

FUNDAMENTACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO  
PREDICTIVO EN LOS MOLINOS DE LA INDUSTRIA PAPELERA CON LA  
APLICACIÓN DEL EQUIPO VIBROTIP.

JULIO ARISTIZABAL MARÍN  
CARLOS GÓMEZ BETANCUR

UNIVERSIDAD EAFIT  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA  
MEDELLÍN  
2009

FUNDAMENTACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO  
PREDICTIVO EN LOS MOLINOS DE LA INDUSTRIA PAPELERA CON LA  
APLICACIÓN DEL EQUIPO VIBROTIP.

JULIO ARISTIZABAL MARÍN  
CARLOS GÓMEZ BETANCUR

Proyecto de grado presentado para optar al  
título de Ingeniero Mecánico

Asesor:  
Ingeniero Jairo Ortiz Ramírez

UNIVERSIDAD EAFIT  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA  
MEDELLÍN  
2009

*Julio:*

*Ante todo a Dios, que me puso en la senda del conocimiento, a mi madre y a mi padre, por brindarme su apoyo constante y su gran amor, en todos los momentos de mi vida y por incitarme a alcanzar metas cada día mayores.*

*Carlos:*

*A mis padres y hermano por su incansable esfuerzo y apoyo incondicional en todo los momentos de mi vida, y a todos lo que pensaron en mi futuro.*

## AGRADECIMIENTOS

A los ingenieros Jairo Ortiz, Fabio León Ruiz y Pablo Ruiz, por toda sus enseñanzas, colaboración y aportes ofrecidos durante el desarrollo de este proyecto

A la empresa Familia Sancela, por abrirnos sus puertas y brindarnos la oportunidad de aplicar los conocimientos adquiridos en nuestra preparación profesional.

A los que nos acompañaron en el proceso de realización del proyecto, especialmente a: Raúl Sepúlveda, Andrés Rivera, José Acosta, al grupo de Mecánicos de mantenimiento molinos planta Medellín. Y a todos nuestros compañeros de la universidad que de manera desinteresada nos brindaron su amistad y apoyo.

## CONTENIDO

	Pág.
1. PRÓLOGO	16
1.1 INTRODUCCIÓN	16
1.2 MEDICIÓN DE LAS VARIABLES DE CONDICIÓN DE ESTADO	18
1.3 JUSTIFICACIÓN	20
1.4 OBJETIVO GENERAL	22
1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
1.5.1 Objetivo 1	22
1.5.2 Objetivo 2	22
1.5.3 Objetivo 3	23
1.5.4 Objetivo 4	23
2. FUNDAMENTACIÓN DEL MONITOREO DE CONDICIONES	24
2.1 OBJETIVO	24
2.2 INTRODUCCIÓN	24
2.3 DEFINICIÓN DE MANTENIMIENTO	25
2.4 DEFINICIÓN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO	25
2.5 ANÁLISIS DE VIBRACIONES	25
2.5.1 ¿Qué es la vibración?	26
2.5.2 Problemas causados por la vibración	26
2.5.3 Tipos de vibraciones mecánicas	28
2.5.4 Medición de la vibración	29
2.6 APLICACIÓN DEL INSTRUMENTO DE MEDICIÓN	33

2.6.1 Intensidad de vibración	35
2.6.2 Norma ISO 2372	35
2.6.3 Criterios de análisis	36
2.6.4 Definición de clases de máquinas	37
2.6.5 Posición de medición óptima	38
2.7 PUNTOS DE MEDICIÓN	40
2.7.1 Variables de condición de estado a medir	42
2.8 ESTADO DE RODAMIENTOS CON EL VIBROTIP	43
2.8.1 Impulsos de choque	43
2.9 MEDICIÓN DE LOS IMPULSOS DE CHOQUE	44
2.9.1 Zona de carga	44
2.9.2 Rango de evaluación de los impulsos de choque	45
2.9.3 Medición de impulsos de choque	46
2.9.4 Valor valle	48
2.9.5 Valor cresta	48
2.10 CAVITACIÓN	49
2.10.1 Evaluación de la cavitación	51
2.10.2 Medición de la cavitación	51
2.11 ANÁLISIS DE TEMPERATURA	51
2.11.1 Medición de temperatura	53
3. TIPOS DE MAQUINAS, PROCESO Y ACCIONES PREDICTIVAS	54
3.1 OBJETIVO	54
3.2 INTRODUCCIÓN	54
3.3 MAQUINAS CRÍTICAS	55

3.4 CLASIFICACIÓN DE EQUIPOS	56
3.5 INTRODUCCIÓN AL SOFTWARE EXPERTO	60
3.5.1 Base de datos	62
3.6 PROCESO DE PRODUCCIÓN	63
3.7 PREPARACIÓN DE PASTA	68
3.7.1 Configuración de un proceso en OMNITREND	69
3.8 SUBPROCESOS DE LA PREPARACIÓN DE PASTA	70
3.8.1 Pulpeo	70
3.8.2 Separador	74
3.8.3 Bomba de Pulpa o de Agua	78
3.8.4 Agitador	81
3.8.5 Despastillador	85
3.8.6 Screen	87
3.9 MÁQUINA DE PAPEL	90
3.9.1 Refinador	91
3.9.2 Rodillo de presión	94
3.9.3 Rodillo de succión	96
3.9.4 Bomba de vacío	98
3.10 ANÁLISIS DE LAS FALLAS	100
3.10.1 Desequilibrio	103
3.10.2 Desalineación	103
3.10.3 Engranajes	105
3.10.4 Rodamientos	106
3.10.5 Motores	108

4. IMPLEMENTACIÓN Y MEDICIÓN DE CONDICIÓN DE ESTADO	111
4.1 OBJETIVO 3	111
4.2 INTRODUCCIÓN	111
4.3 PRÜFTECHNIK	112
4.3.1 Equipos	113
4.4 IMPLEMENTACIÓN VIBROTIP	116
4.4.1 VIBCODE	116
4.4.2 Acelerómetro magnético	118
4.4.3 Sensor para tornillos especiales	119
4.5 UBICACIÓN DE SENSORES TEÓRICO Y PRÁCTICO	121
4.6 APLICACIÓN DEL SOFTWARE OMNITREND Y TOMA DE DATOS	123
4.6.1 Códigos VIBCODE	123
4.6.2 Selección de equipos en la base de datos.	124
4.6.3 Mediciones	126
4.6.4 Resultados gráficos	128
4.6.5 Ejemplos específicos	131
5. MATRIZ DE FRECUENCIAS Y RECOMENDACIONES	142
5.1 OBJETIVO	142
5.2 INTRODUCCIÓN	142
5.3 OPCIONES Y POSIBILIDADES PARA FRECUENCIAS Y MATRICES	143
5.3.1 Condiciones para la realización de la matriz	144
5.3.2 Norma ISO	144
5.3.3 Variables	146
5.3.4 Niveles según el proceso	146

5.3.5 Datos y experiencias de otras personas	148
5.3.6 Frecuencias y rutas	149
5.4 CREACIÓN DE LA MATRIZ	150
5.4.1 Creación de base (paso 1)	150
5.4.2 Selección de frecuencias	154
5.5 PROGRAMA PARA LA FACILIDAD DE ESTA BASE DE DATOS	159
5.5.1 Componentes básicos del programa	159
5.5.2 Cómo funciona	163
6. RECOMENDACIONES	166
7. CONCLUSIONES	169
8. BIBLIOGRAFÍA.	173

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Formatos de medida para las vibraciones	29
Figura 2. Formatos y parámetros en los diferentes rangos de frecuencia.	31
Figura 3. Herramienta de Mediciones VIBROTIP	34
Figura 4. Estado de la máquina o de un elemento.	36
Figura 5. Superficie de contacto permitida	39
Figura 6. Puntos de Medición en una máquina	40
Figura 7. Variables de condición de estado	41
Figura 8. Nomenclatura de los puntos de medición	42
Figura 9. Fricción interna en el rodamiento	43
Figura 10. Medición en zona de carga	45
Figura 11. Efecto en el rodamiento	45
Figura 12. Desempeño de un rodamiento en el tiempo	46
Figura 13. Cálculo de los decibeles Iniciales	47
Figura 14. Desgaste y falla por la cavitación en un impulsor de una bomba.	50
Figura 15. Medidor de temperatura láser	52
Figura 16. Medición de temperatura con VIBROTIP	53
Figura 17. Formato matriz digital	59
Figura 18. Estructura de la base de datos en OMNITREND	63
Figura 19. Proceso 1: Preparación de pasta o pulpa	65
Figura 20. Proceso 2: Formación de papel.	66
Figura 21. Macro proceso para la producción de papel	67
Figura 22. Clasificación de subprocesos en OMNITREND	69
Figura 23. Configuración del Pulper	71
Figura 24. Desglose y acciones predictivas del Pulper en OMNITREND	72
Figura 25. Puntos de Medición en el Pulper	73
Figura 26. Separador	75

Figura 27. Desglose y acciones predictivas del Separador en OMNITREND	76
Figura 28. Puntos de Medición en el Separador	77
Figura 29. Bomba de pulpa o de Agua	79
Figura 30. Puntos de Medición en la Bomba Centrífuga	80
Figura 31. Acciones predictivas de la Bomba Centrífuga en OMNITREND	80
Figura 32. Agitador	82
Figura 33. Desglose y acciones predictivas del Agitador en OMNITREND	83
Figura 34. Puntos de Medición en el Agitador	84
Figura 35. Despastillador	86
Figura 36. Puntos de Medición en el Despastillador	86
Figura 37. Screen	89
Figura 38. Máquina de papel	91
Figura 39. Refinador	91
Figura 40. Discos de Refinación	92
Figura 41. Puntos de medición sobre la transmisión del Refinador	92
Figura 42. Desglose y acciones predictivas del Refinador en OMNITREND	93
Figura 43. Rodillo de Presión	94
Figura 44. Puntos de medición sobre EL Rodillo de Presión	94
Figura 45. Acciones predictivas del Rodillo de Presión en OMNITREND	95
Figura 46. Rodillo de Succión	96
Figura 47. Puntos de medición sobre EL Rodillo de Succión.	97
Figura 48. Acciones predictivas del Rodillo de Succión en OMNITREND	98
Figura 49. Bomba de Vacío	99
Figura 50. Puntos de medición sobre la Bomba de Vacío	99
Figura 51. Acciones predictivas de la Bomba de Vacío en OMNITREND	100
Figura 52. Desalineamiento en paralelo	104
Figura 53. Desalineamiento Angular	104
Figura 54. Medición Radial Horizontal en un motor	109
Figura 55. Medición Radial Vertical en un motor	109
Figura 56. Mediciones Axiales en un motor	110

Figura 57. Vibscanner	115
Figura 58. Smartscanner	115
Figura 59. Vibxpert	115
Figura 60. VIBCODE	117
Figura 61. Montaje pernos VIBCODE	117
Figura 62. Perforación e implementación por el área de mantenimiento	118
Figura 63. VIBCODE bomba de pulpa	118
Figura 64. Implementación acelerómetro magnético	119
Figura 65. Tornillos especiales	119
Figura 66. Implementación del tornillo	120
Figura 67. Trabajo final de sensores	120
Figura 68. Ubicación Teórica de los puntos de medición más indicados	121
Figura 69. Bomba con sensores para medición	122
Figura 70. Creación VIBCODE	123
Figura 71. Código VIBCODE	124
Figura 72. Ruta rodillera lado operación	125
Figura 73. Descarga de datos de PC a Vibrotip	126
Figura 74. Capacitación y Medición del personal Familia Sancela.	127
Figura 75. Muestra de alarmas en el visualizador	129
Figura 76. Resultado Grafico	129
Figura 77. Comando multivista	130
Figura 78. Comando enganchar gráficas	131
Figura 79. Toma de datos en la bomba de pulpa	132
Figura 80. Ingreso de evento cambio de aceite	133
Figura 81. Toma datos bomba después de evento	134
Figura 82. Multivista vibración y condición de rodamientos	135
Figura 83. Rodillo lado operación	137
Figura 84. Lado transmisión del rodillo	137
Figura 85. Vibración para rodillo molino de papel	138
Figura 86. Rodillo lado transmisión después del cambio	139

Figura 87. Rodillo lado operación después del cambio	140
Figura 88. Frecuencias por tipo de máquina	148
Figura 89. Columnas iniciales de la matriz	151
Figura 90. Columnas intermedias	151
Figura 91. Columnas finales variable.	152
Figura 92. Muestra de base de datos	153
Figura 93. Ejemplo cuartos de bombas	155
Figura 94. Ejemplo matriz cronograma de actividades	158
Figura 95. Base menú	160
Figura 96. Base de fechas	161
Figura 97. Hoja ruta	162
Figura 98. Hoja bases de datos.	162
Figura 99. Hoja cronograma	163
Figura 100. Lectura de fechas	164
Figura 101. Lectura de hoja bases de datos	164
Figura 102. Hoja resultado de ruta	165

## LISTA DE ECUACIONES

	Pág.
Ecuación 1. Severidad de la vibración RMS	31
Ecuación 2. Velocidad Pico o Amplitud de la velocidad	31
Ecuación 3. Desplazamiento Pico a Pico	32
Ecuación 4. Aceleración Pico o amplitud de la aceleración	32
Ecuación 5. Cálculo de los impulsos de choque.	47
Ecuación 6. Defecto de la jaula o de una bola.	106
Ecuación 7. Defecto de una bola.	107
Ecuación 8. Defecto de la pista de deslizamiento interna.	107
Ecuación 9. Defecto de la pista de deslizamiento externa.	107

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO A: Ficha técnica del VIBROTIP.

## 1. PRÓLOGO

### 1.1 INTRODUCCIÓN

Las condiciones de estado son las variables que se deben monitorear en todos los sistemas técnicos de una industria. En este caso específico el proceso de la industria papelera será la materia de estudio.

