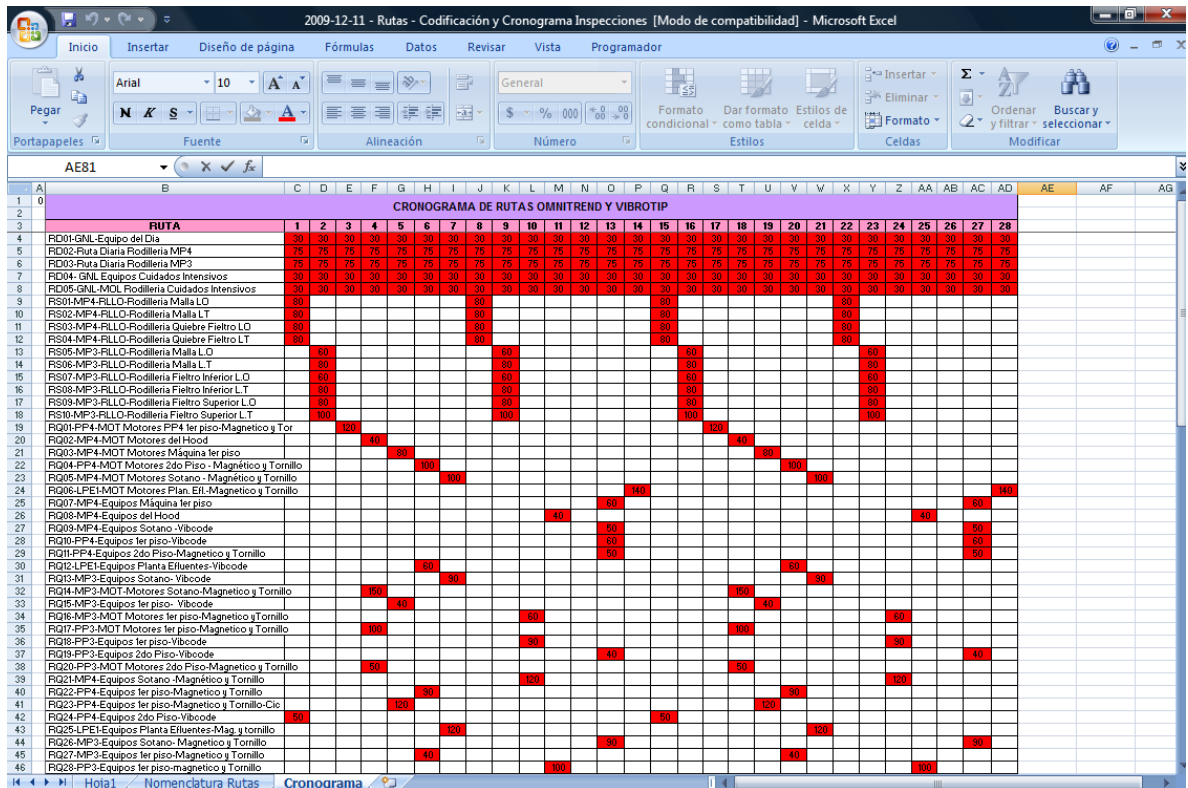
Tabla 4. Puntos de medida de los equipos papeleros

EQUIPOS PAPELEROS		
EQUIPO	PUNTOS DE MEDIDA	MEDICIÓN
Despastillador	Lado Transmisión	Análisis de Vibraciones, Estado de Rodamientos
	Lado Impeller	Análisis de Vibraciones, Estado de Rodamientos
	Voluta	Cavitación
	Acople	Inspección Visual
	Carcasa Bombas	Temperatura
	Motor	Análisis de Vibraciones, Estado de Rodamientos, Temperatura
Refinador	Chumacera Lado Operación	Análisis de Vibraciones, Estado de Rodamientos
	Chumacera Lado Polea	Análisis de Vibraciones, Estado de Rodamientos, Temperatura
	Motor	Análisis de Vibraciones, Estado de Rodamientos, Temperatura

### 4.4.3 Definición del cronograma de mantenimiento predictivo

Para el equipo de personas que trabaja en las tareas de mantenimiento predictivo en el área de molinos, en Productos Familia Sancela se elaboró un cronograma con las actividades que deben realizar cada uno de los días del mes, es decir, para cada día se tiene especificado el trabajo previsto para los tres turnos diarios que se realizan en la empresa.

Figura 7. Cronograma de rutas para mantenimiento predictivo



Estas rutas se pueden dividir en diarias, en rutas para equipos en cuidados intensivos, rutas semanales, rutas quincenales y rutas mensuales. Según el comportamiento que presenten los equipos las rutas se pueden modificar en su cobertura de equipos a monitorear, por ejemplo, los equipos que se encuentran en

cuidados intensivos varían dependiendo de la condición de los parámetros y las tendencias identificadas en cada inspección. El cronograma de rutas se utiliza teniendo en cuenta el tipo de sensor que se debe usar en cada equipo, si es sensor para tornillo, para VIBCODE o si se maneja sensor magnético. El tipo de lector del VIBROTIP varía dependiendo de la facilidad con que se pueda efectuar la medida, con el fin de garantizar la calidad de la información.

Para el manejo de los sensores y la facilidad de realización de la medida, las personas encargadas de mantenimiento predictivo han organizado su cronograma de trabajo repartiendo equitativamente durante el mes las horas empleadas para cada ruta, con el fin de garantizar la cobertura programada para cada día de trabajo.

Al terminar un grupo determinado de equipos, el personal de mantenimiento predictivo descarga los datos en el software OMNITREND para poder realizar el análisis de las condiciones que presenta cada máquina. Cuando se percibe que el equipo monitoreado está en estado próximo a la falla, o con tendencia de estado de rodamientos y vibraciones fuera de los estándares tomados como referencia se procede a mandar informes vía correo electrónico a los supervisores de mantenimiento, planeador de mantenimiento y jefe de mantenimiento con el propósito de informar y prevenir sobre las consecuencias que pueden tener estas condiciones identificadas sobre los equipos y el proceso productivo.

Otro punto importante es la lubricación dentro del cronograma de mantenimiento predictivo. Este aspecto se maneja con base a unos formatos que contienen la rutina diaria a realizar. Estas actividades se realizan en diferentes equipos de la planta como el compresor, las máquinas de papel 3 y 4, la planta de preparación de pasta 3, la planta de preparación de pasta 4, la planta de efluentes. Se realiza el programa semanal de todas las máquinas dependiendo si se utiliza grasa o

aceite. Para la lubricación realizada a partir aceite, se revisa los niveles de aceites tres veces por semana y si es a partir de grasa se lubrica cada ocho días según lo estipulado en el programa. Todos los días se lubrica una cosa distinta.

#### 4.5 DESCRIPCIÓN DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El mantenimiento preventivo es el desarrollo de inspecciones e intervenciones periódicas programadas para un activo fijo dentro de una industria, con el propósito de detectar estados inadecuados de los elementos constitutivos que puede generar paros en la producción o puede ocasionar daños severos en máquinas, equipos o instalaciones (Mora, 2009).

Dentro de este tipo de mantenimiento se pueden considerar dos aspectos importantes realizados en la empresa:

- La inspección de equipo que se realiza en cada uno de los tres turnos ayuda a tener una buena información acerca de fugas, ruidos, solturas en bases que soportan máquinas y demás comportamientos que se generan día a día. Estas inspecciones se realizan con la ayuda de instrumentos como estetoscopios, lámparas estroboscópicas y elementos para poder sujetar, apretar las posibles uniones que así lo requieran. Esta intervención se realiza diariamente.
- El mantenimiento preventivo mensual o con otra frecuencia, programado para cada máquina, se aprovecha para realizar intervenciones oportunas en los componentes que así lo requieran como son la revisión de las grasas en las chumaceras de los rodillos, el cambio de rodamientos, el cambio de rodillos por cumplimiento de tiempo de trabajo en los rodillos de presión y succión. Estos tipos de paradas no obstaculizan el proceso productivo, son paradas programadas y

realizadas en coordinación con el departamento de producción, con el propósito de mejorar las condiciones funcionales de la máquina.

#### 4.6 ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS EQUIPOS

La historia de las intervenciones de los diferentes tipos de mantenimiento que se realizan a los equipos, es clave para analizar los puntos críticos de los componentes constitutivos de los equipos rotativos.

En Productos Familia las bases de datos son almacenadas utilizando las facilidades del software de información llamado SAP R3, el cual proporciona muchas herramientas para el control de repuestos, inventarios, operaciones realizadas en los equipos y los cambios efectuados para mejorar el rendimiento de un equipo en especial.

Con apoyo de la información de las bases de datos, se efectúan estudios sobre los consumos de repuestos, la clase de orden de trabajo realizada, los costos que se generan mensualmente por las intervenciones realizadas, con el propósito de efectuar un seguimiento detallado sobre los resultados y a partir de estos identificar e implementar acciones de mejora.

##### 4.6.1 Clase de órdenes programas para cada trabajo de mantenimiento

El departamento de mantenimiento del área de Molinos en Productos Familia clasifica las órdenes de trabajo de acuerdo con las actividades a realizar.

- Clasificación de las órdenes de trabajo en SAP R3

Tabla 5. Clasificación de las órdenes de trabajo

CLASE DE ORDEN PM	DESCRIPCIÓN DE LA CLASE DE ORDEN	ACTIVIDAD A REALIZAR POR CLASE DE ORDEN
PM02	Orden de trabajo Preventivo	1. Inspección
		2. Preventivo
		3. Lubricación
		8. Limpieza
		9. Por condición
PM03	Orden de Trabajo 1 paso	3. Reparación inmediata
PM04	Orden de Trabajo Correctivo Programado	3. Reparación inmediata
		10. Cuidados Intensivos
		11. Correctivo Programado
PM05	Orden de Trabajo por Cambio de Referencia	7. Cambio de Referencia
PM06	Orden de Trabajo Proyectos	6. Mejoras Operativas
		7. Proyectos
		13. Mejoras de Seguridad

#### 4.6.1.1 Comportamiento de las clases de órdenes de mantenimiento

Tomando información histórica de las órdenes de mantenimiento para el periodo comprendido entre el año 2005 y el año 2009 se obtuvieron los siguientes resultados:

- Año 2005

Figura 8. Clase de órdenes para el año 2005

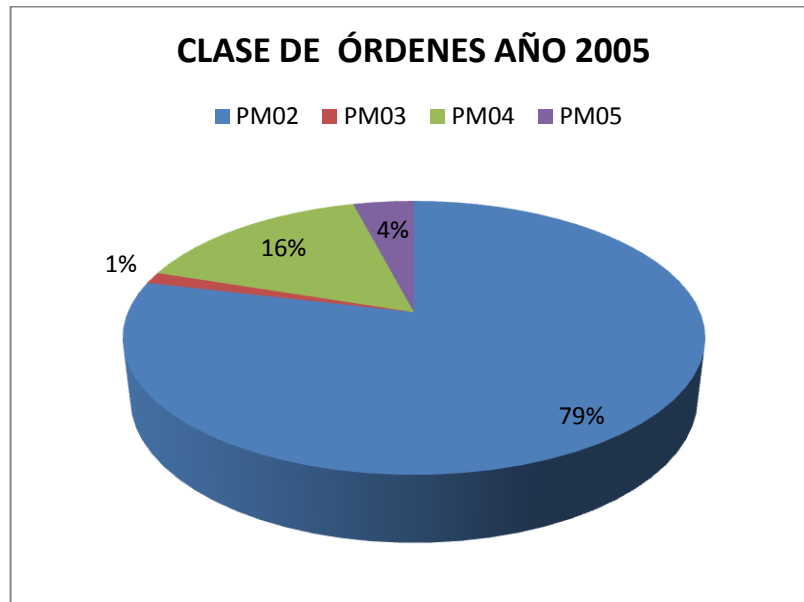
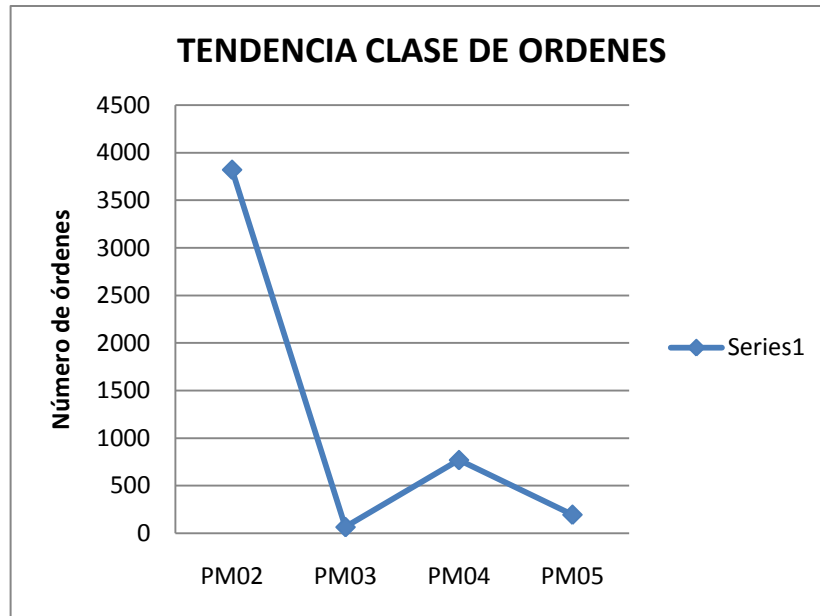