El mantenimiento predictivo es la estrategia indicada para lograr que dichos elementos o máquinas se puedan aprovechar en su máxima expresión, y poder lograr una productividad satisfactoria para el departamento de producción. Ayudados por la supervisión y el seguimiento de los síntomas que presentan cada elemento de una máquina, ya que con estos se puede llegar a la prevención y corrección de las fallas, si éstas se detectan oportunamente.

Las herramientas especializadas son parte fundamental para este tipo de tareas de monitoreo y supervisión de los componente de las máquinas, que hacen parte del sistema productivo, aunque en algunos casos, se hace más crítico el monitoreo que en otros; como es la industria papelera, donde las condiciones de trabajo como la humedad, el polvillo, las fugas, las altas velocidades, la complejidad del proceso y la envergadura, dificultan el óptimo funcionamiento y poder lograr una alta disponibilidad, al mínimo costo posible.

La competitividad va cada día en aumento, sin ser la excepción el sector papelerero, que en Colombia se ha revolucionado, con nuevas tecnologías y fuertes inversiones extranjeras, del mismo modo resulta necesario modernizar día a día los métodos existentes de mantenimiento para lograr la conservación y la producción de los activos adquiridos por las compañías.

La empresa Familia Sancela S.A esta enfocada en la productividad, por lo cual decide mejorar sus técnicas de mantenimiento predictivo, para poder incrementar la disponibilidad y la eficiencia; a través de herramientas innovadoras, que ayudan a monitorear y a detectar las posibles fallas en los subsistemas del sistema productivo, que ocasionan paradas no planeadas, por consiguiente pérdidas altas por lucro cesante, que a este nivel de competitividad industrial, no se puede dar el lujo de tener.

Las condiciones de funcionamiento o de estado de las máquinas deben ser de vital conocimiento por parte del personal técnico, para llevar a cabo las tareas de mantenimiento, o de medición de los síntomas. Es aquí donde los equipos de mantenimiento predictivo entran a hacer parte fundamental para lograr resultados importantes.

El tiempo trae consigo cada día adelantos tecnológicos, que hacen más fácil, amigable y eficientes las tareas de monitoreo de condiciones de las máquinas. Antes para poder lograr un buen resultado en dichas tareas, necesariamente debían de existir múltiples herramientas o aparatos como medidores de vibraciones, analizadores de estado de los rodamientos, medidores de cavitación, termómetros, tacómetros entre otros equipos, que se hacían dificultosos e inoperantes debido a su transporte.

El VIBROTIP es una herramienta moderna con una gran variedad de aplicaciones para el mantenimiento predictivo, en el cual es de vital importancia tener y observar tendencias de las máquinas para poder hacer intervenciones previas a los fallos. Este equipo, permite realizar todas las tareas de mantenimiento predictivo en mención, en un solo aparato, con la ventaja de poderlo transportar a cualquier parte o lugar de las instalaciones gracias a su tamaño.

La característica imperante en este equipo de fabricación alemana, es que permite a los usuarios ver a través de un software especializado, las tendencias del estado de cada máquina, para poder tomar decisiones e intervenirlas, y para evitar las fallas inesperadas; además que esta herramienta permite reconocer inteligentemente a la máquina que esta midiendo, por medio de un código especial. Adicionalmente para cada equipo o máquina este equipo establece alarmas que alertan al encargado de las mediciones.

## 1.2 MEDICIÓN DE LAS VARIABLES DE CONDICIÓN DE ESTADO

Las condiciones de estado son las variables que determinan en una máquina, o en un componente mecánico, si se encuentra en correcto funcionamiento, sin necesidad de detener el sistema productivo, permitiendo reducir los costos por detenciones de equipos para realizar sus respectivos controles.

El monitoreo de síntomas ayuda a mostrar cuando algún componente de una máquina esta funcionando de forma irregular, trayendo consigo el mal funcionamiento, generando fallas incipientes o averías en el sistema. Con el seguimiento de los síntomas se busca, extender al máximo la vida útil de los componentes de una máquina, como lo son rodamientos y chumaceras, rodillos, poleas y engranajes, bandas y cadenas de transmisión, reductores, acoples, impulsores, volutas entre otros componentes. (RAO,1996)

El mantenimiento predictivo tiene como tarea principal incrementar la confiabilidad, alargando los tiempos medios entre fallas, y por consiguiente elevando la disponibilidad de las máquinas. Una función importante es evitar los mantenimientos correctivos, para convertirlos en mantenimientos planeados, donde se define un grupo grande de máquinas o de equipos para intervenirlos conjuntamente y así evitar paradas innecesarias en el futuro, aprovechando el tiempo, para reducir al máximo el costo del mantenimiento.

Las mediciones se aplican a máquinas rotativas, eléctricas y térmicas como ventiladores, agitadores, desintegradores de fibra, refinadores, bombas de pulpa, transportadores, rodillos de presión, cilindros secadores entre otras máquinas que caracterizan a la industria papelera.

Las variables de condición de estado útiles en la industria papelera, son aquellas que por las frecuencias de falla hacen detener el sistema productivo constantemente, algunas de ellas son:

- Daños en los rodamientos, por desgaste de los elementos, o por la deficiente lubricación del mismo.
- Desgaste de las correas o cadenas de transmisión.
- Las altas vibraciones en los equipos rotativos.
- La cavitación en las bombas centrífugas.
- Desgaste de los rodillos de presión.
- La variación de potencia, traducido en cambios súbitos de las RPM
- Los excesivos cambios de temperaturas.

El parámetro de velocidad es medido en la media frecuencia, la cual es la variable más representativa en las máquinas que se mencionan, ya que con la velocidad se pueden hacer mediciones en todos los espectros, como de aceleración para las altas frecuencias y de posición para bajas frecuencias. En el parámetro de velocidad se pueden detectar fallas como:

- Desbalance
- Desalineación
- Falla severa en rodamientos
- Juego mecánico
- Excentricidad de rotores

- Problemas de bandas
- Ejes flexionados

(BENTLY, 2002)

### 1.3 JUSTIFICACIÓN

Los molinos de la industria papelera son parte del desarrollo tecnológico de esta industria en los últimos años, para la fabricación de los diferentes tipos de papel que el mercado demanda actualmente.

Los diferentes tipos del papel y sus productos requieren cada día de mejores técnicas de producción y estrategias avanzadas de mantenimiento, para lograr obtener una producción suficiente en calidad, oportunidad y cantidad con el fin de satisfacer a los clientes en sus demandas de productos *just in time*<sup>1</sup> dentro de las especificaciones y cantidades demandadas por el mercado.

Las técnicas de mantenimiento están imperando en la industria papelera porque son las que permiten adelantarse a las fallas imprevistas, que son las responsables de disminuciones en la producción, o en la calidad. Dichas técnicas de mantenimiento son las encargadas de que los parámetros de CMD<sup>2</sup> en los equipos productivos se cumplan. El mantenimiento predictivo aplicado mediante equipos especializados en los sistemas productivos permite pronosticar el momento futuro de falla en un sistema y así poder cambiar, ajustar o mejorar los diferentes elementos que constituyen las máquinas en los sistemas productivos, eliminando paradas no planificadas e incrementando la disponibilidad y la vida útil de los activos y de la infraestructura productiva (MONOGRAFIAS@,2002).

---

<sup>1</sup> *Just in time*. Método de organizar la producción en las fabricas, con el propósito de satisfacer al cliente entregándole sus pedidos justo a tiempo, permitiendo alcanzar ventajas competitivas como proveedor.

<sup>2</sup> CMD: Confiabilidad-Mantenibilidad- Disponibilidad

El punto de partida del proyecto está basado en las necesidades y deseos de la empresa Familia Sancela S.A. la cual emplea técnicas predictivas con herramientas especializadas de su propiedad, enfrentándose a una serie de problemas en el manejo de la información recolectada, para cumplir con el objetivo de predecir las fallas, ya que actualmente no se tienen frecuencias y rutinas establecidas; ni cuantificadas para las variables de estado dentro del sistema productivo.

Los molinos de papel son maquinarias complejas, debido a su envergadura, conformada por diversos procesos, que a su vez están configurados por sus respectivos sistemas técnicos. La necesidad latente es desarrollar un plan para dividir los equipos existentes y diseñar la forma de optimizar la información recolectada, que se clasifica por diferentes variables como el Análisis de Vibraciones, análisis por Ultra Sonido y termografía, entre otras acciones que sirvan para predecir el punto futuro de falla.

Un agravante con que se cuenta es la enorme cantidad de equipos existentes en el sistema productivo, lo cual hace más complejo ejecutar el mantenimiento predictivo, ya que se necesita planear y realizar estrategias que permitan agilizar las mediciones de las variables respectivas.

Las limitantes en mención son la principal razón por lo que la empresa Familia Sancela S.A. considera que sus equipos de análisis de variables se encuentran subutilizados, ya que no tienen un mecanismo fácil y ágil para almacenar la enorme cantidad de datos, ni la logística organizada de las rutinas para hacer dichas mediciones más efectivas.

La empresa adquiere recientemente un instrumento de medición de variables Marca VIBROTIP<sup>3</sup>, el cual es la base para el mantenimiento predictivo. Los datos arrojados son almacenados en una matriz digital que permite hacer un análisis profundo de la condición de estado de los elementos a medir.

#### 1.4 OBJETIVO GENERAL

Utilizar la herramienta de monitoreo de condiciones Vibrotip con el propósito de plantear estrategias de medición y recomendar soluciones basadas principalmente en acciones predictivas como son el Análisis de Vibraciones, diagnóstico de los rodamientos, cavitación en las bombas, medición de temperatura, las rpm, entre otras acciones que permitan anticiparse a la falla en un molino del sector papelerero.

#### 1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

##### 1.5.1 Objetivo 1

Fundamentar los conceptos básicos de mantenimiento predictivo junto a las diferentes acciones que sirven para monitorear las condiciones y el estado en que se encuentran los componentes de un molino de papel. Nivel 1- Conocer.

##### 1.5.2 Objetivo 2

Reconocer los tipos de máquinas o elementos que están involucrados en un molino de papel, para saber que acciones predictivas utilizar en dichos elementos y así poder clasificarlos en una matriz digital. Nivel 2- Comprender.

---

<sup>3</sup> VIBROTIP: Herramienta para monitorear las condiciones de estado especialmente en la industria papelería, entre las mediciones que se destacan esta el Análisis de Vibraciones, Condición de estado de los rodamientos, temperatura, RPM y cavitación en Bombas.

### 1.5.3 Objetivo 3

Medir con el Vibrotip y otras herramientas predictivas las variables más importantes de acuerdo a las características de cada máquina del molino de producción papelerero, con acciones que Analicen Vibraciones, condición de los rodamientos, Temperatura, RPM, Cavitación en bombas, entre otras. Nivel 3- Aplicar

### 1.5.4 Objetivo 4

Generar algunas recomendaciones sobre el comportamiento de los datos obtenidos, entregados en una matriz de actividades y capacitar a los encargados de las rutinas del mantenimiento predictivo. Nivel. 4- Analizar.

## 2. FUNDAMENTACIÓN DEL MONITOREO DE CONDICIONES

### 2.1 OBJETIVO

Fundamentar los conceptos básicos de mantenimiento predictivo junto a las diferentes acciones que sirven para monitorear las condiciones y el estado en que se encuentran los componentes de un molino de papel.

### 2.2 INTRODUCCIÓN

La fundamentación básica de los conceptos es la primera etapa para poder entender la dinámica del mantenimiento predictivo, en la que se evalúan diferentes técnicas especializadas para poder adelantarse a las fallas presentadas en los subsistemas de una máquina.

Las principales técnicas están enfocadas en el monitoreo de las condiciones de cada elemento de la máquina, para saber en que estado se encuentra, debido al uso permanente de los mismos, ya que por su funcionamiento constante hace que su condición pase por diferentes estados como bueno, satisfactorio, no satisfactorio e inaceptable.

Las mediciones sirven para vigilar de cerca el estado de las máquinas, por lo que se hace necesario entender claramente cada tipo de medición y en que punto de medición se hace, ya que con la correcta aplicación de las mismas se podrá llegar a resultados más efectivos.

El mantenimiento predictivo es el principal representante de estas tareas, por lo que es fundamentado y sustentado en el departamento de mantenimiento de la empresa en mención, debido a la experiencia adquirida durante años de aplicación

de diferentes técnicas. Ya que gran parte de la maquinaria moderna tiene ciertas características que deben ser medidas periódicamente, con el fin de detectar el desarrollo de las tendencias, para que el departamento de mantenimiento cumpla con el objetivo de mantener sus procesos productivos dentro de los rangos de CMD esperados.

### 2.3 DEFINICIÓN DE MANTENIMIENTO

Conjunto de actividades técnicas y administrativas cuya finalidad es conservar, o restituir un elemento a las condiciones que permitan desarrollar su función. Equivale al término conservación. (GTC62, 1999).

### 2.4 DEFINICIÓN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO

El mantenimiento preventivo basado en el conocimiento del estado de una entidad por medición periódica o continua de algún parámetro significativo. La intervención de mantenimiento se condiciona a la detección precoz de los síntomas de una avería (GTC62, 1999).

### 2.5 ANÁLISIS DE VIBRACIONES

La medición de las vibraciones mecánicas hace parte de las acciones del mantenimiento predictivo, con el objetivo de alertar sobre el perjuicio de un elemento vibrante en una máquina, con la posibilidad de prevenir las fallas que ocasionan las vibraciones a mediano plazo. Este tipo de síntoma es el causante de la mayor causa de falla en todos los tipos de industria, por ello es el análisis más realizado y demandado por los mantenedores.

### 2.5.1 ¿Qué es la vibración?

Es el movimiento oscilante respecto a una posición de referencia de las partículas de un cuerpo sólido (GTC62, 1999).

La vibración se considera como una oscilación o un movimiento repetitivo en una máquina con respecto a su posición de equilibrio, donde dicha máquina llegara a su posición de equilibrio cuando la fuerza que actúa sobre el sistema es igual a cero (DLIENGINEERING@,2005).