Figura 9. Tendencia de la clase de orden para el año 2005



- Año 2006

Figura 10. Clase de orden para el año 2006

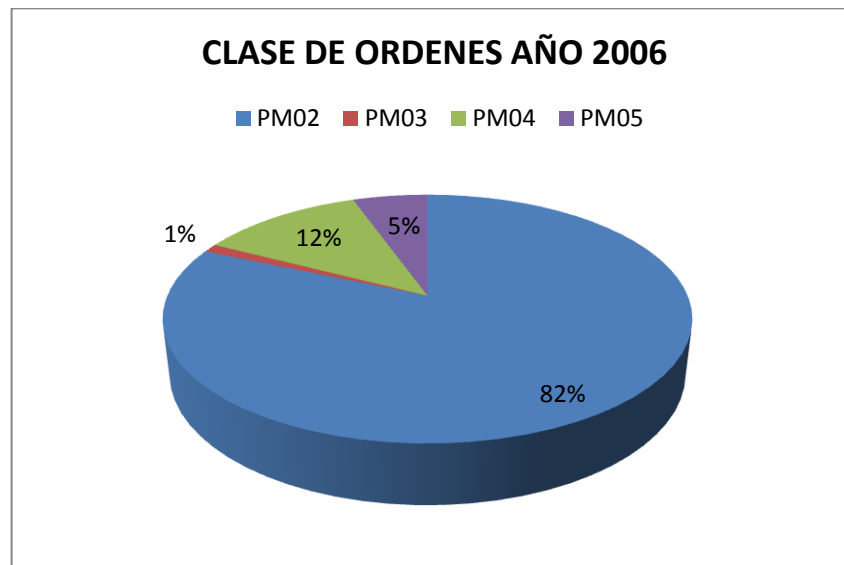
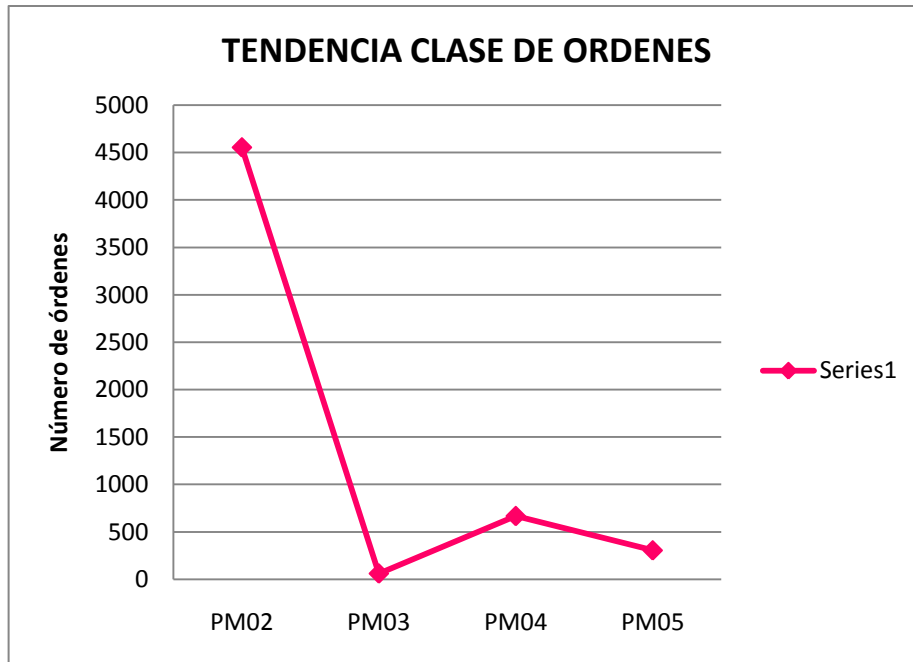


Figura 11. Tendencia clase de orden para el año 2006



- Año 2007

Figura 12. Clase de órdenes para el año 2007

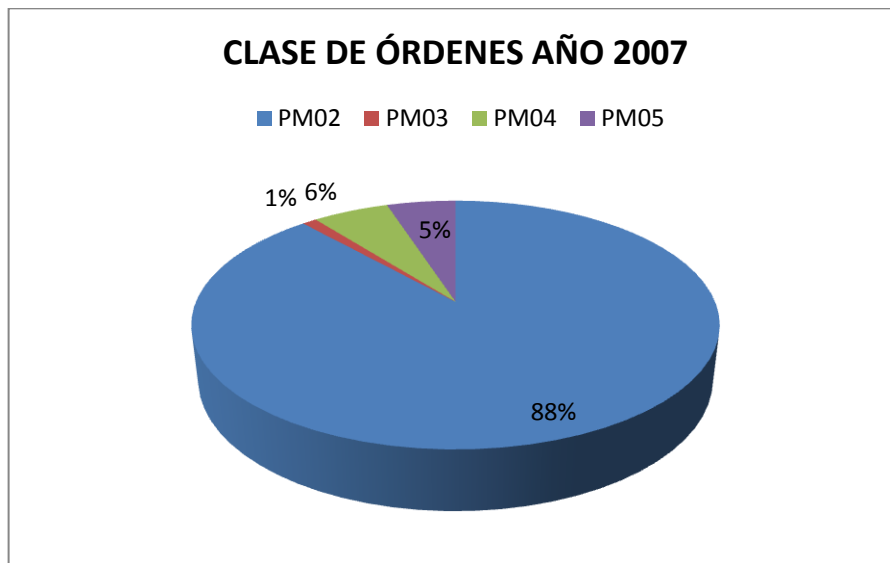
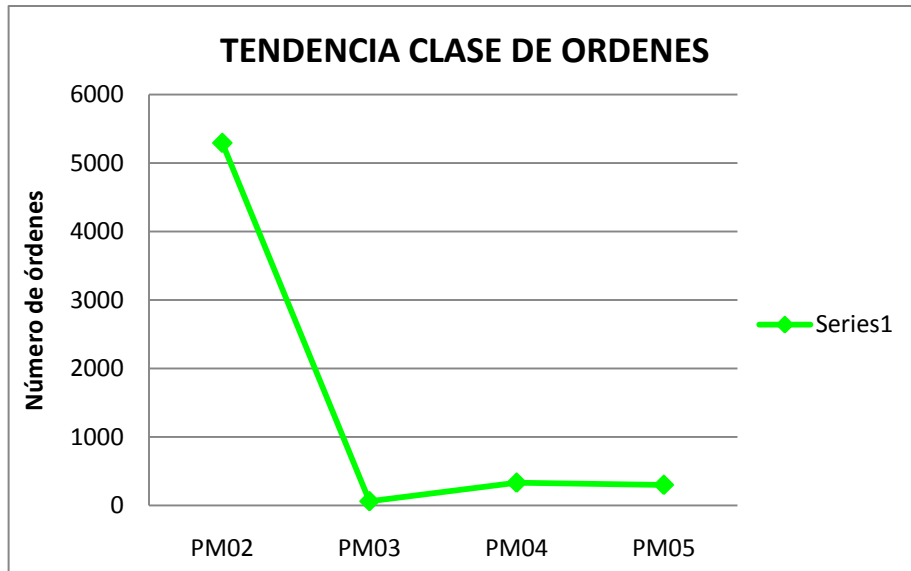


Figura 13. Tendencia clase de orden para el año 2007



- Año 2008

Figura 14. Clase de orden para el año 2008

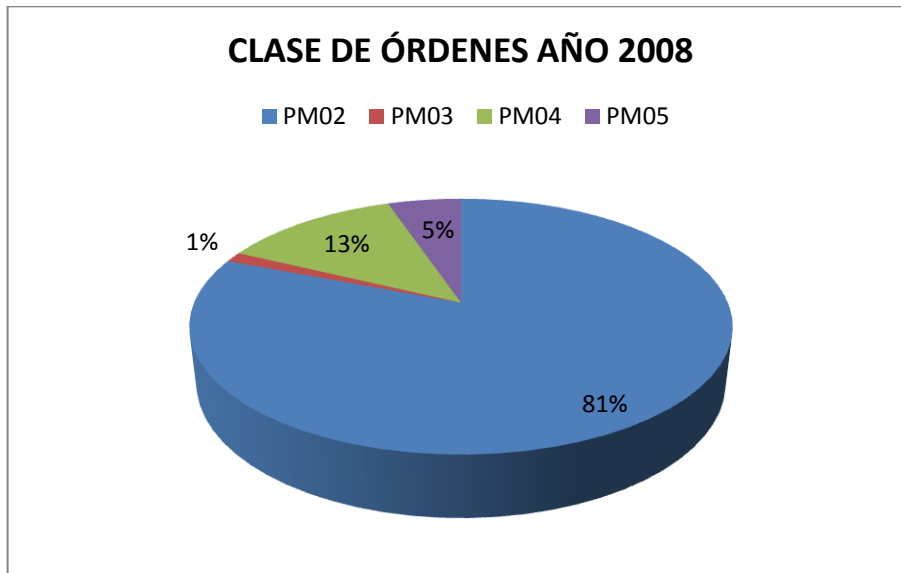
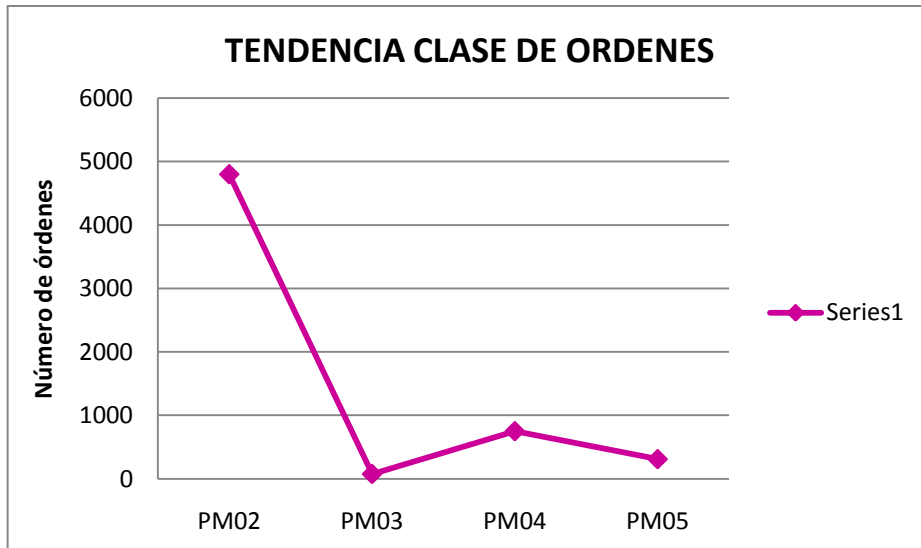


Figura 15. Tendencia clase de orden para el año 2008



- Año 2009

Figura 16. Clase de orden para el año 2009

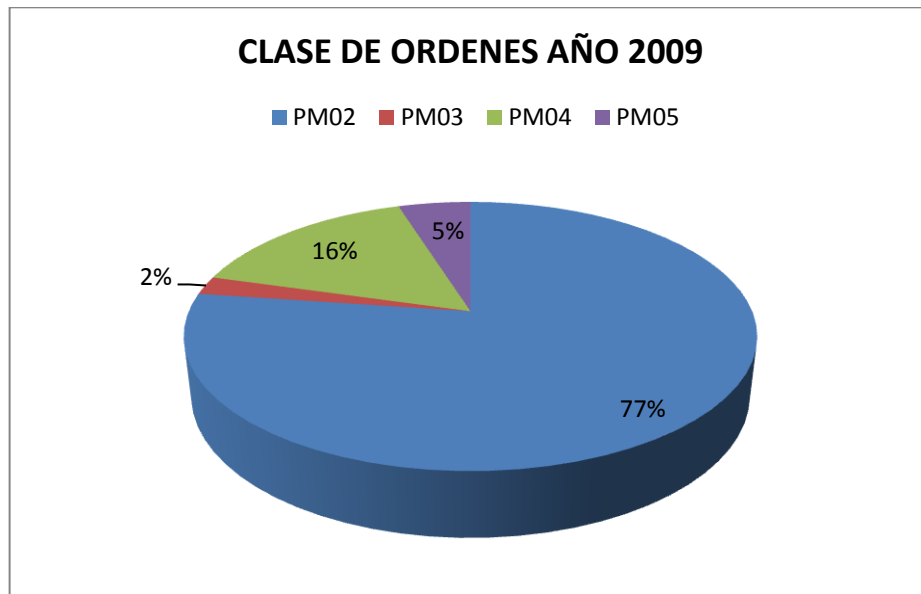
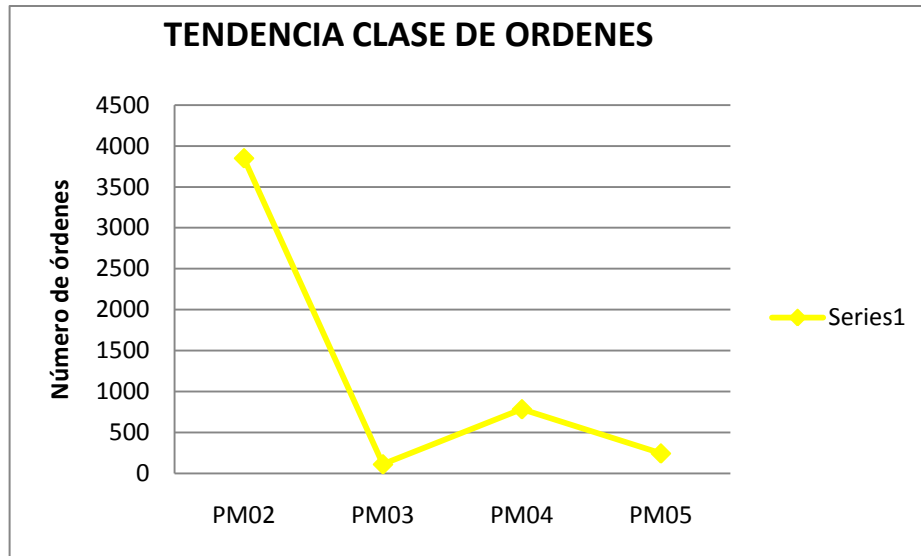


Figura 17. Tendencia clase de orden para el año 2009



De acuerdo con las gráficas en las cuales se muestra el comportamiento de las órdenes de trabajo para mantenimiento, se puede realizar las siguientes precisiones:

- Las órdenes de trabajo para tareas establecidas como de rutina como son “Inspección, Preventivo, Lubricación, Limpieza y Por Condición” involucraron la mayoría de las intervenciones de mantenimiento. Las órdenes por trabajos preventivos representan más del 75% del total de las órdenes ejecutadas para los diferentes trabajos de mantenimiento.
- Las clases de orden PM03 Y PM04 para el trabajo de reparación inmediata pueden generar cierto inconveniente en el momento de realizar su respectivo registro en SAP porque abarcan la misma actividad pero su orden es diferente. A futuro se debe realizar una distinción entre estos dos tipos de orden para garantizar una buena documentación y su respectivo análisis. La orden PM03 representa el 1% de las intervenciones de mantenimiento mientras que la orden PM04 representa aproximadamente un 11%.

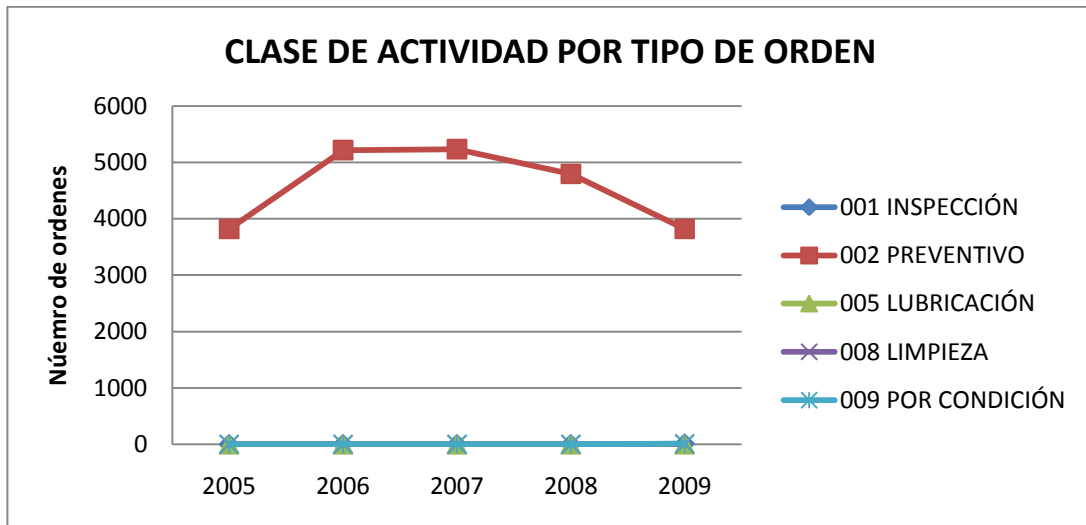
- Las órdenes por cambio de referencia representan un 4% aproximadamente de las órdenes totales gestionadas por mantenimiento.
- Estas gráficas permiten identificar el comportamiento de los equipos de acuerdo con los programas de trabajo definidos para esos períodos, a la vez conocer de manera importante la profundidad y la habilidad para la utilización del software SAP R3 como herramienta para gestión de la información

#### 4.6.1.2 Comportamiento de las órdenes de trabajo por actividad realizada

Para un análisis detallado de las actividades realizadas por los responsables del mantenimiento se presenta a continuación el resultado de las tareas que pertenecen a cada tipo de orden ejecutada. Las convenciones utilizadas en las gráficas para realizar el análisis se toman como referencia las que se manejan en la empresa por el sistema de información SAP R3.

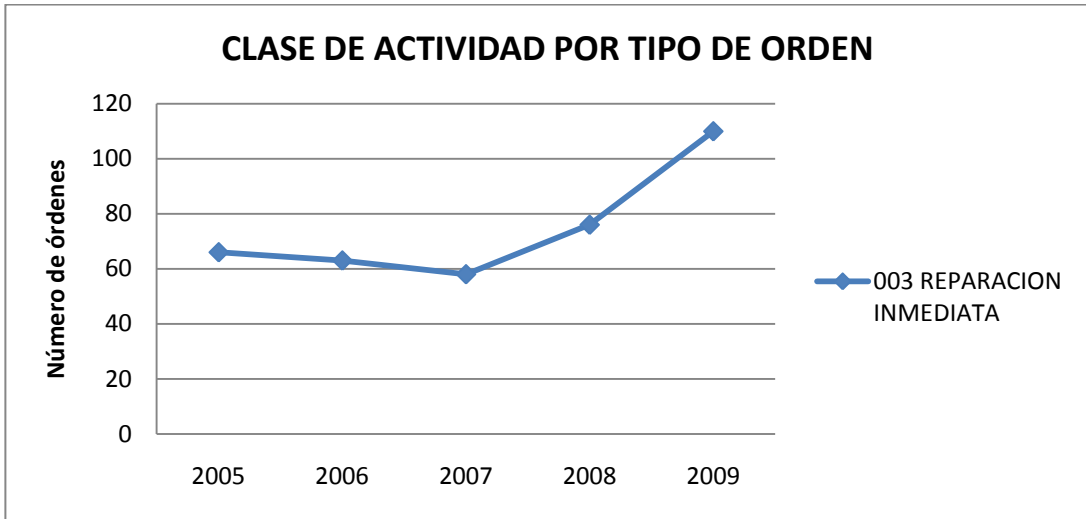
- Clase de orden PM02

Figura 18. Clase de actividad por tipo de orden para PM02



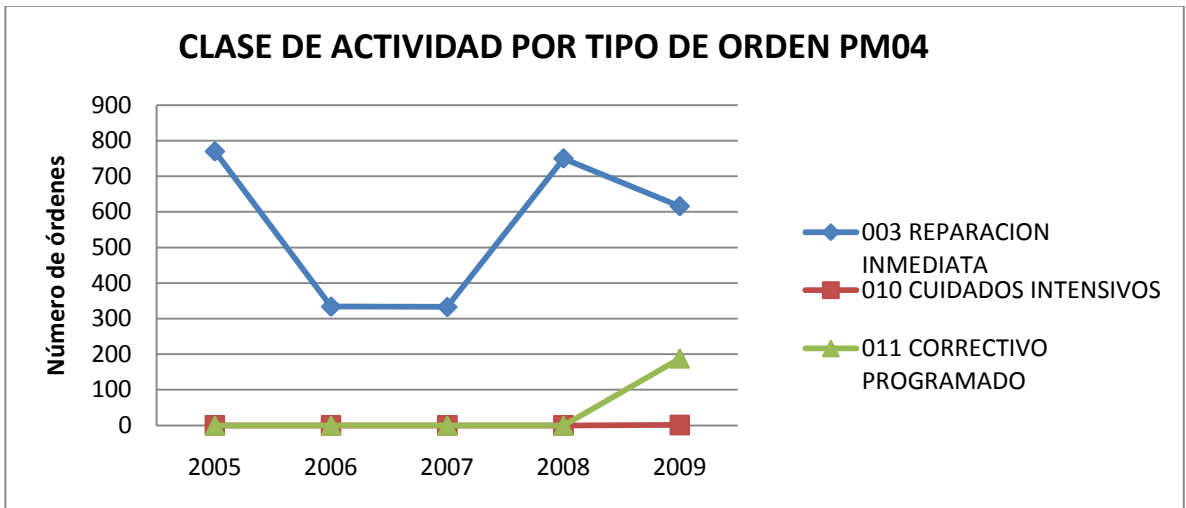
- Clase de orden PM03

Figura 19. Clase de actividad por tipo de orden PM03



- Clase de orden PM04

Figura 20. Clase de actividad por tipo de orden PM04



De este grupo de gráficas que muestra la cantidad y la tendencia de las órdenes de trabajo programadas para el período de tiempo indicado, se pueden precisar los siguientes aspectos:

- Hay un gran vacío en el registro de la documentación de las intervenciones por mantenimiento programado, puede verse claramente que las inspecciones de rutina no se registran en el sistema de información SAP. Toda la información de las actividades de cada orden está condensado como un solo concepto, actividad por acción preventiva.
- Las reparaciones inmediatas para la orden PM03 muestran una tendencia incremental para el subperíodo comprendido entre el año 2007 y el año 2009.
- Para las tareas en la clase de actividad PM04 se ve una clara tendencia a la reparación inmediata. Para las actividades denominadas “cuidados intensivos y las de correctivo programado” no hay disponibilidad de información registrada en SAP R3. Es necesario reforzar este tema para garantizar el adecuado control sobre los distintos tipos de trabajos para mantenimiento en cuanto a su documentación.

#### 4.6.2 Revisión de los consumos de repuestos en los equipos

Gran parte de los costos de la gestión del mantenimiento en cualquier industria, provienen de manera importante de los cambios de componentes, de elementos de los equipos y de equipos.

La gestión de los repuestos tiene como uno de sus objetivos darle soporte a las tareas de mantenimiento planeadas y no planeadas.

El incremento en los requerimientos de competitividad que hacen los mercados, conlleva a que la gestión del mantenimiento tenga cada vez mayor relevancia y procure mejorar la capacidad de intervención en los equipos de producción y el

manejo adecuado de la disponibilidad de repuestos y de los costos asociados a éstos.

Para una buena utilización del almacén de stocks se requiere que el personal de mantenimiento tenga los conocimientos y habilidades para identificar la condición de los equipos, definir las necesidades de repuestos de acuerdo con los programas e intervenciones de mantenimiento identificados e implementados.

La gestión de los repuestos debe orientarse a optimizar los costos y a la vez garantizar la disponibilidad que permita atender las necesidades de los equipos, sin generar impactos negativos en la producción, más allá de los paros que indiscutible hay que programar.

#### 4.6.2.1 Descripción del análisis del consumo de repuestos

Para realizar el análisis de consumos de repuestos se identificaron los equipos característicos del proceso de producción que son objeto de este estudio, las bombas, los equipos de limpieza de papel, los agitadores, los rodillos en la máquina de papel, en los cuales se identificaron los componentes que presentan una mayor número de intervenciones, algunos de los cuales son los rodamientos, los ejes, los bujes, los empaques y las bandas.

Los equipos y sus componentes que son objeto de este estudio son los siguientes:

- Bombas: Ejes y bujes, empaques, rodamientos, acoples, impellers.
- Agitadores: Empaques, rodamientos, correas y bandas, manguitos, ejes y bujes.
- Equipos papeleros (screenes, refinadores, despatilladores): Empaques, rodamientos, correas, bandas, ejes y bujes.

- De los equipos en general: Rodamientos, empaques, bandas, chumaceras, manguitos, ejes, bujes y acoples.

El estudio realizado se centra en la cuantificación de las unidades cambiadas a lo largo de un período de tiempo, con el propósito de visualizar de manera concreta los componentes que generen más costos para proporcionar las mejoras a implementar.

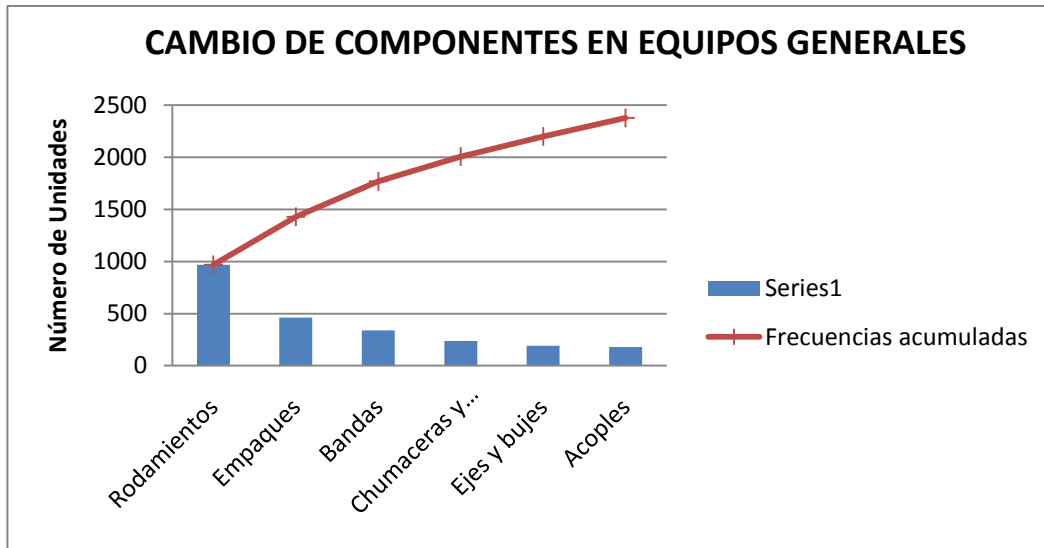
Para el estudio se realizan diagramas de Pareto a cada uno de los elementos en cada equipo y con los cuales se obtuvieron los siguientes resultados:

- Equipos en General

**Tabla 6. Pareto de equipos generales**

PARETO EQUIPOS GENERALES				
COMPONENTES	NUMERO DE UNIDADES	FRECUENCIA ACUMULADA	% DEL TOTAL	% ACUMULADO DEL TOTAL
RODAMIENTOS	967	967	40.66	40.66
EMPAQUES	462	1429	19.43	60.09
BANDAS	339	1768	14.26	74.34
CHUMACERAS Y MANGUITOS	239	2007	10.05	84.39
EJES Y BUJES	192	2199	8.07	92.47
ACOPLES	179	2378	7.53	100.00
TOTAL	2378		100%	

Figura 21. Cambio de componentes en equipos generales

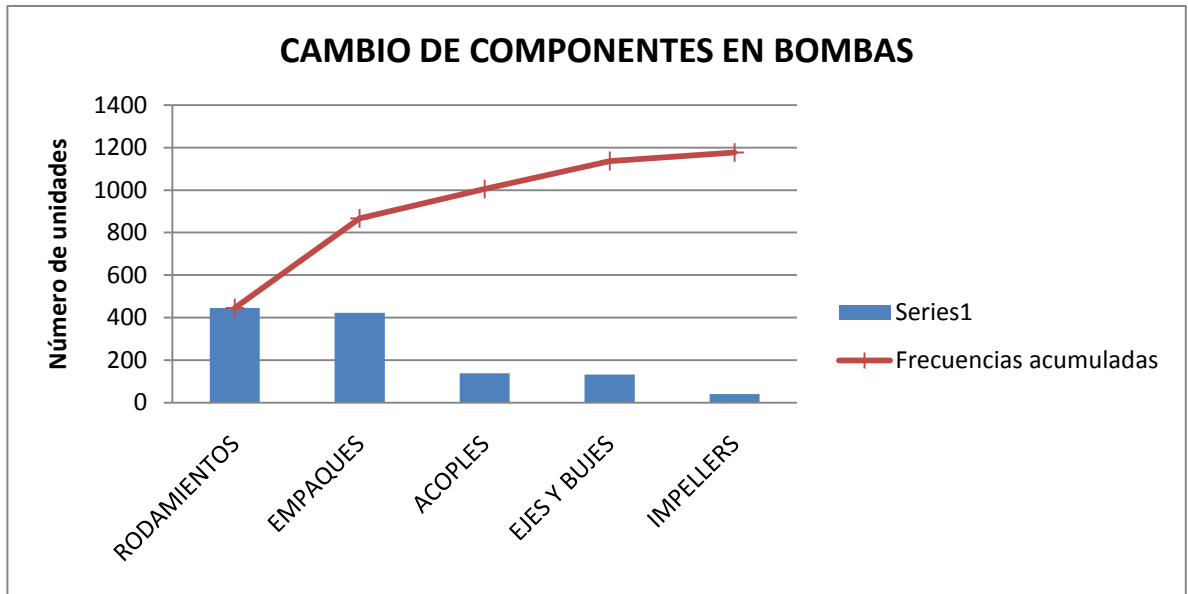


- Bombas

Tabla 7. Pareto de bombas

PARETO EN BOMBAS				
COMPONENTES	NUMERO DE UNIDADES	FRECUENCIA ACUMULADA	% DEL TOTAL	% ACUMULADO DEL TOTAL
RODAMIENTOS	445	445	37.81	37.81
EMPAQUES	422	867	35.85	73.66
ACOPLES	138	1005	11.72	85.39
EJES Y BUJES	132	1137	11.21	96.60
IMPELLERS	40	1177	3.40	100.00
TOTAL	1177		100%	