Las vibraciones son ocasionadas en un artefacto por una fuerza de excitación, donde dicha fuerza es aplicada externamente o también se originan al interior del artefacto. Haciendo que la magnitud y la frecuencia de la vibración en el objeto sean cambiantes, por causa directa de la fuerza de excitación, la dirección donde sea aplicada y con la frecuencia que se le ejerza al artefacto (LAFITA,1968).

El interés del análisis está en identificar las amplitudes de onda predominantes de las vibraciones y la corrección del problema. Los perjuicios de las vibraciones mecánicas son el aumento de los esfuerzos y las tensiones, las pérdidas de energía, el desgaste de materiales por (SCC<sup>4</sup>) y/o corrosión debido a la condición de alta humedad en el área de molinos, ruidos molestos al ambiente y la consecuencia más grave que es la falla por fatiga de los materiales (Ortiz, 2008).

### 2.5.2 Problemas causados por la vibración

Los problemas en las máquinas se generan por varios factores, pero el más relevante son las vibraciones mecánicas. Con este análisis se puede detectar muchos de los problemas que acontecen diariamente en una planta de producción, ya que permite conocer en todo momento el estado de la máquina y poder así controlar su disponibilidad, lo que hace de esta práctica una herramienta imprescindible a la hora de hacer mantenimiento

---

<sup>4</sup> Stress corrosión cracking.

Algunas fallas son:

- Flexión en ejes.
- Desequilibrio en los elementos rodantes.
- Desalineación entre la máquina y el motor.
- Excentricidad.
- Desgaste y holgura en cojinetes.
- Desalineación y desgaste en engranajes.
- Roces y fricción.
- Juego mecánico.
- Impactos o choques.
- Desgaste prematuro de bandas y cadenas de transmisión.
- Holgura y pérdida de torsión en bases de anclaje.

(BENTLY,2002)

La tecnología moderna trae consigo técnicas para poder corregir a tiempo las causas de fallas mencionadas anteriormente, entre ellas está el análisis de vibraciones, que es una herramienta útil del mantenimiento predictivo, el cual tiene como objetivo mejorar continuamente los sistemas productivos, para poder prolongar la vida útil de los activos.

Todas las máquinas en funcionamiento emiten vibraciones y al pasar el tiempo estas van deteriorando los equipos, resulta útil el análisis de vibraciones debido a que este método es capaz de evaluar y cuantificar el estado o la condición de la máquina, adicionalmente valora la problemática existente y deduce que partes están en estado crítico, para luego realizar las intervenciones pertinentes.

### 2.5.3 Tipos de vibraciones mecánicas

Las vibraciones mecánicas están clasificadas en varios tipos, como:

#### 2.5.3.1 Vibraciones libres

Las vibraciones libres son causadas cuando se perturba un sistema y se deja que vibre libremente, debido a una excitación instantánea o repentina. Así se puede determinar las frecuencias naturales con que el cuerpo vibra.

#### 2.5.3.2 Vibraciones forzadas

Las vibraciones forzadas ocurren cuando existe una excitación constante aplicada a un sistema o al interior del mismo, en un rango de tiempo prudente, donde estas vibraciones son casi siempre causadas por elementos internos de las máquinas como por ejemplo, elementos rodantes defectuosos, desbalanceo de elementos rotatorios, por choques e impactos o defectos de instalación, desalineación y desgaste de engranajes, entre otros.

#### 2.5.3.3 Vibraciones amortiguadas

Las vibraciones amortiguadas ocurren cuando la vibración de un sistema es disipada. El amortiguamiento del sistema se traduce en las pérdidas de energía, del sistema, este acontecimiento se identifica por las propiedades internas de un material específico, o por un elemento absorbedor de esa energía como lo es un amortiguador.

#### 2.5.3.4 Vibraciones paramétricas

Las vibraciones paramétricas son generadas por algunos elementos del sistema, que por tener características o parámetros definidos, sus vibraciones hacen cambiar las propiedades de un elemento, un hecho muy común es cuando un acoplamiento vibra por causa del desalineamiento, esta vibración se presenta en el acople por el cambio de la rigidez cuando rota (THOMSON, 1982).

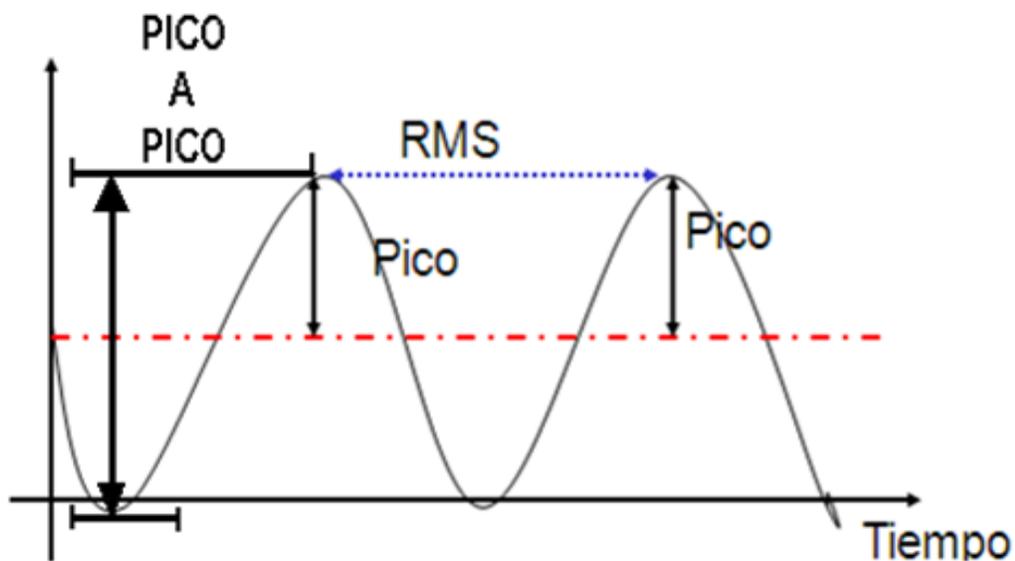
#### 2.5.4 Medición de la vibración

Los parámetros útiles para medir las vibraciones mecánicas en la industria están determinados por el desplazamiento, la velocidad y la aceleración, dependiendo de las frecuencias de funcionamiento de las máquinas del sistema productivo, se elige el parámetro más idóneo para realizar el análisis.

Las vibraciones presentan diferentes valores en cada instante de tiempo, como se puede apreciar en los diferentes formatos (Ver figura 1).

- Valor pico
- Valor Pico a Pico
- Valor RMS

Figura 1. Formatos de medida para las vibraciones



(ORTIZ, 2007)

- Desplazamiento

El desplazamiento es un parámetro que se mide con el formato pico a pico, el cual es utilizado cuando existen bajas frecuencias, para determinar el desplazamiento, que es la distancia total que atraviesa la parte que vibra desde un extremo a otro en el sistema evaluado. La medida pico a pico toma como referencia la amplitud de la onda, donde utiliza el valor máximo y mínimo de la onda oscilante como se puede ver en la figura 1. Este desplazamiento se da en milésimas de pulgadas (0.001”).

- Velocidad

La velocidad es el cambio de desplazamiento con respecto al tiempo, este parámetro se puede medir con el formato  $RMS^5$  o el formato Pico. Una de las características de las vibraciones es la velocidad de movimiento, donde varía constantemente durante un ciclo vibratorio. Para una medición óptima se selecciona la velocidad más elevada, la cual esta representada en el pico más alto de la onda, que normalmente se da en milímetro sobre segundo (mm/s) o pulgadas sobre segundo (in/s)

El formato RMS es el que está impuesto en la actualidad a nivel mundial, ya que con él, se pueden hacer mediciones en todos los parámetros vistos anteriormente, adicional a esto se puede medir en todos los espectros de frecuencia como lo son la baja, media y alta frecuencia, que en la figura 2 se muestra claramente, porque el método permite promediar la todos los picos de la onda vibratoria.

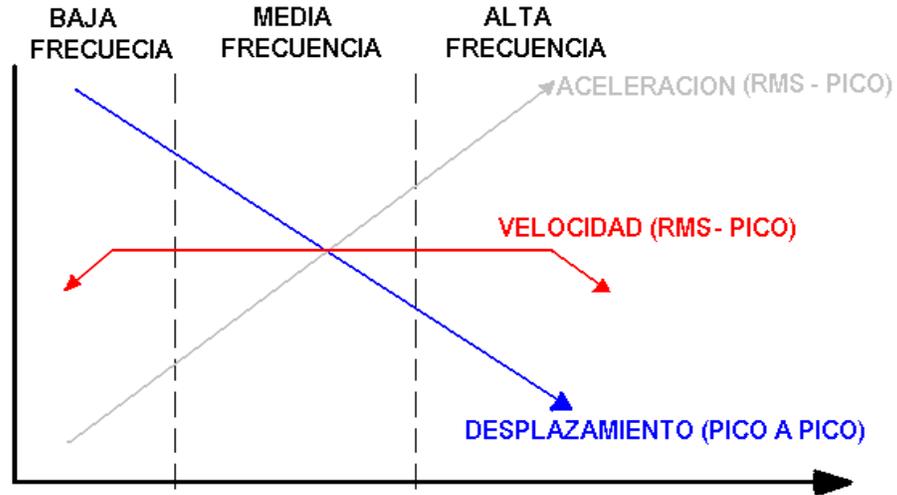
La velocidad RMS es el valor usado por la norma ISO 2372 para definir la severidad vibratoria, y se expresa por la ecuación 1, para esta norma el valor RMS

---

<sup>5</sup> RMS: “ROOT MEDIUM SQUARE” Raíz media cuadrada, por sus siglas en ingles. Es el promedio de los valores medios cuadrados de las amplitudes y se toman donde se dan valores máximos o en los picos de las ondas.

solo esta considerado para ondas sinusoidales, pero para otro tipo de ondas o de vibraciones no aplica.

Figura 2. Formatos y parámetros en los diferentes rangos de frecuencia.



(ORTIZ, 2008)

Ecuaciones para calcular los parámetros vibratorios:

Ecuación 1. Severidad de la vibración RMS

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{(V_1^2 + V_2^2 + V_3^2 + \dots + V_N^2)}{N}}$$

Donde:

$V_{RMS}$  : Raíz media cuadrada de las vibraciones

$V$  : Velocidad de la vibración

$N$  : Numero de las mediciones

Ecuación 2. Velocidad Pico o Amplitud de la velocidad

$$V_0 = \frac{\pi * f * D_{pp}}{1000}$$

Donde:

$V_0$ : Amplitud de la vibración en formato Pico.

f: frecuencia

$D_{pp}$ : Desplazamiento en el formato Pico a Pico

Ecuación 3. Desplazamiento Pico a Pico

$$D_{pp} = \frac{50661 * A_0}{f^2}$$

Donde:

$D_{pp}$ : Desplazamiento en el formato Pico a Pico

f: frecuencia

$A_0$ : Aceleración en el formato pico

Ecuación 4. Aceleración Pico o amplitud de la aceleración

$$A_0 = \frac{2\pi^2 * f^2 * D_{pp}}{1000000}$$

Donde:

$A_0$ : Aceleración en el formato pico

$D_{pp}$ : Desplazamiento en el formato Pico a Pico

f: frecuencia

- Aceleración

El parámetro de aceleración es el cambio de la velocidad en el tiempo, enfocándose en las mediciones de frecuencia más altas. Para obtener aceleración, por medio de un desplazamiento dado, la aceleración es proporcional al cuadrado de la frecuencia, como lo muestra la ecuación 4 (LAFITA, 1968).

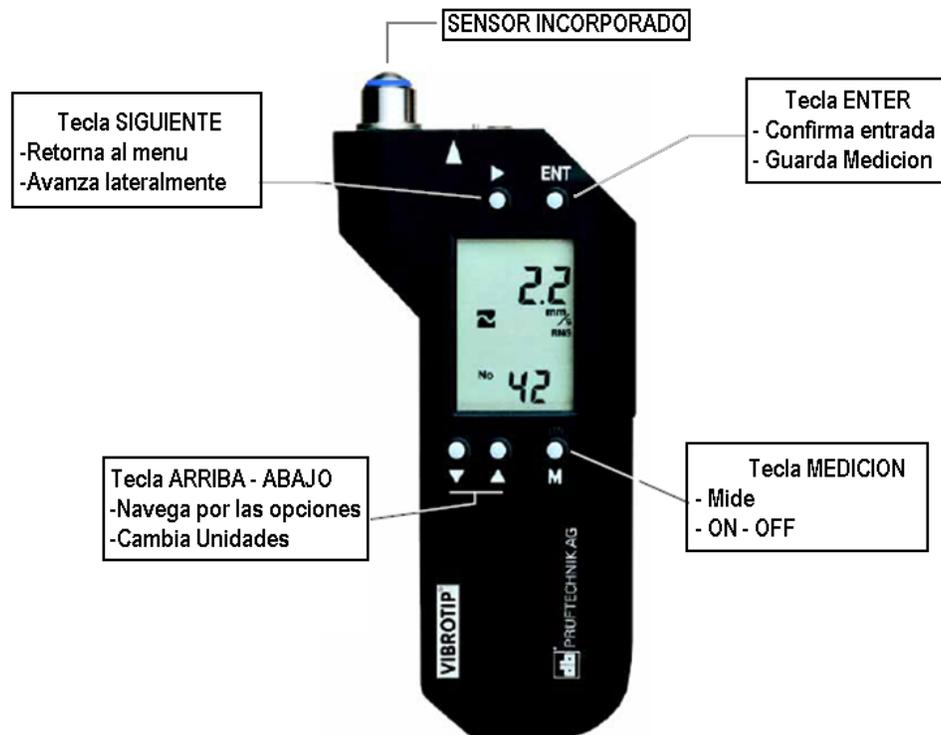
## 2.6 APLICACIÓN DEL INSTRUMENTO DE MEDICIÓN

El VIBROTIP es un instrumento adecuado para la medición de la vibración, ya que tiene incorporado un sensor con la capacidad de detectar las medias y las altas frecuencias, convirtiéndolo en un instrumento versátil, no solo por sus capacidades técnicas, sino por su pequeño tamaño, para ser una herramienta tan potente.

La intensidad de las vibraciones se mide con base a la norma ISO 2372, teniendo en cuenta también otras normas internacionales, por lo que se selecciona el parámetro de vibraciones RMS, recomendado por la norma ISO, que para la mayoría de los casos, ya está estandarizada como una unidad de medición internacional, la cual muestra si el rango de vibraciones de una máquina rotativa se encuentra en un estado aceptable.

La ventaja técnica esta en que el VIBROTIP es muy sencillo de utilizar, porque sólo presionando un botón se pueden hacer mediciones confiables, pero lo más importante es que esta herramienta cuenta con un software experto para el análisis pertinente de las mediciones realizadas, ya que todas estas mediciones se descargan conjuntamente al computador almacenando la información en la memoria y ubicando cada medición en la máquina correspondiente, establecida previamente en una base de datos técnica de la empresa en cuestión.

Figura 3. Herramienta de Mediciones VIBROTIP



(PRÜFTECHNIK@,1998)

Los acelerómetros magnéticos pueden ser conectados al VIBROTIP para realizar mediciones más confiables, ya que estos acelerómetros son tipo “Tandem-piezo<sup>6</sup>”, para así poder acceder más fácilmente a los lugares de difícil medición.

<sup>6</sup> Tandem-piezo: Acelerómetro con diseño patentado por la compañía alemana PRUFTECHNIK que permite medir niveles de de vibraciones generales, con una gran precisión como las de altas frecuencias.

### 2.6.1 Intensidad de vibración

El VIBROTIP mide la intensidad de la vibración respecto a la norma ISO 2372, la intensidad vibratoria se define como el nivel RMS de la velocidad de la vibración, que es medida sobre una frecuencia de 10 a 1000 Hz, por lo que se explicó anteriormente, que el parámetro predilecto para esta herramienta es el RMS, ya que ocupa los espectros de media y de alta frecuencia, como lo muestra la figura 2, haciéndolo más óptimo a la hora de utilizarlo, por lo que en la industria no se acostumbra a medir vibraciones a máquinas que trabajan a bajas RPM.

La medición de frecuencia obliga a que se utilice un transductor de tipo diferente y a su vez el procesamiento de la señal es distinta. Porque en lugar de medir la amplitud de una vibración momentánea a una sola frecuencia alta, se toma la intensidad de la vibración, porque representa una medida de todos los componentes vibratorios dentro de una gama de frecuencias amplia.

La intensidad de vibración está relacionada o se asemeja con el nivel de energía de la vibración de la máquina a evaluar y por lo tanto se convierte en una buena herramienta para indicar las fuerzas destructivas que actúan sobre la máquina.

### 2.6.2 Norma ISO 2372

La normatividad ISO define los valores o rangos para una intensidad de vibración buena, satisfactoria, no satisfactoria e inaceptable, para seis clases de maquinaria diferentes. Las más comunes de estas clases son la clase dos, tres y cuatro.

El método evalúa el efecto de las siguientes características generales:

- Las características y el desempeño de la máquina.
- Los esfuerzos debidos a las vibraciones en los elementos de la máquina, como por ejemplo los rodamientos, acoples, el estado de los anclajes y el estado del suelo.

- Las características y especificaciones de la herramienta de condición de estado para la medición de las vibraciones.
- Las habilidades del personal de mantenimiento predictivo que opera la herramienta de medición.
- Los efectos de las vibraciones de las máquinas periféricas a la máquina que se procede a medir. El entorno y el ambiente donde se encuentra ubicada, ya que se puede presentar el efecto DOPPLER.

### 2.6.3 Criterios de análisis

El VIBROTIP mide la intensidad de la vibración general con el parámetro de velocidad efectiva de RMS de la máquina, para después con los datos obtenidos, poder analizar bajo el análisis de la norma ISO 2372. Esa norma clasifica el nivel vibratorio respecto a la clase de máquina como se muestra en la figura 4.

Figura 4. Estado de la máquina o de un elemento.

				28	1.10
	<b>inaceptable</b>			18	0.71
				11	0.44
				7	0.28
	<b>no satisfactorio</b>			4.5	0.18
				2.8	0.11
	<b>satisfactorio</b>			1.8	0.07
				1.1	0.04
				0.7	0.03
	<b>bueno</b>			0.45	0.02
				0.28	0.01
Clase I maquinaria pequeña	Clase II maquinaria media grande	Clase III maquinaria base grande rígida	Clase IV maquinaria base blanda	mm/s	pulg./s

(ISO 2372, 1998)

Para evaluar el estado de la máquina requerida, debe de utilizar la figura 4 y con el dato obtenido de la medición de la velocidad de la vibración usando el VIBROTIP, se ubica en la escala que está a la derecha del gráfico y se introduce en la gráfica, hasta intersecarla con la clase de máquina que se midió.

Las clasificaciones son:

- Bueno: las mediciones pueden tener una frecuencia más amplia.
- Satisfactorio: se debe dar continuación a la toma de mediciones de forma regular.
- No Satisfactorio: se deben tomar las primeras acciones para determinar la raíz de la vibración, pero permanecer en estado de alarma e intervenir apenas se pueda detener la máquina.
- Inaceptable: realizar la intervención inmediatamente para ubicar el problema. Por consiguiente poder corregir la falla.

#### 2.6.4 Definición de clases de máquinas

La norma ISO recomienda el método de clasificación ISO 2372, donde se han recogido ejemplos de clases de máquinas específicas, la cual garantiza que en la vida práctica se encuentren aplicadas apropiadamente en la mayoría de los sistemas productivos.

- Clase 1

Piezas individuales de motores y máquinas, conectadas de forma directa a la máquina en condición de operación normal (algunos ejemplos de dichas máquinas son los motores eléctricos de producción de hasta 15KW).

- Clase 2

Máquinas de tamaño medio como los motores eléctricos de 15 y 75 KW sin bases especiales, motores de bases rígidas o máquinas de hasta 300KW, sobre bases especiales.

- Clase 3

Máquinas motrices y otro tipo de máquinas grandes con masas rotatorias, montadas sobre base pesada y rígida, con una rigidez relativa en el sentido de la medición de la vibración.

- Clase 4

Máquinas motrices y otro tipo de máquinas grandes con masas rotatorias, montadas sobre bases blandas, en el sentido de la medición de la vibración. Como por ejemplo los turbogeneradores.

- Clase 5

Máquinas y sistemas motrices mecánicos con efectos de inercia no equilibrables (debido a piezas recíprocas) montadas sobre bases de una relativa rigidez en el sentido de la vibración.

- Clase 6

Máquinas y sistemas motrices mecánicos con efectos de inercia no equilibrables (debido a piezas recíprocas) montadas sobre bases relativamente blandas en el sentido de la vibración, tales como máquinas con masas rotativas de acoplamiento con holgura, como lo son los ejes batidores en molinos, máquinas centrifugas capaces de funcionar sin componentes acoplados, tamices vibratorios, etc. (ISO, 1998)

#### 2.6.5 Posición de medición óptima

Las mediciones se deben realizar posicionando correctamente el VIBROTIP, si este se posiciona de forma incorrecta contra la máquina específica, pueden generarse valores de mediciones incorrectos o en el peor de los casos que sean valores poco confiables, para que las mediciones sean confiables hay que preparar las superficies donde se vayan a realizar las mediciones: esta superficie

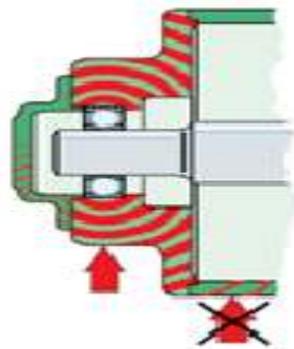
debe ser metálica, debe de estar limpia, sino la gama de frecuencias se podría ver obstruida por las impurezas haciendo que la medición sea deficiente.

Los puntos de medición deben ser preferiblemente donde se perciba directamente la energía de vibración, para que esta sea transmitida al VIBROTIP y tratar que sea de la forma más directa para las maquinas rotativas, algunos puntos de medición correctos pueden ser los anclajes, las chumaceras, las carcasas, etc.

- Superficie de contacto

Los materiales de contacto son de suma importancia, ya que por estos se pueden tener pérdidas de señal. Cada interrupción o superficie de contacto del material es el encargado de amortiguar la señal que se procede a medir, por lo que resulta necesario que la medición se realice en una sola superficie y no en donde haya cambios de material como lo muestra la figura, por que la ruta de la señal vibratoria varía.

Figura 5. Superficie de contacto permitida

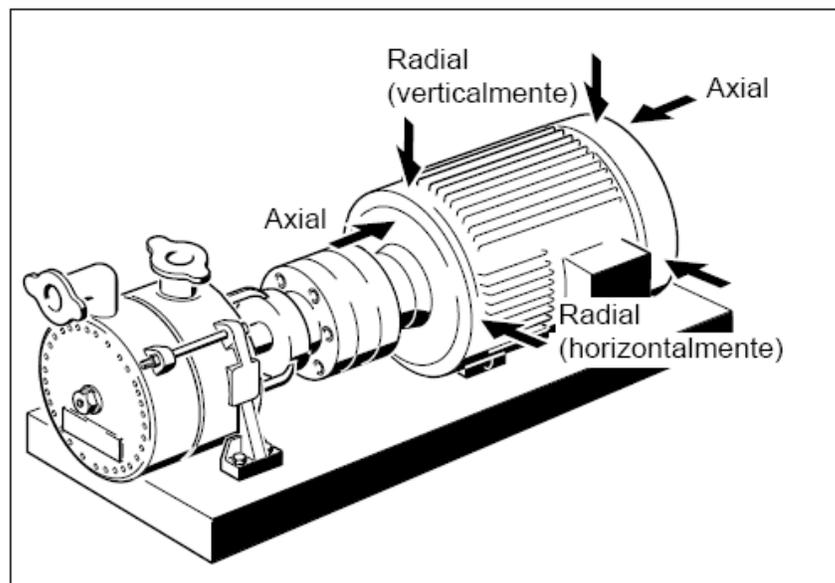


(PRÜFTECHNIK, 1998)

## 2.7 PUNTOS DE MEDICIÓN

Las maquinas deben tener varios puntos de medición para poder obtener un monitoreo completo y un análisis efectivo, para el caso de las vibraciones es recomendable hacer varias mediciones, tanto radiales como axiales. Para las radiales se acostumbra hacer un medición radial vertical a 90° y la otra radial horizontal y por lo menos una axial en el extremo de la máquina a evaluar, la norma ISO 2372 hace alusión a el grafico siguiente para una mayor comprensión.

Figura 6. Puntos de Medición en una máquina



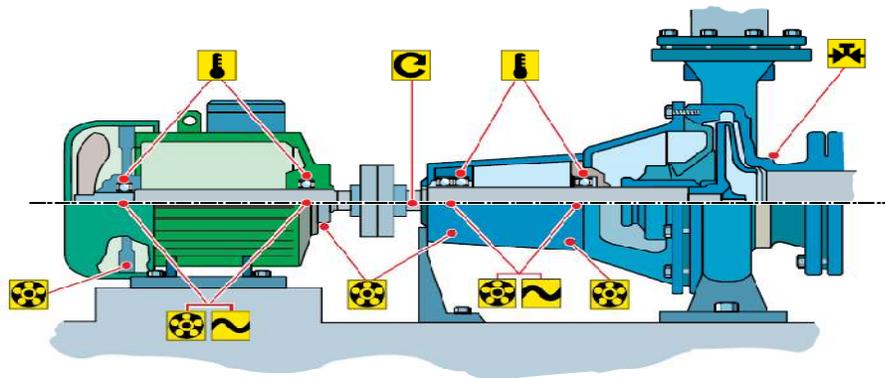
(PRÜFTECHNIK, 1998)

Las recomendaciones son dependiendo del tipo de máquina y su criticidad dentro del proceso productivo, porque basta con dos mediciones radiales periódicas, cuando se trate de una máquina que no sea crítica, pero teniendo en cuenta que si la vibración aumenta, se pueden medir en otros puntos e incrementar el control de dicha variable de condición.

Los puntos deben ser seleccionados con criterio técnico, para lograr buenas mediciones, pero resulta muy importante, asegurarse de que las mediciones futuras se hagan en el mismo punto siempre; para este propósito es muy importante señalar los puntos definidos previamente, ya que las mediciones de las vibraciones pueden variar considerablemente si se mueve el punto de medición.

Las condiciones de estado son monitoreadas en los puntos de medición establecidos en una máquina, considerando que en un mismo punto se pueden medir diferentes variables de condición, para poder monitorear más efectivamente, y poder descartar problemas por otro tipo de causa. Las variables de condición de estado a monitorear son las descritas previamente, con la herramienta de medición VIBROTIP. Para mayor claridad la siguiente figura mostrara las distribuciones de las mediciones.