Figura 22. Cambio de componentes en bombas

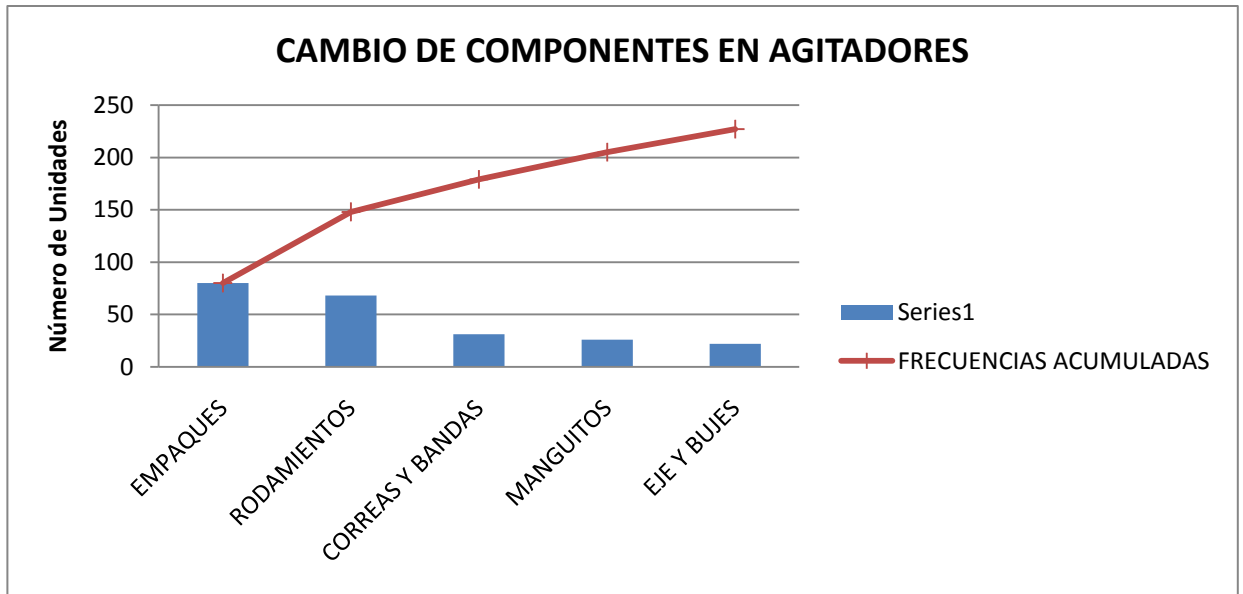


- Agitadores

Tabla 8. Pareto de agitadores

PARETO EN AGITADORES				
COMPONENTES	NUMERO DE UNIDADES	FRECUENCIA ACUMULADA	% DEL TOTAL	% ACUMULADO DEL TOTAL
EMPAQUES	80	80	35.24	35.24
RODAMIENTOS	68	148	29.96	65.20
CORREAS Y BANDAS	31	179	13.66	78.85
MANGUITOS	26	205	11.45	90.31
EJE Y BUJES	22	227	9.69	100.00
	227		100%	

Figura 23. Cambio de componentes en agitadores

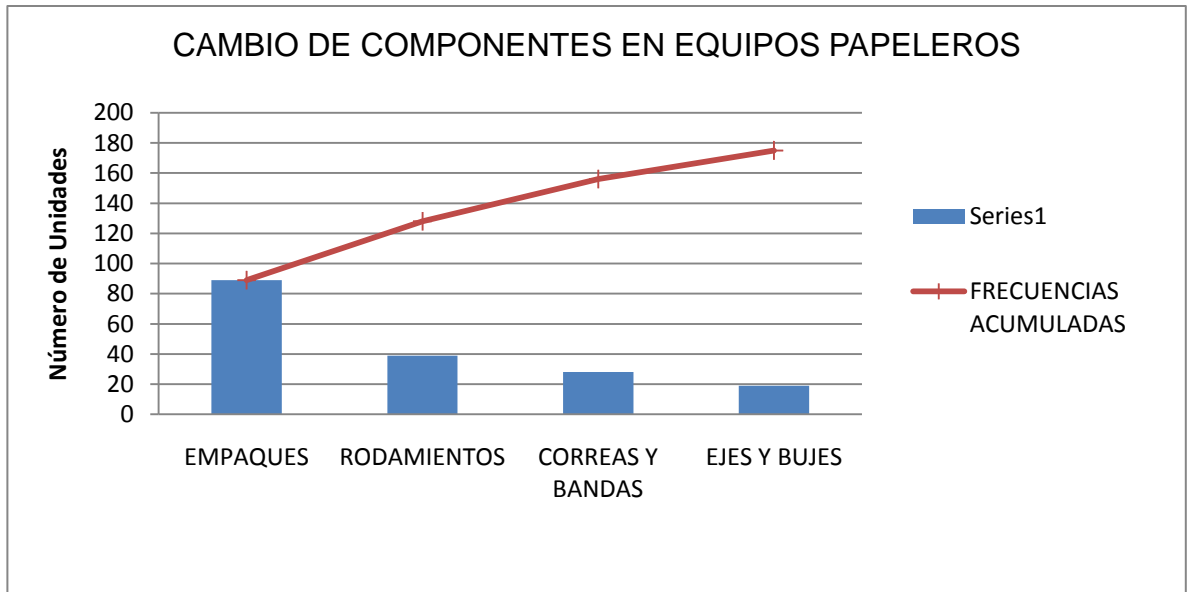


- Equipos Papeleros:

Tabla 9. Pareto de equipos papeleros

COMPONENTES	NUMERO DE UNIDADES	FRECUENCIA ACUMULADA	% DEL TOTAL	% ACUMULADO DEL TOTAL
EMPAQUES	89	89	50.86	50.86
RODAMIENTOS	39	128	22.29	73.14
CORREAS Y BANDAS	28	156	16.00	89.14
EJES Y BUJES	19	175	10.86	100.00
TOTAL	175		100%	

Figura 24. Cambio de componentes en equipos papeleros



#### 4.6.2.2 Análisis de los resultados obtenidos

A partir de los resultados obtenidos en los diagramas de Pareto realizados se puede concluir los siguientes puntos:

- Los repuestos como rodamientos y empaques en los equipos estudiados representan más de la mitad de los componentes cambiados para los equipos analizados en esta sección. Este comportamiento puede tener como explicación que el objeto de estudio son los equipos rotativos, los cuales tienen como elementos constitutivos las partes rodantes como rodamientos.
- Al hacer una comparación entre grupos de equipos como bombas y equipos papeleros se nota una diferencia entre los componentes que han sido objeto de cambio en las tareas de mantenimiento. En las bombas, los componentes como rodamientos representan el 38% aproximadamente de los cambios en esta clase de equipo mientras que en los equipos papeleros los rodamientos representan el 23% aproximadamente de esos cambios.

- A partir de estas gráficas se puede apreciar que existe una uniformidad en los componentes de los equipos que presentan la mayoría de los cambios. Partes como rodamientos, eje, buje y acoples son comunes en todos los equipos.
- Como conclusión de este análisis se ha detectado que uno de las causas por las que más presentan falla los equipos que fueron sometidos a este estudio son por las partes como empaques y rodamientos.
- En general estas gráficas analizadas para los diferentes programas de mantenimiento utilizados en la empresa dan una visión general acerca del funcionamiento de los equipos frente a las tareas como inspección, monitoreo de condiciones, lubricación y demás planes de mantenimiento que se manejan.
- Como preámbulo al análisis de fallas, la información obtenida del análisis del comportamiento de los componentes en los diferentes equipos estudios se toma como referencia para poder proponer unas metodologías que garanticen el mejoramiento de las rutinas de mantenimiento con el fin de avanzar y mejorar las condiciones de los equipos.

## 5 ESTRATEGIAS PARA EL MEJORAMIENTO DE LOS EQUIPOS

### 5.1 OBJETIVO

Proponer los planes y estrategias de mantenimiento con los cuales se avance en la optimización de la condición operativa de los equipos durante su vida útil.

### 5.2 INTRODUCCIÓN

En el contexto de la economía globalizada, es necesario trabajar para mejorar permanentemente la competitividad que finalmente se logra por el mejoramiento alcanzado en las actividades que constituyen los procesos productivos y los que permiten llegar hasta el consumidor de los productos.

La gestión del mantenimiento debe estar involucrando todas aquellas herramientas que le permitan optimizar la condición de los equipos, los tiempos de intervención y los costos asociados a estas actividades.

### 5.3 ANÁLISIS DE FALLAS A PARTIR DEL HISTORIAL DE LOS EQUIPOS

Con base en las condiciones dentro de las cuales han funcionado los equipos y de su comportamiento a través del tiempo, se realiza el estudio de los síntomas, los modos y se plantea el análisis de causas de las fallas para determinar las acciones que se deben implementar, con el propósito de mejorar el contenido y calidad de la información que se genera en la gestión del mantenimiento.

Con este trabajo se pretende establecer una metodología que ilustre y oriente a los mecánicos y supervisores responsables del mantenimiento en la identificación de los síntomas que se presentan en un equipo como manifestación de que algo no está funcionando correctamente o tiene una tendencia no favorable.

### 5.3.1 Catálogo de fallas a partir de la norma ISO/DIS 14224

La norma ISO/DIS 14224 presenta metodologías aplicadas en la industria de gas y de petróleo para el manejo de datos desde su recolección hasta su análisis, para poder tener una mejor calidad y profundidad en la información relacionada con la confiabilidad y el mantenimiento de los equipos característicos en esta industria.

Esta norma tiene un orden para la clasificación de equipos, componentes y tareas de rutina que se realizan así como también la utilización de códigos que facilitan la identificación de síntomas, precisión de causas para la implementación de mejoras en las rutinas de mantenimiento y con esto contribuir a la confiabilidad operacional de equipos.

Para la detección de fallas y la ejecución del mantenimiento requerido, esta norma muestra una clasificación en donde una vez identificado el mecanismo o componente, se clasifica la falla según el tipo, así: falla mecánica, falla por material, falla por instrumentación, falla eléctrica, falla por influencia externa y otras que pueden catalogarse como misceláneas.

Cada uno de los tipos de fallas tiene la clasificación en la cual se pueden detectar algunas de las causas.

Para la precisión de las causas de falla, esta norma también clasifica como: causas originadas en el diseño, por fabricación e instalación, por operación y mantenimiento, por administración y finalmente por misceláneos.

Por último, los modos de falla son presentados para cada tipo de equipo, es decir, hay modos de fallas que son característicos de equipos específicos. Se hace una discriminación para equipos como son: equipos mecánicos, equipos eléctricos, válvulas, intercambiadores de calor.

Para la utilización de los modos de falla se especifica el tipo de equipo, la descripción del modo de falla específico y el código.

#### 5.3.1.1 Selección de los equipos rotativos para la utilización del catalogo de fallas

El catálogo de fallas que se crea para la identificación de síntomas, se basa en los códigos que presenta la norma ISO/DIS 14224 para los equipos rotativos, como bombas y motores en principio. Estos equipos son primordiales en el proceso de producción de papel y por esta razón se seleccionan como prioridad para la implementación de su catalogo en el sistema de información SAP R3.

La elaboración de esta herramienta como ayuda para la identificación de síntomas, se basó en el registro histórico del comportamiento de los equipos existente en Productos Familia Sancela y del tiempo que han estado en operación.

La norma ISO/DIS 14224 para los modos de fallas en equipos rotativos utiliza el siguiente sistema de códigos:

Figura 25. Modos de Falla en equipos rotativos en la norma ISO/DIS 14224

Table B.5- Rotating equipment - Failure modes

Equipment class (see Table A.4) <sup>a</sup>								Failure modes			
Combustion engine	Compressor	Electric generator	Electric motor	Gas turbine	Pump	Steam turbine	Turbo expander	Description	Examples	Code <sup>b</sup>	Type <sup>c</sup>
X	X	X	X	X	X	X	X	Fail to start on demand	Doesn't start on demand	FTS	1
X	X	X	X					Fail to stop on demand	Doesn't stop on demand	STP	1
X	X	X	X	X	X	X	X	Spurious stop	Unexpected shutdown	UST	2
X	X	X	X	X	X	X	X	Breakdown	Serious damage (seizure, breakage)	BRD	3
X	X		X	X	X	X	X	High output	Overspeed/output above acceptance	HIO	2
X	X	X	X	X	X	X	X	Low output	Delivery/output below acceptance	LOO	2
X	X		X	X	X	X	X	Erratic output	Oscillating, hunting, instability	ERO	2
X				X		X		External leakage - fuel	External leakage of supplied fuel/gas	ELF	3
	X			X	X	X	X	External leakage process medium	Oil, gas, condensate, water	ELP	3
X	X	X	X	X	X	X	X	External leakage utility medium	Lubricant, cooling water	ELU	3
X	X			X	X	X	X	Internal leakage	Leakage internally process or utility fluids	INL	3
X	X	X	X	X	X	X	X	Vibration	Abnormal vibration	VIB	3
X	X	X	X	X	X	X	X	Noise	Abnormal noise	NOI	3
X	X	X	X	X	X	X	X	Overheating	Machine parts, exhaust, cooling water	OHE	3
	X			X	X	X	X	Plugged/choked	Flow restriction(s)	PLU	3 (2)
X	X	X	X	X	X	X	X	Parameter deviation	Monitored parameter exceeding limits, e.g. High/Low alarm	PDE	2 (3)
X	X	X	X	X	X	X	X	Abnormal instrument reading	False alarm, faulty instrument indication	AIR	2 (3)
X	X	X	X	X	X	X	X	Structural deficiency	Material damages (cracks, wear, fracture, corrosion)	STD	3
X	X	X	X	X	X	X	X	Minor in-service problems	Loose items, discoloration, dirt	SER	3
X	X	X	X	X	X	X	X	Other	Failure modes not covered above	OTH	-
X	X	X	X	X	X	X	X	Unknown	Too little information to define a failure mode	UNK	-

<sup>a</sup> The codes shown apply to equipment classes marked with X

<sup>b</sup> A proposed abbreviated code for the failure mode.