Figura 7. Variables de condición de estado



(ANALIZAR-RBM@2006)

### 2.7.1 Variables de condición de estado a medir



ANÁLISIS DE VIBRACIÓN



ESTADO DE RODAMIENTOS



CAVITACIÓN

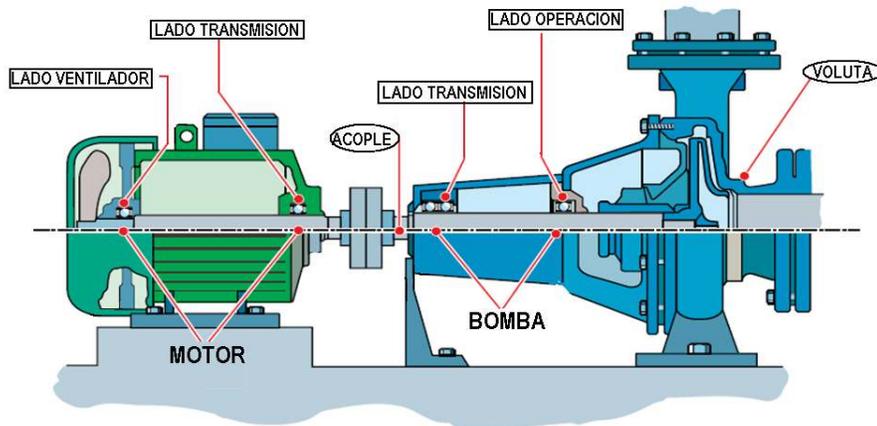


TEMPERATURA



RPM

Figura 8. Nomenclatura de los puntos de medición



(ANALIZA-RBM@,2006)

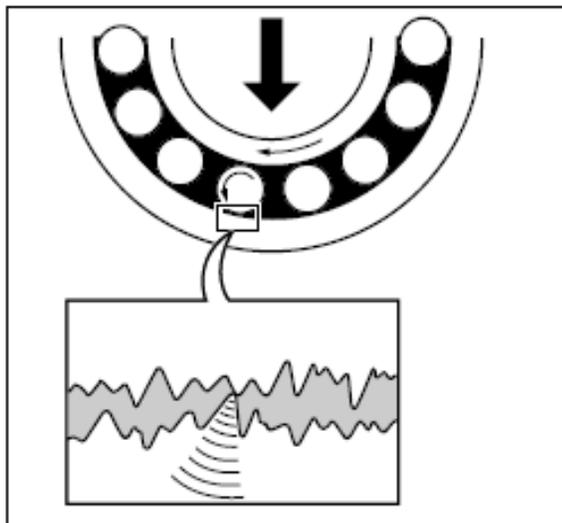
## 2.8 ESTADO DE RODAMIENTOS CON EL VIBROTIP

El VIBROTIP utiliza el método de impulsos de choque para analizar el estado de los rodamientos. Este método toma los impulsos de choque que ocurren durante el contacto de elementos diferentes, los cuales comúnmente se presentan en los rodamientos averiados donde dos componentes como los elementos rodantes y la pista chocan y por consiguiente se generan vibración y ruido.

### 2.8.1 Impulsos de choque

Los impulsos de choque son impulsos de presión de corta duración, producidos por impactos mecánicos. En los rodamientos los impactos mecánicos se presentan en todo el rodamiento, debido a las irregularidades que hay en las superficies de los anillos y de los elementos rodantes. El valor de impulso de choque depende de la velocidad del impacto y de la superficie del área.

Figura 9. Fricción interna en el rodamiento



(PRÜFTECHNIK, 1998)

Los impulsos de choque indican las diferentes frecuencias y amplitudes que se puedan presentar en los rodamientos. Este método utiliza dos valores evaluativos para poder realizar el análisis de estado del componente, estos dos valores son, el valor valle y el valor cresta. El análisis consta en que entre más daño tenga el rodamiento más aumenta la diferencia entre estos valores.

El método de impulsos de choque se ve altamente modificado, por lo que depende directamente de la velocidad de la máquina, y de la velocidad que giren los elementos rodantes, debido a esto, este método debe contemplar las RPM y el diámetro interior del rodamiento en el que se este midiendo, para que las lecturas y el análisis sea estandarizado (PRÜFTECHNIK,1998).

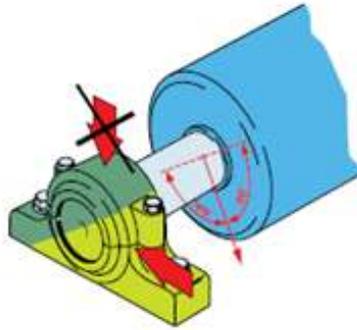
## 2.9 MEDICIÓN DE LOS IMPULSOS DE CHOQUE

La forma de medición es a través de un acelerómetro, el cual debe ser ubicado específicamente en la zona de carga del rodamiento donde recibe las frecuencias de resonancia a 30 KHz. Los tipos de acelerómetros tienen un filtro interior para poder procesar las señales, donde las frecuencias bajas son filtradas, ayudando a entender los efectos precisos en los rodamientos por causa de los impulsos de choque. Las bajas frecuencias se manifiestan por problemas originados por causas externas a los rodamientos como desalineación o desequilibrio de un eje.

### 2.9.1 Zona de carga

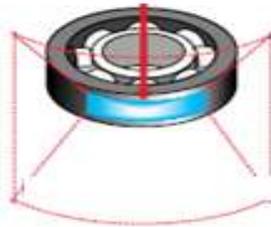
Los impulsos de choque se generan entre las superficies de contacto que son los elementos rodantes y el anillo del rodamiento. Donde el elemento al cual se le ejerce la carga toca el anillo de rodadura y se produce un contacto entre sí, se puede calcular la magnitud del rozamiento. Por ello el punto de medición debe de estar en dirección de la zona de carga

Figura 10. Medición en zona de carga



(ANALIZAR-RBM@,2006)

Figura 11. Efecto en el rodamiento

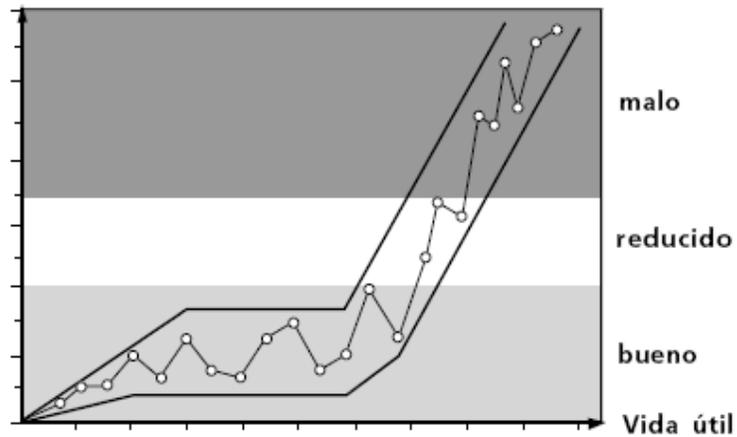


(PRÜFTECHNIK, 1998)

### 2.9.2 Rango de evaluación de los impulsos de choque

El método de impulsos de choque plantea unos rangos de evaluación, donde se muestran tres categorías, sobre la magnitud del daño en los rodamientos respecto a la vida útil de los mismos. Los rangos son: bueno, reducido y malo. En la siguiente figura se observa claramente.

Figura 12. Desempeño de un rodamiento en el tiempo



(PRÜFTECHNIK, 1998)

La gráfica muestra como el estado de rodamientos pasa de bueno a malo durante su vida útil, por las razones que considera el método, ya que las irregularidades superficiales se van agudizando con el paso del tiempo, y están presentes en cada rotación del elemento. Las mediciones se pueden incrementar abruptamente en un periodo corto de tiempo, por lo que resulta necesario tener frecuencias establecidas para poder basar el análisis en mediciones tomadas durante un periodo de tiempo más largo.

### 2.9.3 Medición de impulsos de choque

Los rodamientos giran a varias velocidades, pero en este método esa velocidad de giro es proporcional a los impulsos de choque, queriendo decir que si un rodamiento gira lentamente este va a producir un bajo valor de impulso de choque, mientras que si un rodamiento rota rápidamente va a producir un valor más alto.

Las mediciones para este método están normalizadas, por eso los impulsos de choque que se miden en  $dB_N$  (decibelios) siendo esta la unidad de medida normalizada, que expresa el estado de funcionamiento de los rodamientos, con los parámetros introducidos previamente como lo son el diámetro interior del rodamiento y las RPM del mismo.

La ecuación que se emplea es la siguiente:

Ecuación 5. Cálculo de los impulsos de choque.

$$dB_N = dB_{SV} - dB_i$$

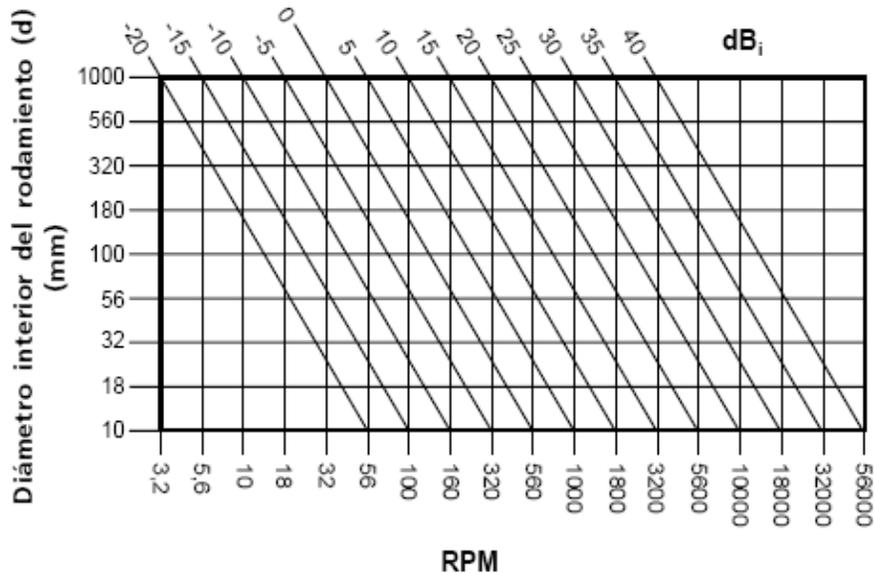
Donde:

$dB_{SV}$  : Valor de choque en decibelios, no normalizado

$dB_i$  : Valor Inicial.

El valor inicial para la ecuación es un valor empírico, basado en muchas mediciones en rodamientos nuevos y perfectos que son realizadas por el fabricante PRÜFTECHNIK, a su vez el mismo ha realizado la parametrización de estos resultados, introduciéndolos en una tabla como se muestra en la figura siguiente.

Figura 13. Cálculo de los decibeles Iniciales



(PRÜFTECHNIK, 1998)

La gráfica muestra la relación entre las RPM que giran los rodamientos y el diámetro interior del mismo, para poder obtener los decibeles iniciales, y así poder calcular el dBN como lo muestra la ecuación 5. El software del VIBROTIP calcula automáticamente el valor dBi, ingresándole el valor de las RPM Y el diámetro interior del rodamiento.

El valor de impulso de choque es el que permite realizar un análisis exhaustivo del estado de rodamiento, Ya que es útil para detectar las causas de falla en los rodamientos. Para ello se realizan dos mediciones, una de valor valle y otra del valor cresta.

#### 2.9.4 Valor valle

El valor valle sube cuando la viscosidad de la capa del lubricante se reduce, lo que genera que haya más contacto entre las superficies metálicas, haciendo que se incrementen los choques que son traducidos por las señales de ultra sonido enviadas al VIBROTIP en decibelios. El valor valle ayuda a analizar las causas del estado de funcionamiento, si es óptimo o malo.

#### 2.9.5 Valor cresta

El valor cresta es interpretado según los impulsos recibidos por el VIBROTIP, ya que los daños o irregularidades de tamaño considerable sobre las superficies harán que los impulsos de choque sean de mayor magnitud. El valor más elevado de esta medición, en un rodamiento se denomina el valor cresta, que es el máximo percibido en decibelios.

El método de impulso de choque determina que si el valor cresta se incrementa tres veces más que el valor valle, el riesgo de avería es inminente, para lo que es prudente hacer una intervención de mantenimiento preventivo. (INSTRUCTIVO DE MANEJO, 1998)

## 2.10 CAVITACIÓN

La cavitación es un efecto hidrodinámico, el cual se produce cuando un fluido cualquiera como el agua pasa a altas velocidades por un borde afilado. Ocurre en algunos casos, que este fluido alcanza la presión de vapor, y las moléculas pasan a estado gaseoso creando burbujas. Estas viajan a zonas de mayor presión donde hace implosión, y se produce una estela de gas y arranca todo el material que se encuentre cerca de la burbuja; este fenómeno es muy similar al de la ebullición.

Lo anterior ocurre también cuando en la conducción de un fluido existe un gas o vapor viajando junto al fluido, formándose las burbujas que implosionan, creando la cavitación. La cavitación produce vibración a través de las líneas de conducción del fluido y en los equipos de manejo de dichos fluidos como bombas y compresores.

La implosión produce ondas de presión; en el momento que estas ondas chocan contra el material del elemento o sistema, este tiende a debilitarse en su estructura iniciando la corrosión y provocando una zona de pérdida de presión, generando a futuro más burbujas que potencializan el fenómeno (WIKIPEDIA@, 2006).

La predicción inicial de la cavitación en sistemas y elementos es por medio de los sentidos; más exactamente por el ruido y vibraciones; que permiten percibir golpes que recibe internamente el sistema o elemento y ruidos anormales que indican condición de estado con problemas.

Los problemas son comúnmente encontrados en sistemas como hélices, impulsores de bomba y líneas de conducción con sus elementos y acoples, donde la cavitación produce; Ruido excesivo, erosión del cuerpo o sistema, SSC, componentes internos dañados, disminución del desempeño, altos costos de

mantenimiento, falla de las válvulas, costos altos de reemplazo en las válvulas, entre otros (CLA@, 2007).

Figura 14. Desgaste y falla por la cavitación en un impulsor de una bomba.



(WIKI, 2008).

La mejor decisión para evitar la cavitación, es tener esta variable en cuenta en el diseño, ya que si controlamos este fenómeno es posible evitarlo en el futuro. Teniendo en cuenta los puntos donde podemos aplicar acciones que eliminen o minimicen la cavitación disminuirémos la vibración en los sistemas y los problemas generados (ALJOP@,2008).

Las acciones pueden implicar adiciones al diseño de los sistemas y cambio de rutina en los procesos; ejemplo: colocación de válvulas de purga para evacuación de vapores o gases, disminuir las frecuencias de purga en los sistemas para reducir el transporte de vapores o gases dentro de un sistema y equipos que lo componen.

La medición exacta de la cavitación se realiza observando los niveles de vibración y escuchando el ruido que hace el sistema o midiendo y comparando su intensidad con ultrasonido. Para el caso de audición simple o usando transmisores piezoeléctricos que se usan para medir presión, se confirma la existencia de cavitación.

### 2.10.1 Evaluación de la cavitación

La medida de cavitación es útil sólo cuando se tiene una tendencia, donde el historial es el objeto de estudio para poder determinar algún análisis. El software con el que está provisionado VIBROTIP, se convierte una herramienta útil para obtener un resultado óptimo.

El VIBROTIP permite medir la cavitación en bombas, válvulas, turbinas, etc. Ya que existe un mito en la industria donde se cree que la cavitación siempre se puede oír y realizar las correcciones. Un origen de consideración para la cavitación son problemas en los diseños e igualmente por la pérdida de eficiencia, por ello la cavitación la mayoría de veces no se escucha

### 2.10.2 Medición de la cavitación

La cavitación es medida a través de los impulsos de alta frecuencia sobre la carcasa de la bomba, cuando está en funcionamiento. Cuando se detecta una desviación incremental considerable en las mediciones obtenidas, se puede determinar que existe cavitación. Otra ayuda para determinar si se presenta cavitación es cuando se compara una máquina con otra y de las mismas características y se hace la medida de cavitación, y si una es superior a la otra, se puede determinar que hay cavitación (PRÜFTECHNIK, 1998).

## 2.11 ANÁLISIS DE TEMPERATURA

Las industrias usan aparatos para la medición y análisis de temperatura para controlar algunas variables de condición que estén directamente relacionadas; este tipo de herramienta es muy útil y fácil de usar en la industria. Algunas de las fallas que se pueden ver, son el daño en los rodamientos, problemas en sistemas de refrigeración, problemas en sistemas de generación de calor, problemas eléctricos, fricción fluida en cojinetes por inadecuada lubricación entre otros. (MORA, 2006).

Las herramientas usadas actualmente son diferentes, y su desarrollo tecnológico esta en constante evolución; a continuación se muestran algunos ejemplos que usan regularmente las empresas que implementan técnicas predictivas en sus rutinas de mantenimiento.

Los años posteriores se introduce la medición de temperatura sin contacto, se desarrollan los sensores de efecto térmico o los microbolómetros, donde estos usan la radiación infrarroja para variar condiciones eléctricas. Este tipo de sistemas elimina la necesidad de refrigeración; por lo que se puede reducir el tamaño y peso, además de ser fácil de manejar (ISOTEST@,2008).

Figura 15. Medidor de temperatura láser



(PCE-IBERICA@,2008)

La técnica es aplicada ampliamente en el sector industrial, donde se pueden revisar sistemas eléctricos como mecánicos; algunos ejemplos muy rutinarios son: las cajas de interruptores, los motores eléctricos y los generadores; en donde se pueda detectar posibles rozamientos entre cojinetes, eje y poleas, estado de los cojinetes, sistemas de transmisión y cajas de cambio y el estado de los lubricantes (SOUR,1992).

### 2.11.1 Medición de temperatura

El VIBROTIP es útil para medir temperatura con una termocupla o sonda que esta ubicada en la parte superior de la herramienta de medición, la cual se ubica sobre las superficies de interés, con la capacidad de medición que va de  $-30^{\circ}\text{C}$  a  $270^{\circ}\text{C}$ . Esta herramienta también es útil para medir la temperatura de fluidos que en su defecto sería muy útil para la medición del estado de los lubricantes. La utilidad de estas mediciones es que pueden ser grabadas y transferidas al computador, para realizar un análisis posterior.

Figura 16. Medición de temperatura con VIBROTIP



(INSTRUCTIVO DE MANEJO, 1998)

### 3. TIPOS DE MAQUINAS, PROCESO Y ACCIONES PREDICTIVAS

#### 3.1 OBJETIVO

Reconocer los tipos de máquinas o elementos que están involucrados en un molino de papel, para saber que acciones predictivas utilizar en dichos elementos y así poder clasificarlos en una matriz digital. Nivel 2- Comprender.

#### 3.2 INTRODUCCIÓN

El reconocimiento de las máquinas críticas es la clave para realizar un planteamiento objetivo sobre las acciones predictivas de mayor importancia, para que posteriormente se tomen decisiones de intervenir la maquinaria en el momento apropiado. Para el proceso de la industria papelera es necesaria la utilización de equipos especializados que ayudan a la producción de varios tipos de papel como los suaves, faciales, institucionales, servilletas entre otros.

El recorrido por la planta de producción es la metodología por la cual se van a destacar los equipos más críticos por su importancia en el proceso, ya que también existen otros equipos a los cuales no va a ser necesario de realizarles análisis de condición de estado ya que no están en el grupo de máquinas rotativas, ni de equipos que requieran medición de variables de condición de estado. Cada equipo que requiera alguna medición de variables va a ser consignado en un matriz digital, para poder organizarlos por procesos.

Las acciones predictivas ha implementar serán de acuerdo a el tipo de los componentes que tienen las máquinas rotativas o a los subsistemas relacionados a los mismos. Entre las variables a monitorear están los impulsos de choque para saber el estado de los rodamientos y chumaceras, vibraciones radiales y axiales

para las maquinas rotativas, cavitación para las bombas centrífugas, y la temperatura de la mayoría de las máquinas.

### 3.3 MAQUINAS CRÍTICAS

Las máquinas críticas del proceso son indispensables para realizar los productos ya mencionados anteriormente, estas máquinas se pueden clasificar con un criterio específico, por que si en algún momento falla dicha máquina, afecta la producción directamente. Otra forma de clasificación de máquinas críticas es también por el impacto en el entorno, ya que una avería puede producir una consecuencia catastrófica al ambiente o al recurso humano (VIBROVISION@,2009).

El objetivo de clasificar las maquinas criticas permite estar al tanto de las perdidas de rendimiento, ya que si se afecta su eficiencia, hace que la planta disminuya la capacidad de producción. Es necesario tener en cuenta algunas pérdidas de producción contempladas en varias tácticas de mantenimiento, algunas de ellas son ocasionadas por:

- Frecuencias de fallas
- Paradas programadas
- Preparación y ajuste
- Averías de equipos
- Paradas menores
- Pérdidas de velocidad
- Defectos de calidad
- Reproceso
- Pérdida de materia primas

El área de mantenimiento es la encargada de eliminar dichas pérdidas, logrando reducir los costos del mantenimiento, aumentar el tiempo entre fallas, reducir el tiempo para las reparaciones, disminuir los tiempos de alistamiento de equipos y mejorar las habilidades de operación y reparación. Todas las anteriores mejoras se pueden lograr a través del mantenimiento predictivo, para este fin, es necesario ver y entender los equipos importantes de la línea de producción (BAENA, 2008).

Las máquinas de mayor importancia para la elaboración del papel, son aquellas que se convierten en indispensables para lograr dicho fin, en el proyecto también se le da una importancia pertinente a otras máquinas que no son tan críticas, según lo definido anteriormente, pero que resulta necesario realizar un seguimiento de condición de estado, ya que sin estos equipos se dificulta lograr una óptima producción con estándares de calidad necesarios.

### 3.4 CLASIFICACIÓN DE EQUIPOS

El recorrido por la planta permite ver de cerca la elaboración del papel, pero resulta necesario entender el proceso de fabricación. Luego detectar los equipos más importantes que intervienen en el proceso, para después seleccionarlos, con base a lo explicado en el numeral anterior. El paso a seguir es realizar un listado con los equipos mencionados, pero lo más importante es la clasificación de los mismos por subprocesos, para poderlos agrupar y analizar. Esto hace que la clasificación sea más útil y entendible para pasos futuros, como lo son medir las variables de condición con frecuencias establecidas previamente y diseñar mejores rutas de medición que las actuales rutas mediante el equipo MICROLOG de SKF.

La clasificación en trenes de máquinas requiere que primero se subdividan los equipos en máquinas. Por ejemplo las bombas de pulpa, que en este caso serían trenes de máquinas, ya que estas están conformadas por una bomba centrífuga y

un motor de transmisión (estos últimos se catalogan como máquinas). Los trenes de maquinas serán grupos, que acoplados permiten realizar una función específica en la producción de papel.

Los procesos de la industria papelera están conformados por subprocesos y cada subproceso esta configurado por trenes de máquinas y a su vez estos trenes están conformados por máquinas. Ya en cada máquina se establecerán los elementos o los componentes que requieran monitoreo de condiciones, que para este caso se denominarán puntos de medición. Con esta jerarquización, se pretende ramificar o agrupar la información recolectada en una estructura de árbol, para poderla consignar en una matriz llevando la información a su mínima expresión, como se ve en la figura 18.

La información se va a recopilar manualmente para luego introducirla en una matriz de EXCEL, que después de ser aprobada por el encargado del área de mantenimiento de molinos, se procederá a introducirla al software especializado, llamado OMNITREND que lo provee el fabricante del VIBROTIP.

La matriz de EXCEL tiene varias columnas donde se van a consignar los datos más fundamentales para poder realizar una buena división y clasificación de los trenes de máquinas, con la información necesaria. Al mismo tiempo esta matriz tendrá una gran utilidad para el área de mantenimiento porque con la misma se podrá estandarizar los subprocesos dentro de la empresa y también podrán contar con información técnica útil.

El formato de recolección de datos tendrá la siguiente información:

- Ubicación técnica
- Nombre del tren de máquina
- Subproceso

- Localización de medición
- Tarea de medición
- Equipo de medición
- ¿Perforado?
- Potencia (Kw)
- RPM
- Diámetro interior de rodamientos (mm)
- Reductores o poleas: relación de reducción, revoluciones de entrada y salida



### 3.5 INTRODUCCIÓN AL SOFTWARE EXPERTO

El OMNITREND es un programa diseñado para el sistema operativo WINDOWS™, el cual permite guardar, analizar y calcular tendencias de las mediciones hechas por el VIBROTIP. La toma de mediciones y su respectivo seguimiento durante un periodo de tiempo, permiten predecir con antelación el momento más oportuno y adecuado para detener la máquina o equipo.

Las tendencias son importantes, ya que si se toman mediciones frecuentemente en el mismo punto de medición de una máquina durante un tiempo prudencial, para luego tomar esta información y realizar una gráfica donde se podrá observar como la vida útil de los componentes decrece o que la intensidad vibratoria aumente. De la misma forma para la temperatura y la cavitación.

Las frecuencias de mediciones se deben plantear según la criticidad de los elementos o de las máquinas, pero teniendo en cuenta el estado y el tiempo de funcionamiento de los elementos, si están recién montados o si ya llevan algún tiempo funcionando. Entre más nuevos los elementos, el tiempo entre mediciones será más prolongado, mientras en el caso de que el elemento lleve funcionando un tiempo prolongado, las frecuencias de mediciones se deben intensificar, para poder rastrear y controlar la falla potencial que pueda causar dicho elemento (OMNITREND, 2006).

El estudio de la gráfica permite adelantarse a las futuras fallas, un ejemplo de ello es cuando las vibraciones se incrementan al principio lentamente, pero esta tendencia no será igual cuando el componente se acerca al final de su vida útil, implicando que el componente se dañe y haciendo que la máquina se pare para su respectiva reparación, lo que lógicamente no conviene para una planta de producción con estas características.

La ayuda fundamental para el mantenimiento predictivo es el gráfico de mediciones, ya que muestra el comportamiento incremental de la magnitud de la vibración o de cualquier otra variable de condición, para así poder controlar la frecuencia de medición; al ver un incremento importante se debe de hacer un seguimiento más frecuente, para poder así predecir la falla, y por consiguiente, programar cuando parar la máquina.

La utilidad del software OMNITREND es que ahorra mucho tiempo a la hora de introducir los datos obtenidos con la herramienta de medición, ya que se tomaría mucho tiempo el introducir los datos de mediciones manualmente a cientos de equipos y fuera de eso tocaría repetir la misma labor casi diariamente. Otro punto a favor del software es que no hay necesidad de utilizar con papel para apuntar los datos de las mediciones.

El programa muestra automáticamente la tendencia de la variable con base a las mediciones obtenidas sin necesidad de preocuparse por interpretar las mediciones, ya que el VIBROTIP arroja valores absolutos y concretos. Adicionalmente a esto, este software crea alarmas para saber en que rango esta la medición y también genera advertencias. Una herramienta de utilidad gerencial es que este programa esta en la capacidad de generar reportes diarios, semanales, quincenales o mensuales.

Los pasos a seguir para utilizar el software son los siguientes:

Primero: Crear una base de datos de las máquinas que tiene la empresa especificando claramente los puntos de medición.

Segundo: Elegir las máquinas que se desea medir, para después insertarlos dentro de una ruta de medición.

Tercero: Exportar la ruta de medición al VIBROTIP a través de la conexión serial del computador.

Cuarto: Realizar las mediciones en los equipos cargados en el VIBROTIP por medio de la ruta de mediciones.