(ISO/DIS 14224, 2009)

- Catálogo de fallas en Bombas

El catálogo de fallas que se crea para las bombas es el siguiente:

Figura 26. Catálogo de fallas en bombas

BOMBAS	SINTOMAS
001	Problemas de Flujo o Variacion de Flujo
STD	Deficiencia Estructural
ELP	Fuga Externa de Fluido Proceso
ELU	Fuga Externa de Fluido Utilitario
SER	Problemas Menores en Servicio
NOI	Ruido
OHE	Sobrecalentamiento
VIB	Vibracion
FTS	No arranca
INL	Pase interno
SPS	Parada Inesperada
AIR	Lectura Anormal de Instrumento
BRD	Falla Mayor
ERO	Salida erratica
HIO	Alta salida
LOO	Baja salida
FRO	Falla de elemento rotatorio
PDE	Desviación de parámetros

En esta figura se puede identificar con color verde los modos de falla que aplican para este tipo de equipo. Los de color rojo son las que no aplican y la de color amarillo significa que son los modos de falla que se hacen visibles y presentes papel (producto) del proceso de producción

- Catálogo de fallas para motores eléctricos

El catálogo que se realiza es el siguiente:

Figura 27. Catalogo de fallas en motores

MOTOR	SINTOMAS
001	Problemas de Flujo o Variacion de Flujo
STD	Deficiencia Estructural
ELP	Fuga Externa de Fluido Proceso
ELU	Fuga Externa de Fluido Utilitario
SER	Problemas Menores en Servicio
NOI	Ruido
OHE	Sobrecalentamiento
VIB	Vibracion
FTS	No arranca
INL	Pase interno
SPS	Parada Inesperada
AIR	Lectura Anormal de Instrumento
BRD	Falla Mayor
ERO	Salida erratica
HIO	Alta salida
LOO	Baja salida
FRO	Falla de elemento rotatorio
PDE	Desviación de parámetros

La convención de colores es la misma que se indicó para las bombas.

### 5.3.1.2 Descripción de los códigos en los modos de falla

Los modos de falla se identifican a partir de los síntomas que se presentan en los componentes por ejemplo fugas del fluido de proceso o del lubricante, soldaduras mecánicas, desgastes, errores de mantenimiento, errores de diseño, fallas de instrumentos de medida. Para poder ampliar la aplicación a otros equipos y normalizar el uso de las tablas desarrolladas para identificar los síntomas, se crea una lista que aplica para los dos tipos de equipo, que metodológicamente facilita la documentación de la información con claridad y específica para cualquier equipo.

La lista creada para incluir o normalizar síntomas es la que se presenta a continuación.

Figura 28. Síntomas de las fallas en equipos

Catalogo de causas	Descripción
01	Soltura
02	Fugas
03	Influencia externa
04	Falla operación
05	Falla diseño
06	Corrosión
07	Daño en Software
08	Deformación
09	Desajuste
10	Descalibración
11	Desgaste
12	Error de mantenimiento
13	Falla de control
14	Falla de instrumentos
15	Falla en fuente de poder (eléctrica, neumática)
16	Falla estructural
17	Fallas en cableado
18	Fisura
19	Fractura
20	Fricción
21	Obstrucción
22	Sobrecalentamiento
23	Desalineación
24	Cavitacion
25	Vibracion
26	Fatiga
27	Rotura

Cada modo de falla es analizado para determinar sus verdaderos síntomas, sin que genere alguna ambigüedad por parte del responsable de capturar la información y de registrarla o documentar el caso.

Los modos de falla son identificados con códigos que constan de tres letras (por la definición en inglés) o números de tres dígitos precedidos de su respectivo nombre, de la siguiente manera:

- 001: Problemas de Flujo o Variación de Flujo

Este se refiere a problemas que tiene el equipo para proporcionar la cantidad de fluido en las condiciones requeridas para la realización satisfactoria del proceso de producción.

Figura 29. Síntomas por variación de flujo

BOMBAS	SINTOMAS
001	Problemas de Flujo o Variacion de Flujo
	1 Soltura
	2 Fugas
	3 Influencia externa
	4 Falla operación
	5 Falla diseño
	10 Descalibración
	12 Error de mantenimiento
	13 Falla de control
	14 Falla de instrumentos
	21 Obstrucción

- STD: Deficiencia Estructural

Se refiere a problemas provenientes del estado en que se encuentren las partes del equipo, por ejemplo, por deficiencia de los materiales originado por corrosión, por fractura, por grietas, por desgaste y por fatiga mecánica.

Figura 30. Síntomas por deficiencia estructural

STD	Deficiencia Estructural
06	Corrosion
11	Desgaste
20	Fricción
26	Fatiga
12	Error de mantenimiento
03	Influencia externa
04	Falla operación
05	Falla diseño

- ELP: Fuga de fluido Proceso

Se refiere a los aceites, las grasas, los gases, el agua, el condensado.

Figura 31. Síntomas por fuga de fluido proceso

ELP	Fuga Externa de Fluido Proceso
1	Soltura
3	Influencia externa
4	Falla operación
5	Falla diseño
6	Corrosion
8	Deformación
9	Desajuste
10	Influencia externa
11	Desgaste
12	Error de mantenimiento
18	Fisura
19	Fractura
22	Sobrecalentamiento

- ELU: Fuga externa de Fluido Utilitario

Hace referencia a los lubricantes y fluidos refrigerantes.

Figura 32. Síntomas por fuga de fluido utilitario

ELU	Fuga Externa de Fluido Utilitario
1	Soltura
11	Desgaste
9	Desajuste
18	Fisura
6	Corrosion
8	Deformación
12	Error de mantenimiento
19	Fractura
22	Sobrecalentamiento
3	Influencia externa
4	Falla operación
5	Falla diseño

- SER: Problemas menores en Servicio

Se refiere a soldaduras, suciedad derivada de daños que no impiden la continuidad de la operación.

Figura 33. Síntomas por problemas menores en servicio

SER	Problemas Menores en Servicio
1	Soltura
2	Fugas
3	Influencia Externa
4	Falla de Operacion
5	Falla de diseño

- NOI: Ruido

Es el ruido anormal que se puede presentar durante el funcionamiento de un equipo.

Figura 34. Síntomas por ruido

NOI	Ruido
1	Soltura
3	Influencia externa
4	Falla operación
5	Falla diseño
8	Deformación
9	Desajuste
11	Desgaste
12	Error de mantenimiento
19	Fractura
20	Fricción
24	Cavitacion
25	Vibracion

- VIB: Vibración

Son las vibraciones que se generan por fuera de los límites permisibles.

Figura 35. Síntomas por vibración

VIB	Vibracion
1	Soltura
3	Influencia externa
4	Falla operación
5	Falla diseño
8	Deformación
9	Desajuste
11	Desgaste
12	Error de mantenimiento
16	Falla estructural
19	Fractura
20	Fricción
23	Desalineación

- FTS: No arranca

Es la condición que se puede presentar en el momento de puesta en marcha del equipo.

- INL: Pase interno

Se refiere a fugas internas del proceso o fluidos utilitarios.

- SPS: Parada inesperada

Hace alusión a la parada inesperada de un equipo en funcionamiento normal.

- AIR: Lectura anormal de Instrumento

Se refiere a la lectura del instrumento de medición y control de proceso.

- BRD: Falla mayor

Hace referencia a un problema serio, a roturas importantes.

- ERO: Salida errática

Hace alusión a oscilaciones en el equipo, inestabilidad operativa.

- HIO: Alta salida

Se refiere a alta velocidad de salida en los equipos con respecto al flujo que se debiera entregar, generando valores muy altos en comparación a los requeridos.

- LOO: Baja Salida

Se refiere a los valores de salida de fluidos que están por debajo del requerido.

- FRO: Falla de elemento Rotatorio

Hace alusión a las fallas en los elementos como rodamientos, rotores y ejes.

- PDE: Desviación de parámetros

Hace referencia a los síntomas que son evidentes en el producto, en este caso, el papel que sale del proceso de producción.

## 5.4 IMPLEMENTACIÓN DEL CATALOGO DE FALLAS EN SAP R3

El catálogo de fallas para bombas y motores fue implementado en SAP R3, para ser utilizado por el personal de mantenimiento en el momento en que se reporta la anomalía del equipo.

Figura 36. Visualización del aviso en SAP R3

Visualizar aviso-MT: Solicitud de Trabajo

Nuevamente en trat.

Grupo plantif. MEMOMM / C010 MTTO Mec Molli Mede  
Pto.tbjo.resp. MEMOMM / C010 MTTO MECANICO MOLINOS MEDELLÍN  
Responsable  
Autor del aviso FERMINR Fecha de aviso 01.04.2010 17:53:07

Fechas extremas  
Inicio deseado 01.04.2010 17:53:07 Prioridad  
Fin deseado 00:00:00  Parada

Posición  
Parte objeto  
Snt. avería  
Texto  
Causas avería  
Texto causa

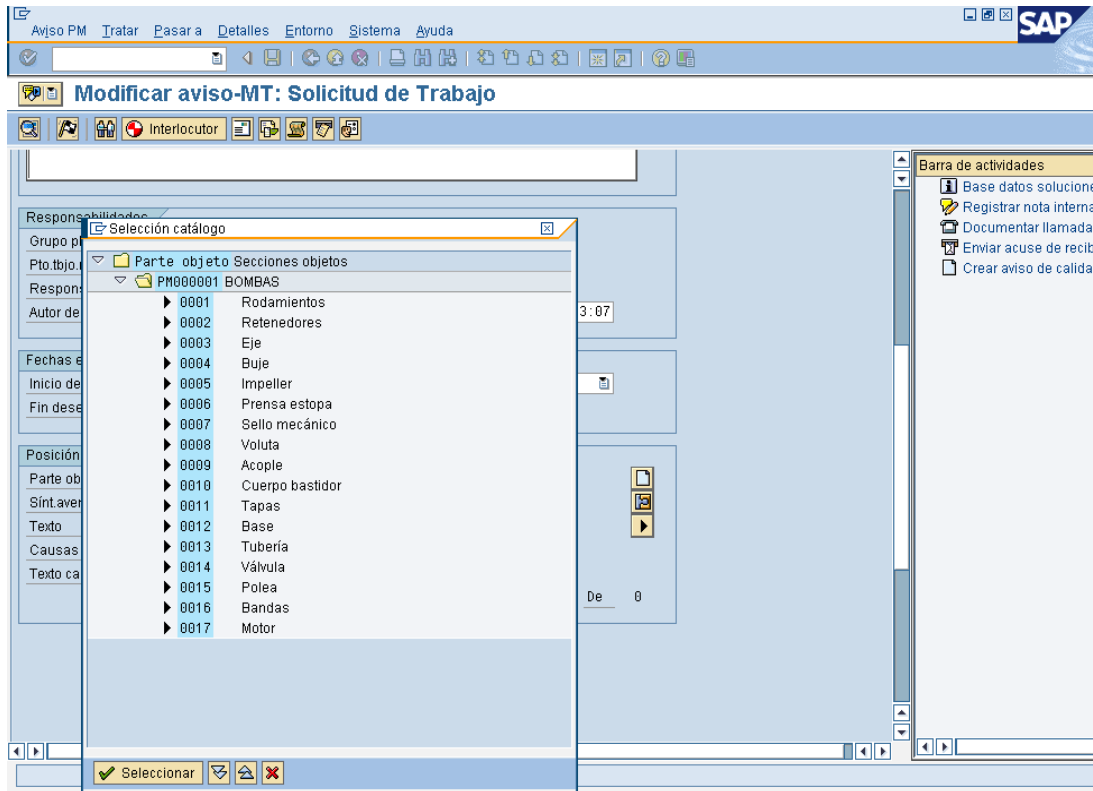
Entrada 0 De 0

(SAP R3)

Este catálogo se debe utilizar en la generación del aviso o solicitud de trabajo, en la cual se especifican la parte objeto, el síntoma de avería, el texto que describe los síntomas, las causas de avería y su descripción.

La plantilla del catálogo posee los campos y las posibilidades para escoger la parte objeto del equipo que presenta falla. Los catálogos de fallas en el sistema están ya configurados según la clase de equipo.