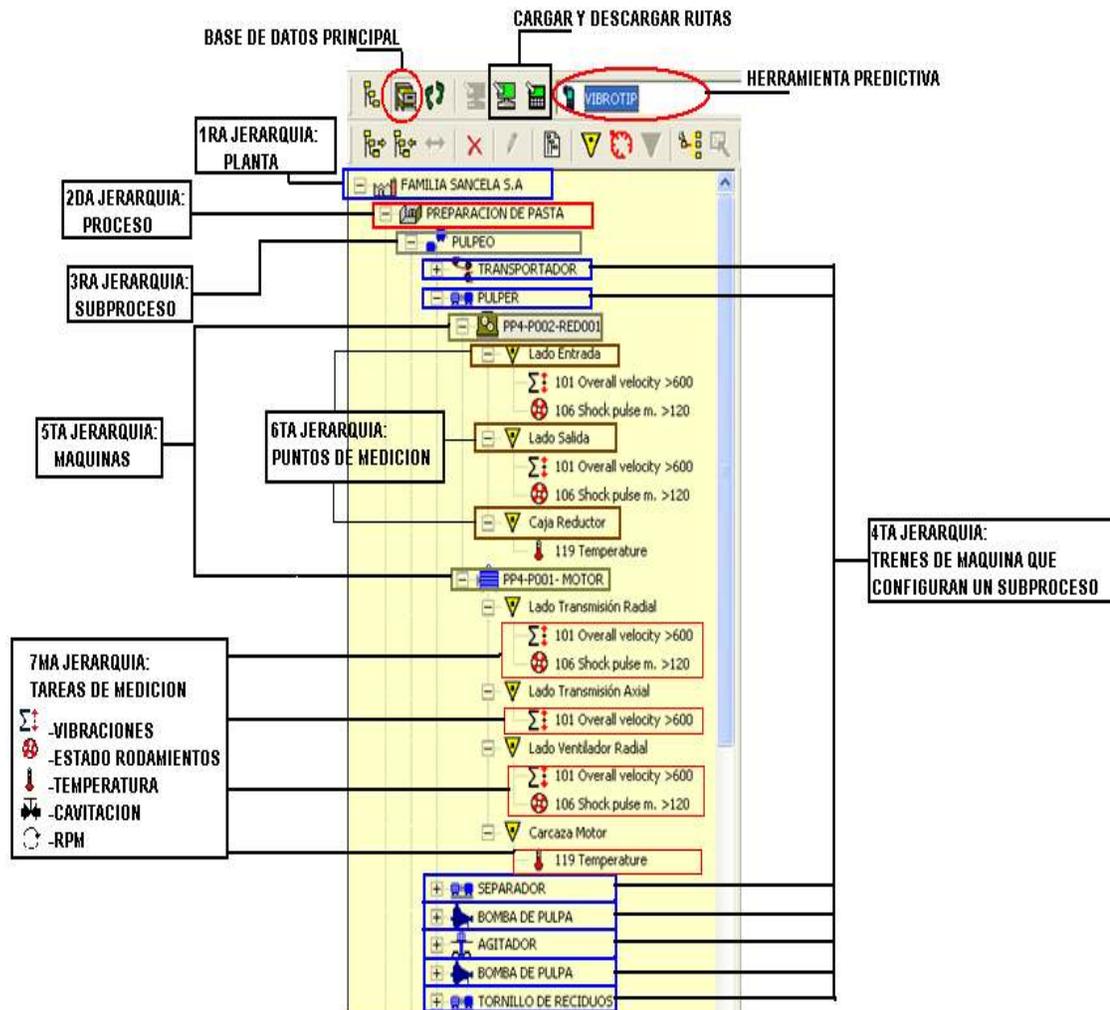
Quinto: importar las mediciones al software OMNITREND para realizar el análisis.

Sexto: Verificar las alarmas, advertencias y las pre-advertencias para ver si se excedieron los niveles admitidos, que se establecen previamente. Ya que el software dispara estos avisos inmediatamente se sobrepasan los niveles configurados. El software maneja tres códigos de colores para clasificar los avisos: Rojo para alarma, amarillo para la advertencia y verde para la pre-advertencia.

### 3.5.1 Base de datos

El OMNITREND almacena todos los datos por medio de una estructura de árbol, para jerarquizar los tipos de procesos y a su vez los tipos de máquinas, llegando hasta la acción predictiva que se desea realizar, un ejemplo se muestra en la siguiente figura.

Figura 18. Estructura de la base de datos en OMNITREND



(OMNITREND)

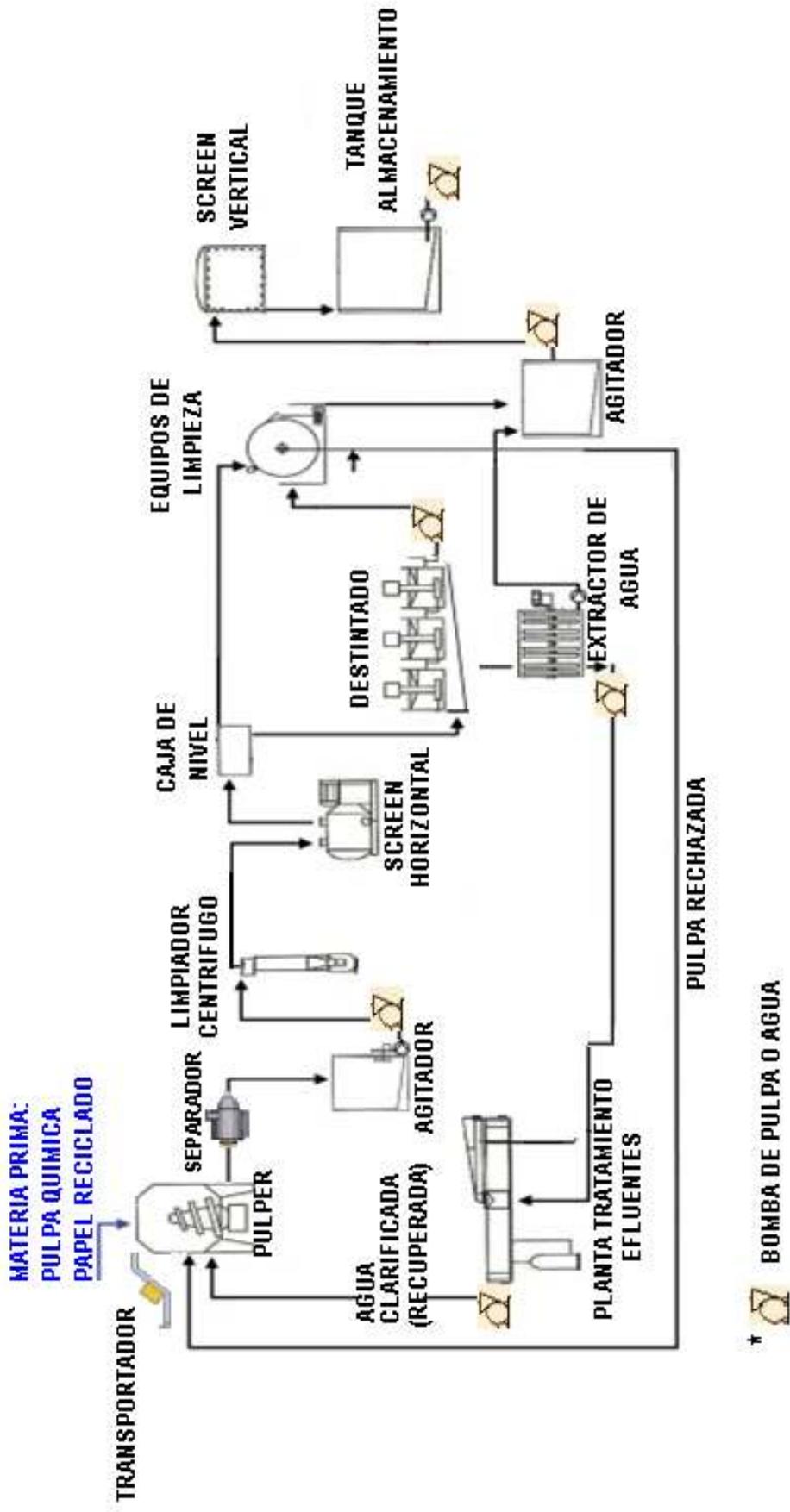
### 3.6 PROCESO DE PRODUCCIÓN

El proceso papero cuenta con una particularidad y es que está conformado por un sin número de equipos diferentes y a su vez de mucha importancia. Para poder entender esta configuración es necesario mostrar el macro proceso básico de una industria papera, para poder ver y entender los subprocesos que intervienen en el mismo, igualmente los sistemas, los subsistemas, y la maquinaria especializada que configuran una línea de producción papera.

La comprensión del proceso resulta importante debido a que después se pueden realizar algunas propuestas para la intervención de la maquinaria más importante, desde la visión de mantenimiento predictivo y así realizar los procedimientos pertinentes, junto a la documentación necesaria. Muchas de las maquinas o equipos tenidos en consideración deben de ser previamente preparados y perforados para las futuras mediciones de condición de estado, ya que si se ponen puntos de medición fijos, los resultados de las mediciones van a ser más efectivas, porque garantizan que siempre se realizaran en el mismo lugar.

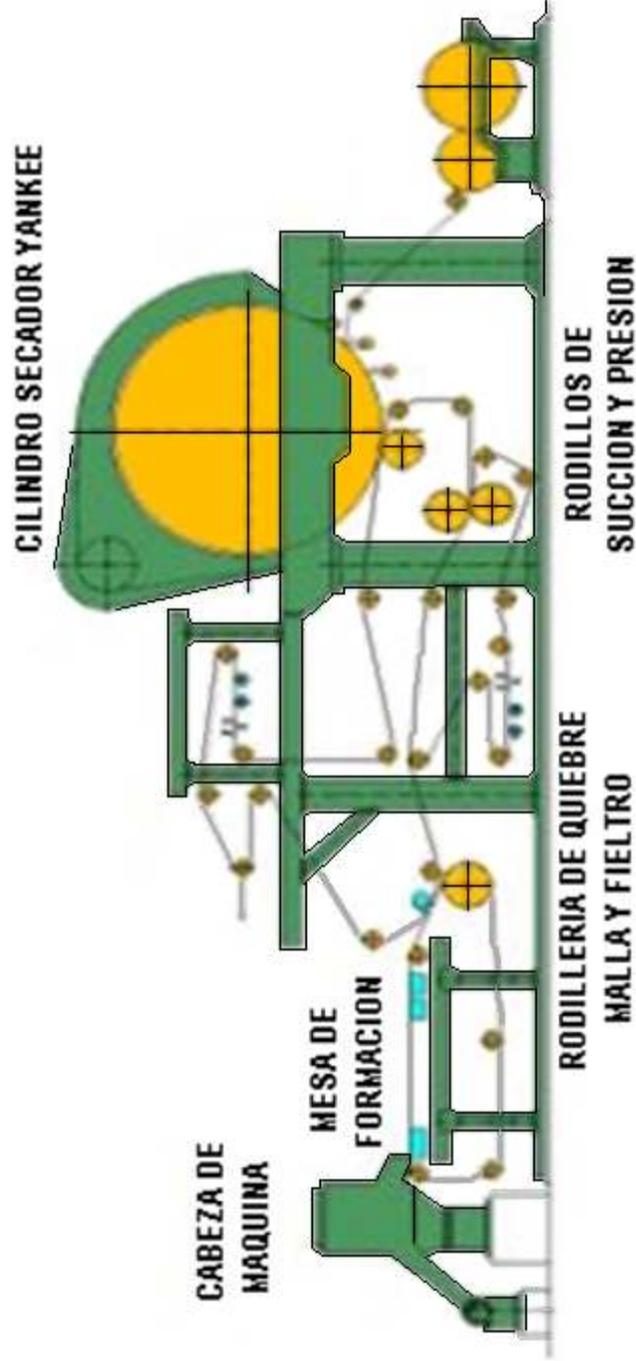
El proceso de fabricación de papel se debe ver desde dos subprocesos, donde en el primero se prepare la pasta o la pulpa con las propiedades requeridas según el producto. Y el segundo, ocurre en la máquina de papel que esta conformada por varios subsistemas.

Figura 19. Proceso 1: Preparación de pasta o pulpa



(HANDBOOK OF PAPER, 2006)

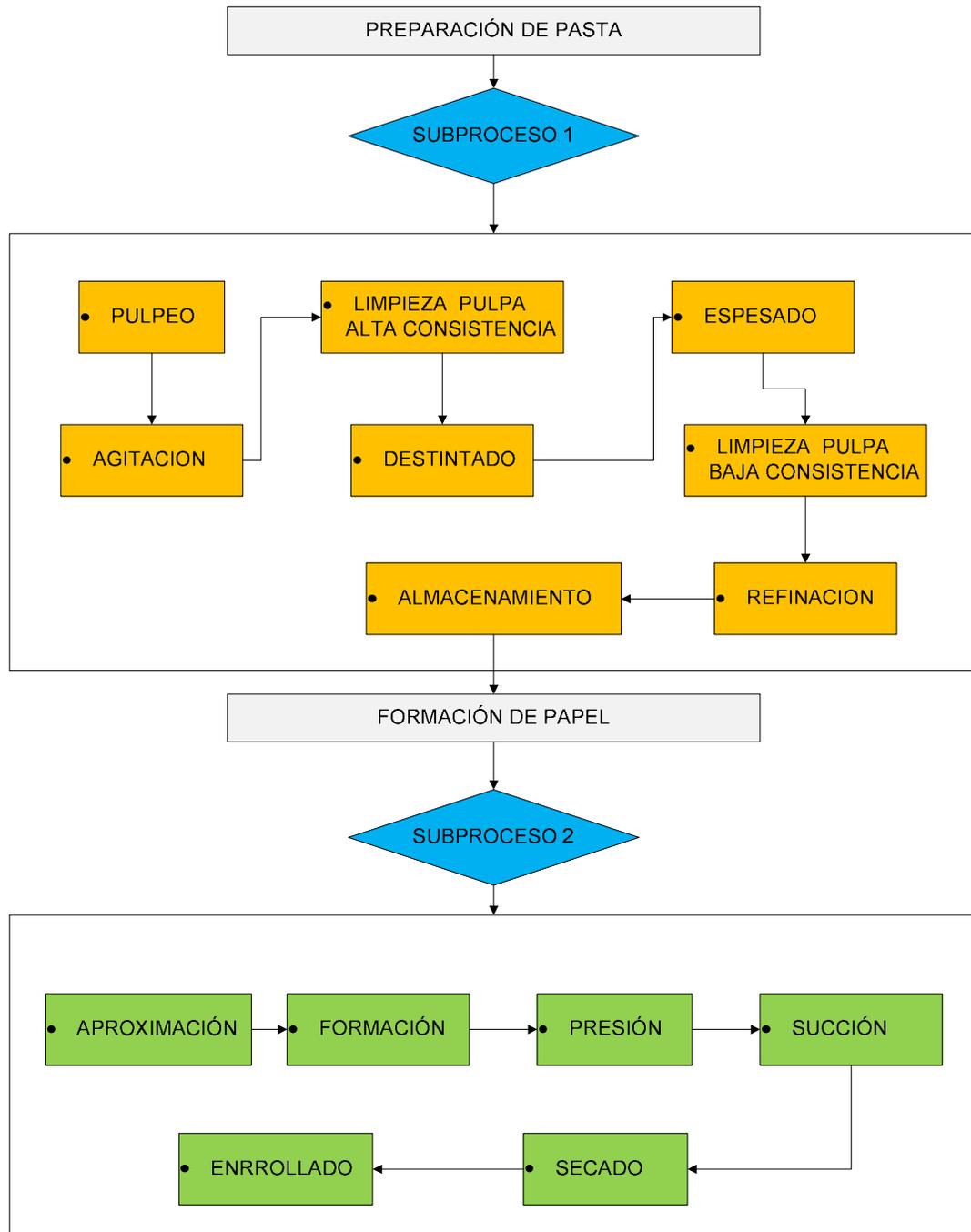
Figura 20. Proceso 2: Formación de papel.