Figura 37. Visualización del catalogo de fallas

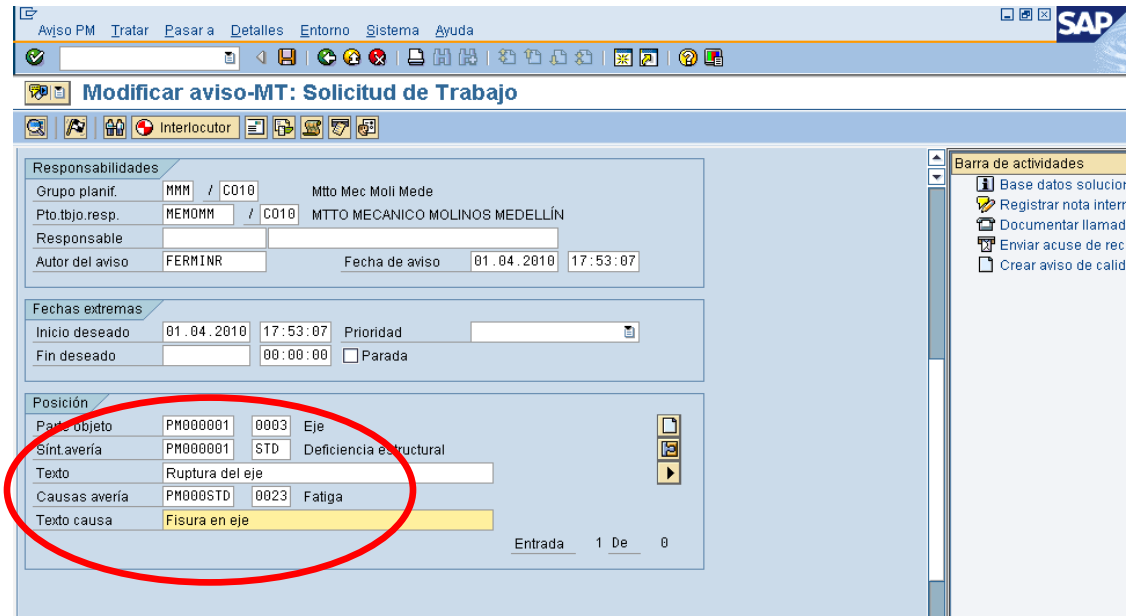


(SAP R3)

Este catálogo tiene la opción de poder elegir varios síntomas, causas y partes objeto, con el propósito de tener una mejor información acerca de la anomalía del equipo objeto de la intervención o a intervenir.

Cuando se haya terminado de hacer el reporte, el catalogo queda de la siguiente forma desde el aviso o solicitud de trabajo:

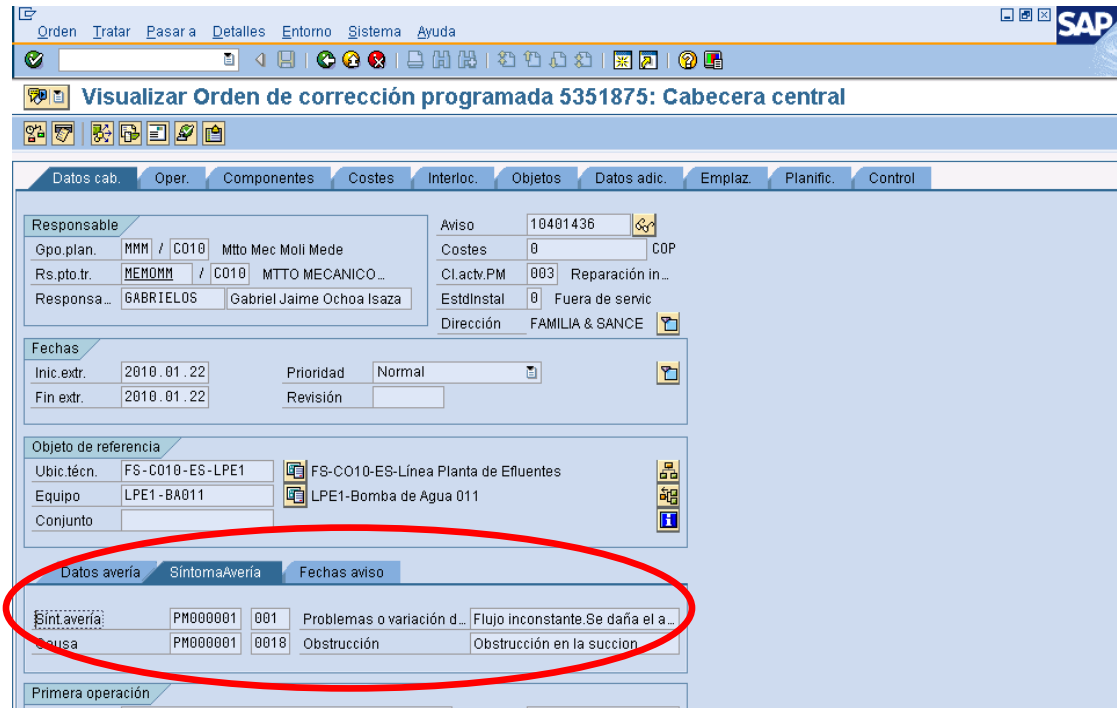
Figura 38. Visualización del catalogo de fallas con todos sus componentes



(SAP R3)

Y desde la orden de mantenimiento se puede visualizar de la siguiente forma:

Figura 39. Visualización del catalogo de fallas desde la orden de mantenimiento



(SAP R3)

## 5.5 METODOLOGÍAS PARA EL ANÁLISIS DE COMPONENTES QUE PERMITAN UN ESTUDIO DE LAS FALLAS.

El análisis de fallas es un estudio para identificar, cuantificar y clasificar las fallas críticas y no críticas en el diseño de un equipo o en la realización de un proceso productivo. Este estudio comprende la identificación de todas las características funcionales y secundarias, así como la severidad de las fallas y probabilidad de ocurrencia de las mismas (Montoya & López, 2001)

Esta herramienta de análisis consiste en identificar en primera instancia las funciones de los equipos que se van a considerar en este análisis, de manera concisa, exacta y fácil de entender.

Un equipo tiene funciones primarias y secundarias. Las funciones primarias son aquellas que constituyen la razón de ser del activo, es el “por qué es adquirido o requerido este equipo dentro del proceso de producción”. Las funciones secundarias son aquellas funciones que el equipo está en capacidad de cumplir de forma adicional a la función primaria (Montoya & López, 2001)

#### 5.5.1 Fallas funcionales

Es la ocurrencia inesperada que no permite al equipo alcanzar el estándar de producción esperado y trae como consecuencia que el activo no pueda cumplir su función de forma satisfactoria.

#### 5.5.2 Tipos de fallas

Los tipos de fallas pueden clasificarse de acuerdo con su origen. Los casos de estudio según el tipo de avería son los siguientes:

- Fallas debidas a errores en el diseño del equipo
- Fallas ocasionadas en la fabricación del equipo.
- Fallas por una inadecuada instalación.
- Fallas debido al desgaste natural y al envejecimiento.
- Limitación de la capacidad de producción prevista inicialmente.
- Fallas derivadas del proceso de la puesta en servicio.

### 5.5.3 Modos de falla

Se define como la causa raíz de una falla funcional, es decir, es el origen de una falla funcional que provoca la pérdida de la función total o parcial de un activo en su contexto operacional. Es importante recordar que una falla funcional puede tener más de un modo de falla.

Los modos de falla se definen como el impacto que trae consigo la ocurrencia de la causa raíz sobre el ambiente, las operaciones y seguridad humana. En conclusión, el modo de falla es la descripción específica y concreta de la manera como una falla ocurre (Montoya & López, 2001)

### 5.5.4 Efectos de los modos de falla

Son los resultados de la falla sobre el sistema, el diseño, el proceso o el servicio. Los efectos de falla responden a las siguientes preguntas: ¿Qué pasaría si esto falla?, ¿Cuál o cuáles serían las consecuencias de la falla?

Se debe tener en cuenta que el estudio de las fallas se debe abordar desde dos puntos de vista: Local, en el cual la falla se encuentra aislada en un componente y no afecta a los demás dentro del equipo y Global, condición en la cual la falla afecta las funciones y componentes del equipo al cual pertenece.

El efecto de falla se puede considerar como el grado de severidad ocasionado por una falla y es importante para determinar qué nivel de mantenimiento preventivo o correctivo se debe implementar.

## 5.6 PROPUESTAS PARA IMPLEMENTAR EL ANÁLISIS DE FALLAS A LAS PARTES DE EQUIPOS ROTATIVOS

Las propuestas para el análisis de fallas de los equipos se basan en los resultados obtenidos con la utilización del catálogo de fallas en SAP R3. Esta metodología se basa la aplicación de la metodología FMECA, la cual consiste en el estudio de las causas raíz de las fallas que se presenten en los componentes de los equipos.

Este análisis debería con la participación del personal responsable del mantenimiento predictivo que son los mecánicos encargados del monitoreo y seguimiento de la condición de los equipos con apoyo en la utilización del equipo VIBROTIP

### 5.6.1 Formato de FMECA

Este formato es una guía para la descripción del análisis paso a paso de los modos de fallas de un componente en un equipo para los fines pertinentes. Complementariamente para apoyar el análisis de fallas, se utiliza el registro fotográfico efectuado para el seguimiento y captura de la información de las fallas en los equipos en donde es factible tomar este registro.

El contenido de este formato consiste en:

- FMECA número

Es el número consecutivo de los análisis que se han realizado.

- Fecha de FMECA

Es la fecha en que se realiza el análisis.

- Planta afectada

Es la planta física en la cual se presenta el daño del componente a estudiar.

- Preparado por

Es la persona que realiza el análisis.

- Equipo

Es el equipo que contiene el componente que presenta la falla.

- Ubicación técnica

Es la ubicación del equipo dentro de la planta de producción.

- Descripción de la función del sistema o parte

Es la descripción de la función de la parte o del sistema que presenta la falla.

- Modos de falla potencial

Es la identificación de los fallos potenciales en la parte o sistema.

- Efecto de falla potencial

Es la identificación de los efectos de la falla relacionados con los modos de falla en la parte o sistema.

- Severidad

De acuerdo con la siguiente tabla se identifica la calificación numérica en que se encuentre la falla.

Figura 40. Parámetros para la Severidad de la falla

CRITERIOS PARA EVALUAR LA SEVERIDAD PARA EL EFECTO DEL FMEA		
Severidad	Descripción	Calificación
Alerta peligrosa	El incidente afecta la operación segura del producto o implica la no conformidad con la regulación del gobierno sin alarma.	10
Peligroso: con alarma	El incidente afecta la operación segura del producto o implica la no conformidad con la regulación del gobierno con la alarma.	9
Muy Arriba	El producto es inoperable con pérdida de función primaria.	8
Alto	El producto es operable, pero en el nivel reducido del funcionamiento.	7
Moderado	El producto es operable, pero el ítem(s) de la comodidad o de la conveniencia es inoperable.	6
Bajo	El producto es operable a un nivel reducido de funcionamiento.	5
Muy Bajo	La mayoría de los clientes notan los defectos.	4
De menor importancia	Los clientes medios notan los defectos.	3
Muy De menor importancia	El ajuste y el final o el chirrido y el ítem del traqueteo no se conforma. Los clientes exigentes notan los defectos.	2
Ninguno	Ningún efecto	1

- Características especiales

Son los atributos adicionales que pueden presentar los componentes o sistemas para complementar los aspectos anteriormente explicados.

- Causas potenciales

Son las causas potenciales (que se podrían presentar) que ocasionarían los fallos en la parte o sistema.

- Ocurrencia

En la siguiente tabla se presenta la calificación numérica de ocurrencia en la cual se puede encontrar la parte o el sistema.

Figura 41. Parámetros para la Ocurrencia de las fallas

CRITERIOS PARA EVALUAR LA PROBABILIDAD DE FALLO		
Ocurrencia	Probabilidad de Falla	Calificación
Muy Arriba: El incidente es casi inevitable	1 en 2 <sup>3</sup>	10
	1 en 3	9
Alto: Asociado generalmente a los procesos similares que han fallado anteriormente	1 en 8	8
	1 en 20	7
Moderado: Asociado generalmente a los procesos similares previos que han experimentado incidentes ocasionales, pero no en proporciones importantes	1 en 80	6
	1 en 400	5
	1 de 2000	4
Bajo: Los incidentes aislados se asociaron a procesos similares	1 en 15.000	3
Muy Bajo: Solamente los incidentes aislados se asocian a procesos casi idénticos	1 en 150.000	2
Telecontrol: El incidente es inverosímil.	1 en 1.500.000 £	1

- Controles actuales

Son los controles que se realizan para la detección de fallas en equipos, o sistemas.

- Detección

Según la siguiente tabla de presenta la calificación numérica de detección en la cual se encuentre la parte o sistema.

Figura 42. Parámetros para la Detección de la falla

CRITERIOS PARA EVALUAR LA DETECCIÓN DE LOS FALLOS		
Detección	Criterios: Probabilidad de la detección por control del diseño	Calificación
Incertidumbre Absoluta	El control del diseño no detecta una causa potencial del incidente o del modo de fallo subsecuente; o no hay control del diseño	10
Muy Alejado	La probabilidad muy alejada de que el control del diseño detecte una causa potencial del incidente o del modo de fallo subsecuente	9
Alejado	La probabilidad alejada de que el control del diseño detectará una causa potencial del incidente o del modo de fallo subsecuente	8
Muy Bajo	La probabilidad muy baja el control del diseño detectará un potencial Causa del incidente o del modo de fallo subsecuente	7
Bajo	La probabilidad baja el control del diseño detectará un potencial Causa del incidente o del modo de fallo subsecuente	6
Moderado	La probabilidad moderada de que el control del diseño detectará una causa potencial del incidente o del modo de fallo subsecuente	5
Moderadamente Alto	La probabilidad moderado alta de que el control del diseño detectará una causa potencial del incidente o del modo de fallo subsecuente	4
Alto	La alta probabilidad de que el control del diseño detectará una causa potencial del incidente o del modo de fallo subsecuente	3
Muy Alto	La probabilidad muy alta de que el control del diseño detectará una causa potencial del incidente o del modo de fallo subsecuente	2
Casi Seguro	El control del diseño detectará casi ciertamente una causa potencial del incidente o del modo de fallo subsecuente	1

- Número de riesgo prioritario

Luego de identificar los valores cuantitativos de severidad, ocurrencia y detección se procede a calcular este número. El resultado se debe interpretar como el nivel de riesgo en que se encuentra el equipo.

Una vez que se haya terminado el análisis de fallas y se implementen las mejoras correspondientes, este valor RPN se vuelve a calcular, para evidenciar el impacto positivo alcanzado con la intervención o las intervenciones realizadas.

Figura 43. Propuesta de catalogo FMECA

**Grupo familia**

**FORMATO PARA ANÁLISIS DE LOS MODOS, EFECTOS Y ANÁLISIS DE FALLAS**

IMAGEN DEL COMPONENTE A ANALIZAR

Descripción de la función del sistema o parte	Modo de Falla Potencial	Efecto de Falla Potencial	Severidad	Características especiales	Causas Potenciales	Ocurrencia	Controles Actuales	Detección	RPN

**Modo de Falla:** Escriba el principal modo de falla del sistema o subsistema que se esté analizando

**Severidad:** De acuerdo con la Tabla de Severidad, Califique con

**Causas Potenciales:** Describa las causas de los modos de falla

**Ocurrencia:** De acuerdo con la Tabla de Probabilidad, Califique con escala de 1 a 10

**Detección:** Luego de examinar el diseño corriente se

**RPN:** Es el producto de los pesos combinados de severidad, ocurrencia y detección RPN= SEV X OCU X DET

## 6 RECOMENDACIONES PARA MEJORAMIENTO DE LA CONDICIÓN DE LOS EQUIPOS

### 6.1 OBJETIVO

Plantear recomendaciones aplicables a estos equipos utilizados en la producción del papel, para contribuir al mejoramiento del proceso productivo.

### 6.2 INTRODUCCIÓN

Este trabajo permite como parte final, el planteamiento de mejoras que sirvan como metodología para proporcionar las tareas necesarias en los programas de mantenimiento que conlleven al incremento de la confiabilidad y mantenibilidad de los equipos estudiados y que se puedan aplicar a los demás componentes que hacen parte del proceso productivo.

### 6.3 CATALOGO DE FALLAS PARA OTROS EQUIPOS ROTATIVOS

El catálogo de fallas tiene como uno de sus objetivos ampliar su aplicación a cualquier equipo rotativo, para llevar un control más específico de las inspecciones e intervenciones que se realizan documentando con mayor detalle los resultados de las rutinas de mantenimiento.

A partir del resultado obtenido aplicando la metodología de este catálogo en bombas y motores, se debería implementar para equipos como los rodillos, los agitadores, los refinadores y los screens, efectuando los procesos mandatorios de

evaluación y verificación para garantizar la correcta operatividad y con base en el resultado realizar los ajustes si es necesario y luego liberarlo para su plena utilización.

El contexto de este catálogo es igual a la implementada para bombas y motores, conservando la misma estructura y orden de los modos de falla y la misma lista de síntomas utilizada.

Los catálogos creados son los siguientes:

- Rodillos

Figura 44. Catálogos para Rodillos

RODILLOS	SÍNTOMAS
001	Problemas de Flujo o Variación de Flujo
STD	Deficiencia estructural
ELP	Fuga Externa de Fluido Proceso
FLU	Fuga externa de fluido utilitario
SER	Problemas menores de Servicio
NOI	Ruido
OHE	Sobrecalentamiento
VIB	Vibración
FTS	Falla de arranque en demanda
INL	Pase interno
SPS	Parada Inesperada
AIR	Lectura Anormal de Instrumento
BRD	Falla mayor
ERO	Salida erratica
HIO	Alta salida
LOO	Baja salida
FRO	Falla de elemento rotatorio
PDE	Desviación de parámetros

- Agitadores

Figura 45. Catálogo para Agitadores

AGITADORES	SÍNTOMAS
001	Problemas de Flujo o Variación de Flujo
STD	Deficiencia estructural
ELP	Fuga Externa de Fluido Proceso
FLU	Fuga externa de fluido utilitario
SER	Problemas menores de Servicio
NOI	Ruido
OHE	Sobrecalentamiento
VIB	Vibración
FTS	Falla de arranque en demanda
INL	Pase interno
SPS	Parada Inesperada
AIR	Lectura Anormal de Instrumento
BRD	Falla mayor
ERO	Salida erratica
HIO	Alta salida
LOO	Baja salida
FRO	Falla de elemento rotatorio
PDE	Desviación de parámetros

- Screenes

Figura 46. Catálogo para Screenes

SCREENES	SÍNTOMAS
001	Problemas de Flujo o Variación de Flujo
STD	Deficiencia estructural
ELP	Fuga Externa de Fluido Proceso
FLU	Fuga externa de fluido utilitario
SER	Problemas menores de Servicio
NOI	Ruido
OHE	Sobrecalentamiento
VIB	Vibración
FTS	Falla de arranque en demanda
INL	Pase interno
SPS	Parada Inesperada
AIR	Lectura Anormal de Instrumento
BRD	Falla mayor
ERO	Salida erratica
HIO	Alta salida
LOO	Baja salida
FRO	Falla de elemento rotatorio
PDE	Desviación de parámetros

- Refinadores

Figura 47. Catálogo para Refinadores

REFINADORES	SÍNTOMAS
001	Problemas de Flujo o Variación de Flujo
STD	Deficiencia estructural
ELP	Fuga Externa de Fluido Proceso
FLU	Fuga externa de fluido utilitario
SER	Problemas menores de Servicio
NOI	Ruido
OHE	Sobrecalentamiento
VIB	Vibración
FTS	Falla de arranque en demanda
INL	Pase interno
SPS	Parada Inesperada
AIR	Lectura Anormal de Instrumento
BRD	Falla mayor
ERO	Salida errática
HIO	Alta salida
LOO	Baja salida
FRO	Falla de elemento rotatorio
PDE	Desviación de parámetros

## 7 CONCLUSIONES

Se recomienda profundizar en el conocimiento de las demás facilidades y opciones para gestión de la información que posee SAP R3 con el fin de sacarle mayor beneficio a la inversión realizada en esta herramienta de software y aprovechar la información que se genera y que se está generando cotidianamente en la realización de los programas de mantenimiento.

Con el fin de poderle sacar el máximo beneficio a la herramienta SAP R3, se sugiere realizar la identificación de la brecha de conocimiento existente entre el nivel requerido y el que se posee en la actualidad y con base a este resultado desarrollar el programa de capacitación para habilitar a las personas responsables de la gestión del mantenimiento y de la gestión de la información con esta herramienta de software.

Ampliar el nivel de conocimiento de las personas integrantes de los equipos de mantenimiento, para que tengan un conocimiento más profundo y detallado de la condición actual de los equipos, de las posibilidades para realizar mejoramiento a su condición y con ello contribuir a alcanzar mejor disponibilidad y mayor confiabilidad.

Es recomendable analizar la opción de establecer un espacio de reflexión, análisis y de motivación en la cual las personas propongan ideas de mejoramiento, innovaciones y en general puedan sacarle mayor beneficio a la experiencia adquirida en los años precedentes y a la vez les permita un mayor crecimiento personal y profesional.

Se puede fortalecer la capacidad y la habilidad de las personas para realizar el análisis de fallas, de manera que siempre se identifique la causa o las causas raíces y a partir de esta información tener la certeza que las soluciones que se implementen eliminen desde el origen los problemas e idealmente no se vuelvan a presentar.

Teniendo en cuenta los hallazgos de vacíos en la gestión de la documentación elaborada en el periodo 2005 a 2009, se recomienda realizar las acciones necesarias para que todas las personas que tienen como parte de su responsabilidad el ingreso de la información en la herramienta SAP R3 efectivamente lo hagan con la calidad y la oportunidad requerida, para que sea útil y permita soportar la toma de decisiones con mayor seguridad.

Teniendo en cuenta que Productos Familia posee la certificación bajo el referencial NTC ISO 9001, y en razón a que uno de los requisitos que contiene este referencial es explícito en el mejoramiento a partir de la implementación de acciones preventivas, se recomienda avanzar en la implementación de la gestión del riesgo, que metodológicamente trabaja en su identificación, la valoración de los impactos, la identificación de causas, la valoración y la toma de decisiones relacionadas con el tratamiento que se les debe dar. La aplicación de esta metodología puede proveer importantes oportunidades de mejora en la gestión del mantenimiento de la infraestructura utilizada en el proceso de producción.

Fortalecer la habilidad y el empoderamiento de las personas para realizar los análisis estadísticos fundamentales, que provean de cada periodo analizado la información con el valor estratégico requerido, para que a partir de los resultados obtenidos se puedan tomar decisiones con la mayor certeza, para implementar las acciones de mejoramiento conducentes a incrementar la disponibilidad y la confiabilidad de los equipos.

Es muy útil avanzar en el fortalecimiento de la práctica de evaluación crítica y discriminada de los resultados de los programas de mantenimiento realizados, que evalúe lo que fue coherente con la planeación y a la vez identifique las desviaciones y sus causas, con el fin de documentar estas experiencias y poder tomar las acciones correctivas que contribuyan al mejoramiento del desempeño en futuras intervenciones.

Teniendo en cuenta la relevancia que tienen los equipos que constituyen la infraestructura de producción para lograr los objetivos corporativos, se recomienda efectuar análisis de vida útil en los equipos, de manera que conjugando la información dada por el fabricante, la que se genera en la gestión del mantenimiento, que incluye las intervenciones realizadas y las condiciones generales bajo las cuales se ha operado y el desempeño documentado y evaluado, se pueda tener información clara sobre la vida útil residual y poder proyectar acciones para actualización tecnológica, remanufacturación o cambio a tecnologías que permitan mayor competitividad.

## 8 BIBLIOGRAFÍA

*Fabricación de Papel*, TORRAS PAPEL S.A. (2008). Recuperado el 20 de Marzo de 2010, de sitio Web TORRAS PAPEL: <http://www.torraspapel.com/Conocimiento%20Tcnico/FormacionFabricacionPapel.pdf>

ISO/DIS 14224, D. I. (Agosto de 2009). *Petroleum and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment*. Recuperado el 15 de Diciembre de 2009, de sitio Web Internacional Organization of Standardization: <http://www.iso.org>

*Kadant*. (24 de Enero de 2010). Recuperado el 23 de Mayo de 2010, de sitio Web de Kadant Products: <http://www.kadant.com>

*Metso Paper*. (20 de Marzo de 2008). Recuperado el 23 de Mayo de 2010, de sitio Web de Rero Andina LTDA: <http://www.reandina.com>

Montoya, J. A., & López, J. C. (2001). *Modos de falla y análisis de efectos*. MEDELLIN: UNIVERSIDAD EAFIT.

Mora, L. A. (2009). Enfoque Sistémico e Integral - CMD. En L. A. Gutierrez, *Mantenimiento Industrial Efectivo*. Envigado, Antioquia: Coldi.

Neto Chusin, E. O. (2008). *Mantenimeinto Industrial*. Macas, Ecuador.

PAPELNET. (5 de Febrero de 2005). *Papelnet: Empresas cmpc*. Recuperado el 12 de Octubre de 2009, de Sitio Web de PAPELNET: [www.papelnet.cl](http://www.papelnet.cl)

*Productos: Mixmor, Incorporated.* (s.f.). (Mixmor Incorporated) Recuperado el 17 de Abril de 2010, de sitio Web de A. Mixmor, Incorporated: <http://www.agitadores.com>

*Rodamientos para máquinas papeleras, Shaeffler KG.* (Febrero de 2008). Recuperado el 13 de Marzo de 2010, de sitio Web Shaeffler: <http://www.shaeffler.com>

Sanabria, C. (2010). *Facultad de Ingeniería Universidad UNA.* Recuperado el 13 de Abril de 2010, de Universidad UNA: [http://www.ing.una.py/DIREC\\_PPAL/ACADEMICO/APOYO/Maquinas\\_Hidraulicas/PDF/MAQ%20HIDRAULICAS%20BOMBAS.pdf](http://www.ing.una.py/DIREC_PPAL/ACADEMICO/APOYO/Maquinas_Hidraulicas/PDF/MAQ%20HIDRAULICAS%20BOMBAS.pdf)

*STOWE WOODWARD.* (12 de Febrero de 2005). Recuperado el 23 de Mayo de 2010, de sitio Web de Xerium Technologies: <http://www.xerium.com>

*Tecnología avanzada para procesos y conversión.* (15 de Abril de 2008). Recuperado el 23 de Mayo de 2010, de sitio Web de Proequip: <http://www.proequip.com.co>

Torres, J. E. (1996). Refinación. (31).

Turrado, J. (2005). Refinación (Tratamiento mecánico de las fibras). En J. Turrado, *Fibras Recicladas*. Pereira.

Zapata, W. (22 de Abril de 2010). Manejo del catalogo de fallas en SAP. (G. León, Entrevistador)

## 9 ANEXOS

### 9.1 ANEXO 1. TUTORIAL PARA EL MANEJO DEL CATÁLOGO DE FALLAS MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE SAP R3

El objetivo de este tutorial es mostrar el paso a paso del registro de los síntomas y causas de los equipos en el sistema de información SAPR3.

Paso 1: generación de la solicitud de trabajo o aviso en sap r3

La solicitud de trabajo o aviso puede ser generada por el personal de mantenimiento mecánico o por el personal de producción. Si es creado por el área de producción, el personal encargado de mantenimiento identifica el equipo notificado en el aviso y procede a su inspección para poder determinar los síntomas en primera instancia.

Una vez identificado los síntomas, la persona encargada de mantenimiento ingresa a la solicitud de trabajo y hace el registro de la información de los síntomas presentes en el equipo.

Si el aviso es generado por el personal de mantenimiento mecánico, el encargado del equipo ya ha realizado la inspección necesaria para determinar los síntomas y poder documentarlos en SAP.

## Paso 2: utilización de la parte objeto

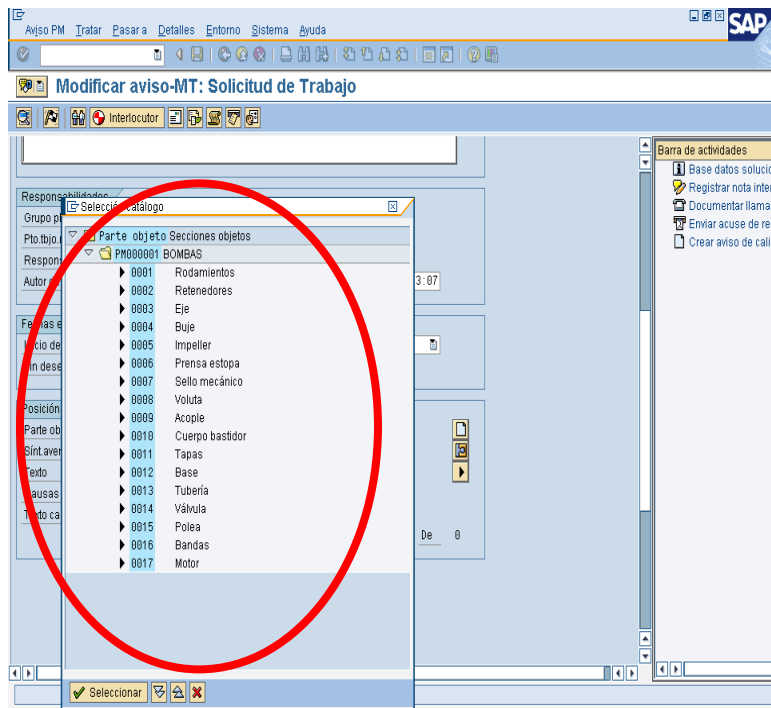
Para dar inicio a la utilización del catalogo de fallas, se debe empezar con la selección de la parte objeto, la cual es la parte del equipo que se identifica como la causante del síntoma de falla.

The screenshot shows the SAP 'Modificar aviso-MT: Solicitud de Trabajo' interface. The window title is 'Aviso PM Tratar Pasar a Detalles Entorno Sistema Ayuda'. The main title is 'Modificar aviso-MT: Solicitud de Trabajo'. The interface is divided into several sections:

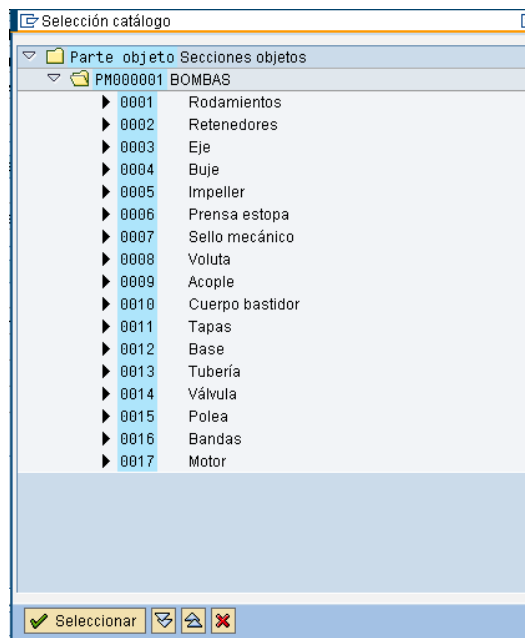
- Responsabilidades:** Grupo planif. MMM / C010 Mto Mec Moli Mede; Pto.tbjo.resp. MEMOMM / C010 MTO MECANICO MOLINOS MEDELLIN; Responsable; Autor del aviso FERMINR; Fecha de aviso 01.04.2010 17:53:07.
- Fechas extremas:** Inicio deseado 01.04.2010 17:53:07; Fin deseado 00:00:00; Parada checkbox; Prioridad dropdown.
- Descripción:** Parte objeto (highlighted with a red circle), Sint. avería, Texto, Causas avería, Texto causa. Below this section is a counter: 'Entrada 1 De 0'.

On the right side, there is a 'Barra de actividades' (Activity Bar) with the following options: Base datos solu, Registrar nota in, Documentar llarr, Enviar acuse de, and Crear aviso de cc.

Se debe hacer clic en la opción parte objeto para que se pueda desplegar el menú con las opciones a escoger.



Estas opciones en la parte objeto con las partes constitutivas para el equipo.



Cuando se haya hecho la selección de la parte objeto la visualización desde el aviso queda de la siguiente manera:

The screenshot shows the SAP interface for 'Modificar aviso-MT: Solicitud de Trabajo'. The window title is 'Aviso PM Tratar Pasara Detalles Entorno Sistema Ayuda'. The main content area is divided into several sections:

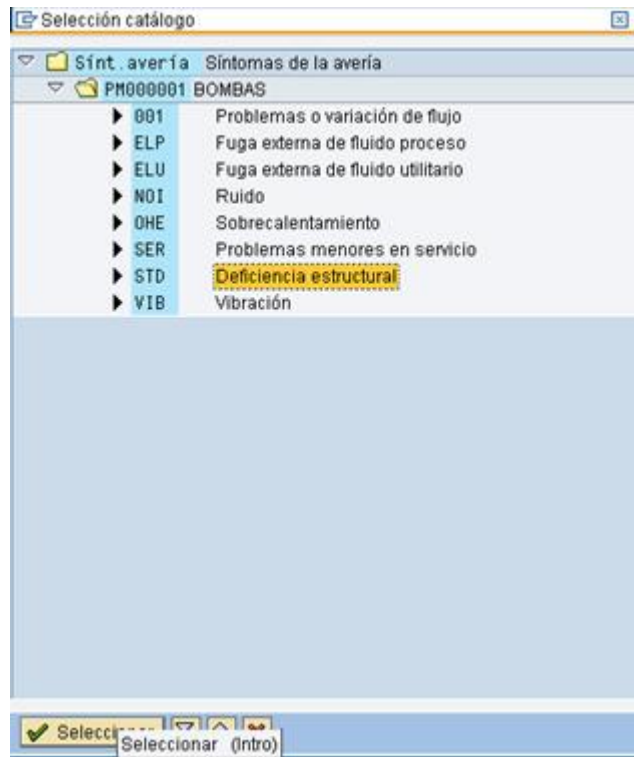
- Responsabilidades:** Grupo planif. MMM / C010 Mto Mec Moli Mede; Pto.tbjo.resp. MEMOMM / C010 MTTO MECANICO MOLINOS MEDELLIN; Autor del aviso FERMINR; Fecha de aviso 01.04.2010 17:53:07.
- Fechas extremas:** Inicio deseado 01.04.2010 17:53:07; Fin deseado 00:00:00; Parada checkbox.
- Posición:** Parte objeto PM000001 0003 Eje (circled in red); Sínt. avería; Texto; Causas avería; Texto causa.

On the right side, there is a 'Barra de actividades' (Activity Bar) with the following options: Base datos solucior, Registrar nota interr, Documentar llamad, Enviar acuse de rec, and Crear aviso de calid.

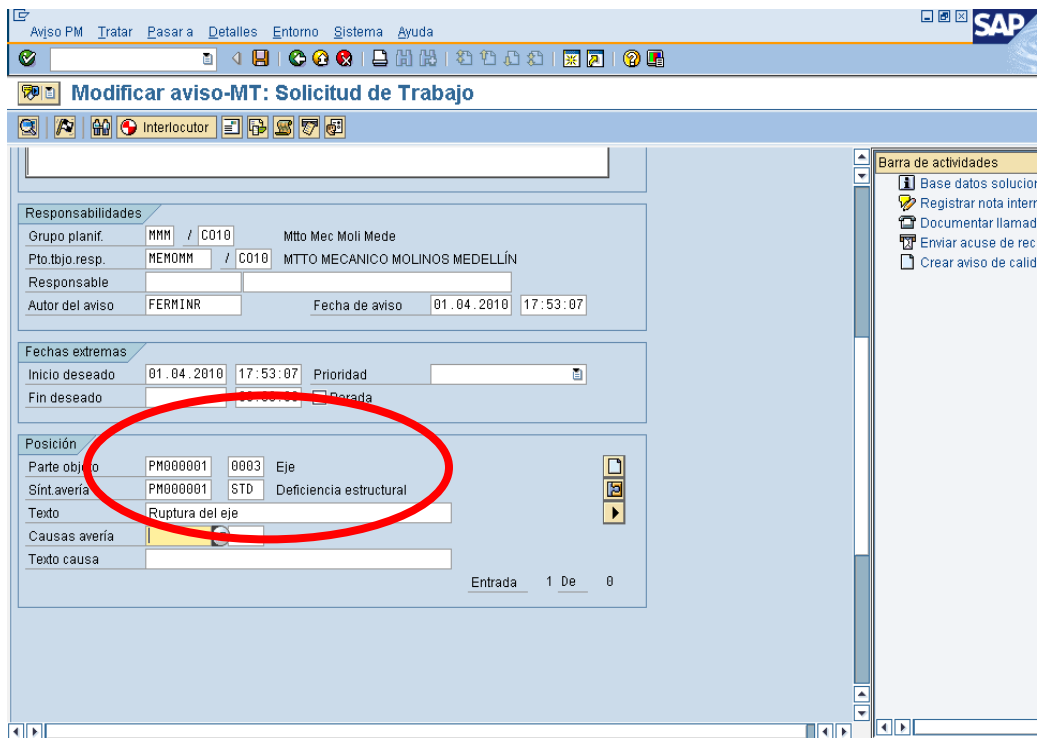
Paso 2: utilización de síntoma avería

La metodología para la escogencia del síntoma avería es igual a la utilizada en la escogencia de la parte objeto.

El menú de opciones para la selección del síntoma avería es la siguiente



Este menú muestra los síntomas de la avería y adicionalmente se despliega un menú en el cual se puede escoger el síntoma. La visualización del síntoma de avería es de la siguiente manera:



Existe la opción de escribir detalles adicionales para realizar un acercamiento más detallado a la falla para poder empezar a realizar su respectivo análisis.

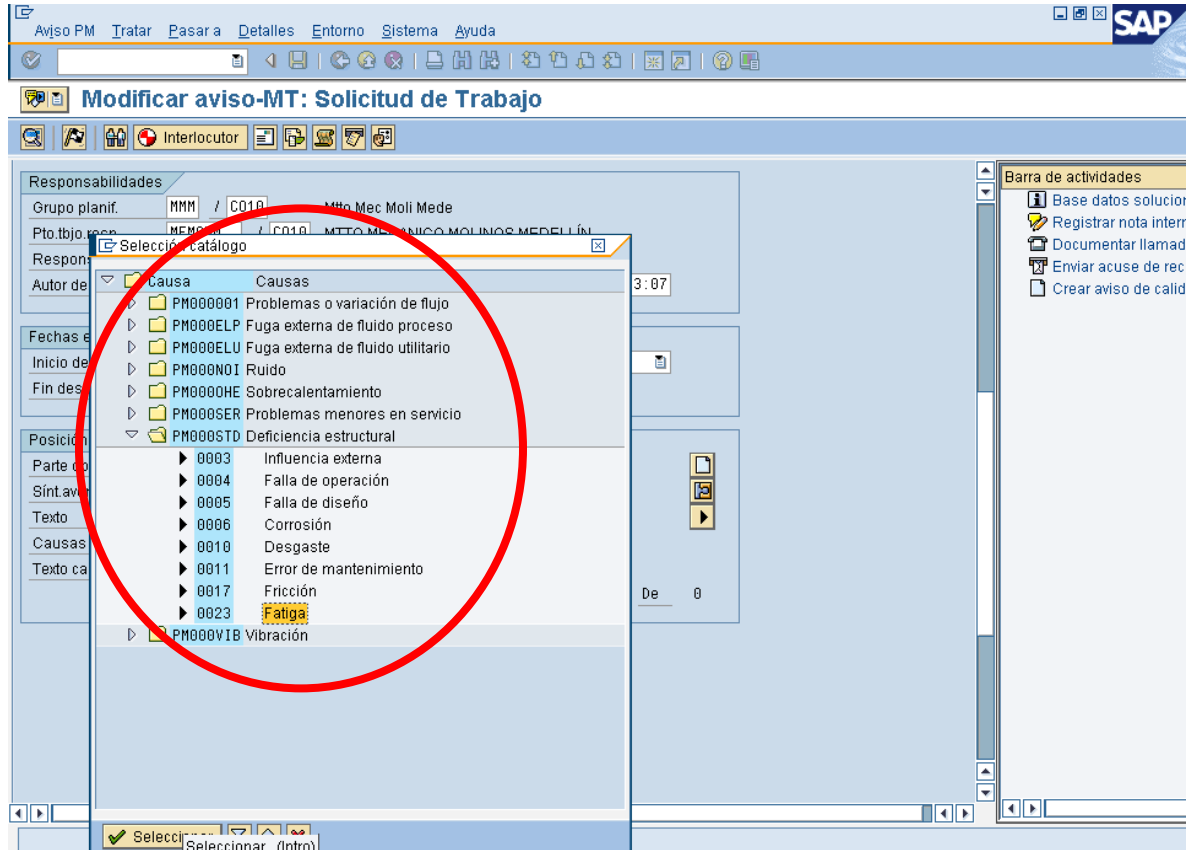
### Paso 3: investigación de las causas de las fallas

Como resultado del registro de los síntomas y las partes objeto se debe realizar la intervención de mantenimiento con el objetivo de esclarecer de forma muy concreta las verdaderas causas de la falla para realizar el registro en SAP.

### Paso 4: registro de las causas de falla

Como resultado del trabajo de mantenimiento, se realiza el registro de la causa que originó la falla.

La metodología a utilizar es igual a la empleada en la opción de síntoma de la avería.



El menú de opciones contiene los mismos parámetros utilizados para el registro del síntoma de la avería. Este menú a su vez despliega las opciones de escogencia de las causas.

Visualización del catalogo desde el aviso.

Como parte final al proceso de documentación del catálogo, su visualización desde el aviso queda de la siguiente forma:

Aviso PM Tratar Pasara Detalles Entorno Sistema Ayuda

**Modificar aviso-MT: Solicitud de Trabajo**

Interlocutor

**Responsabilidades**

Grupo planif.	MMM / C010	Mtto Mec Moli Mede
Pto.tbjo.resp.	MEMOMM / C010	MTTO MECANICO MOLINOS MEDELLÍN
Responsable		
Autor del aviso	FERMINR	Fecha de aviso 01.04.2010 17:53:07

**Fechas extremas**

Inicio deseado	01.04.2010 17:53:07	Prioridad	
Fin deseado	00:00:00	<input type="checkbox"/> Parada	

**Posición**

Parte objeto	PM000001 0003	Eje
Sint.avería	PM000001 STD	Deficiencia estructural
Texto	Ruptura del eje	
Causas avería	PM000STD 0023	Fatiga
Texto causa	Fisura en eje	

Entrada 1 De 0

Barra de actividades

- Base datos soluciones
- Registrar nota interna
- Documentar llamada
- Enviar acuse de recib
- Crear aviso de calida

Es importante mencionar que este catálogo permite la documentación de varios síntomas y varias causas,