(HANDBOOK OF PAPER, 2006)

Los subprocesos que conforman los macro procesos se ilustran en la siguiente figura:

Figura 21. Macro proceso para la producción de papel



### 3.7 PREPARACIÓN DE PASTA

El objetivo del proceso de la preparación de pasta o de pulpa es modificar las diferentes materias primas que se introducen al sistema, teniendo en cuenta las características y exigencias de las máquinas con las que cuenta la compañía, y los estándares de calidad requeridos para el papel Tissue.

Las materias primas utilizadas son de varios tipos de pulpa vegetal, como lo son las fibras cortas y las fibras largas, provenientes del eucalipto globulus y el pino, respectivamente. Estas materias primas provienen de países industrializados (los más próximos a Colombia son Brasil y Chile). Otro tipo de materia prima es el papel reciclado y se encuentra en el comercio en forma de fardos o pacas. (TEXTOSCIENTIFICOS@,2006)

Los procesos de preparación de pasta constan de varios subprocesos independientes, los cuales se adaptan de uno a otro. La eficiencia y la confiabilidad de las máquinas depende del diseño de los fabricantes de dichos equipos, también depende de la calidad de la materia prima, y de que tan controlados se tengan los equipos para aumentar su disponibilidad y poder reducir la mantenibilidad.

Los sistemas de preparación de pasta requieren de tres niveles:

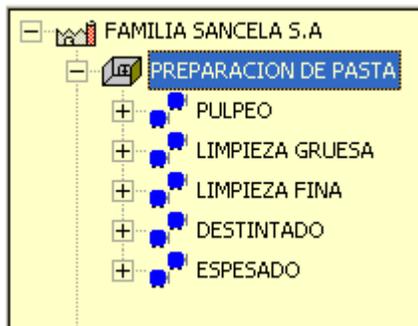
- Descomposición: desintegrar las materias primas y convertirlas en fibras, para luego separar las fibras de los contaminantes, como son los residuos plásticos, metálicos, sólidos, impurezas, entre otros. Se deben separar las fibras para poder realizar el debido tratamiento de las mismas y luego pasar al tratamiento de los residuos de los contaminantes y el agua necesariamente involucrada durante este proceso.

- Recuperación: las fibras, el agua y otros sólidos se recuperan de los rechazos hechos en el proceso de separación, para aprovechar al máximo los recursos que intervienen en el proceso ya previamente separados.
- Descarga: con la filtración y el refinamiento realizado durante el proceso y con la separación de los residuos sólidos y el agua contaminada, se decide descargar la pulpa tratada hacia la cabeza de la máquina del otro proceso.

### 3.7.1 Configuración de un proceso en OMNITREND

La propuesta de la distribución de subprocesos y equipos es avalada por el área de mantenimiento molinos, por eso se muestra a continuación el primer proceso llamado preparación de pasta y su configuración en la planta. En la siguiente figura se pueden ver todos los subprocesos que intervienen en la planta de producción, que luego son incluido en el software de mantenimiento predictivo OMNITREND para poder realizar el monitoreo de condiciones.

Figura 22. Clasificación de subprocesos en OMNITREND



(OMNITREND)

Los subprocesos tienen dentro de sí una gran cantidad de trenes de máquinas, que a su vez deben ser clasificados en su respectivo subproceso. Con base a la figura 21 se procede a realizar la clasificación dentro de la empresa en mención.

Los subprocesos existentes son:

- Pulpeo.
- Limpieza gruesa.
- Destinado
- Limpieza fina.
- Espesado

### 3.8 SUBPROCESOS DE LA PREPARACIÓN DE PASTA

#### 3.8.1 Pulpeo

El propósito del pulpeo es desintegrar la pulpa seca, que es la principal materia prima del proceso, esta es transportada y depositada en un gran recipiente para ser procesada, su ingreso es en estado seco, juntamente se deposita en el mismo recipiente el papel reciclado, hasta formar un bache con una consistencia que pueda ser bombeada, para ello se ingresa agua a la mezcla.

El pulpeo es necesario al principio del proceso, por lo que se necesita que las fuerzas de desintegración aplicadas sean superiores a las fuerzas que ejerce el material para oponerse al corte, siendo de gran ayuda el humedecer la pulpa.

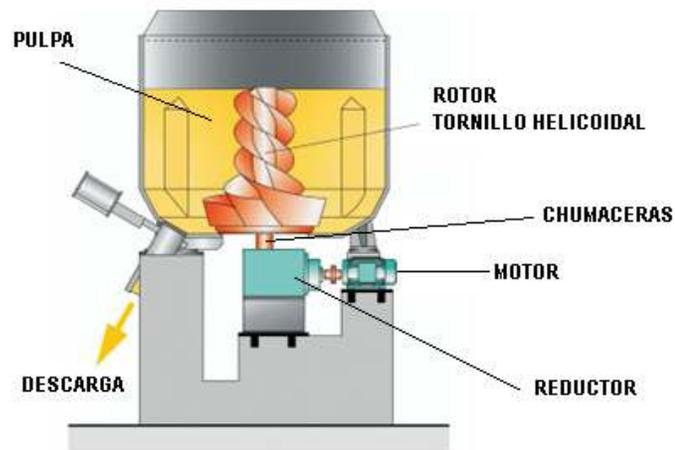
- Acciones predictivas en el Pulper

El recipiente cuenta con un tornillo helicoidal al que se le transmite la potencia a través de un motor y un reductor por medio de un eje. Este tren de transmisión es considerado para el análisis, seguimiento y monitoreo de condición de estado, tanto para el motor como para el reductor.

Las variables de condición de estado que se deben monitorear son las vibraciones de cada máquina, así mismo el análisis de vibraciones para los elementos rodantes. Otra variable a monitorear es el estado de rodamientos a través de los impulsos de choque, tanto al motor como al reductor. Por otro lado la temperatura

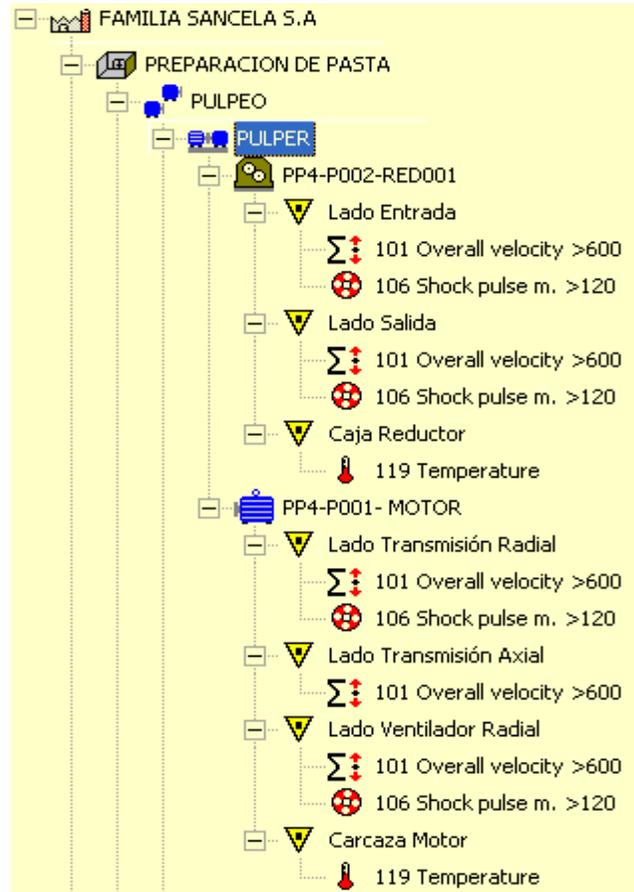
es medida en los puntos más relevantes como lo son los lugares donde se albergan los rodamientos o las carcasas de las máquinas. En la figura 23 se puede ver la configuración del tren de máquina llamado Pulper. En la figura 24 se observa la configuración dada en el software para una mayor comprensión.

Figura 23. Configuración del Pulper



(HANDBOOK OF PAPER, 2006)

Figura 24. Desglose y acciones predictivas del Pulper en OMNITREND



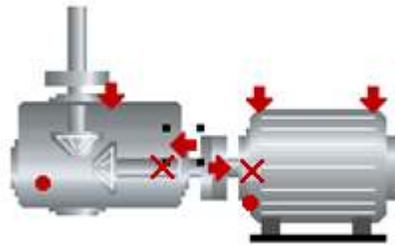
(OMNITREND)

- Puntos de medición sobre la transmisión del Pulper

Los puntos de medición son aplicados en las ubicaciones más críticas o donde ocurren las fallas más frecuentemente, aunque lo ideal es tener controlados todos los elementos posibles para evitar fallas inesperadas.

La figura 25 muestra como esta configurado la transmisión del Pulper, y también muestra los puntos propuestos para realizar las mediciones.

Figura 25. Puntos de Medición en el Pulper



Nomenclatura de las direcciones y los puntos de medición:

- Reductor:

DIRECCIONES	PUNTOS	MEDICIÓN
← Axial Horizontal a 0°	→ Lado de entrada	→ Σ ↓ ⊕
× Radial horizontal a 0°	→ Lado de entrada	→ Σ ↓ ⊕
↓ Radial vertical a 90°	→ Lado de salida	→ Σ ↓ ⊕
● Radial inferior	→ Carcasa del reductor	→ 🌡

- Motor

DIRECCIONES	PUNTOS	MEDICIÓN
↓ Radial vertical a 90°	→ Lado transmisión	→ Σ ↓
↓ Radial vertical a 90°	→ Lado ventilador	→ Σ ↓ ⊕
× Radial horizontal a 0°	→ Lado transmisión	→ Σ ↓ ⊕
➔ Axial horizontal a 0°	→ Lado transmisión	→ Σ ↓ ⊕
● Radial inferior	→ carcasa del motor	→ 🌡

### 3.8.2 Separador

El propósito del separador es recibir la pulpa desintegrada del Pulper, a una alta consistencia en su densidad, por lo que se hace importante este elemento para el proceso, debido a que en las materias primas se encuentran toda clase de impurezas, las cuales son contaminantes contenidos en el papel reciclado, siendo altamente perjudicial para la producción de papel.

La tarea del separador es como su nombre lo dice, apartar toda clase de impurezas diferentes al papel, como lo son metales, plásticos, vidrios, arena, papeles que no cumplen con las especificación entre otros. (Handbook of Paper and Board, 2006)

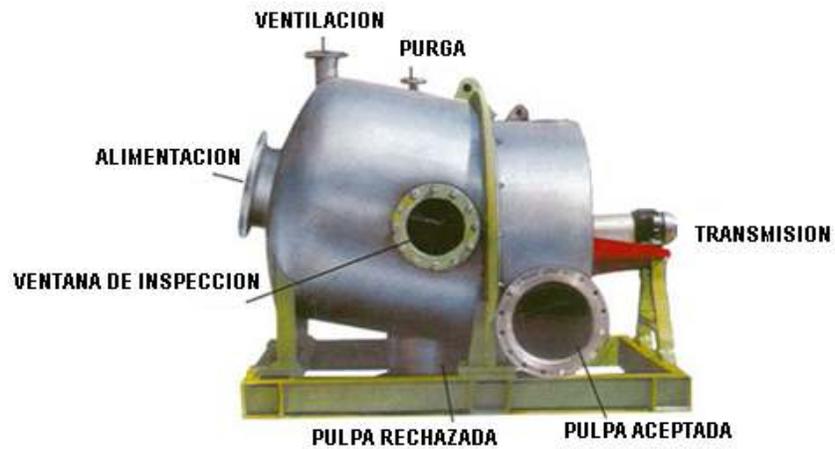
- Acciones predictivas en el separador

El separador esta conformado en su sistema de transmisión por un motor y una polea, las cuales transmiten el movimiento rotacional al eje de transmisión, para accionar al separador internamente y permitirle su trabajo específico. El eje debe de estar soportado por un par de chumaceras para que se pueda garantizar su funcionamiento, permitiendo que siempre este soportando la fuerza o la carga de diseño propuesta por el fabricante, y evitar cualquier daño en el sistema de transmisión o peor aun en el equipo papelerero.

Este tren de transmisión es considerado para el análisis, seguimiento y monitoreo de las condiciones de estado, tanto para el motor, la polea y las dos chumaceras. Las variables que se van a monitorear serán las vibraciones de cada máquina rotativa y de cada chumacera y a estas últimas también les será monitoreado el estado de los elementos rodantes a través de los impulsos de choques para saber su condición. Debido a las altas cargas de funcionamiento, es necesario también monitorear la temperatura de cada elemento que gire, para evitar recalentamientos perjudiciales.

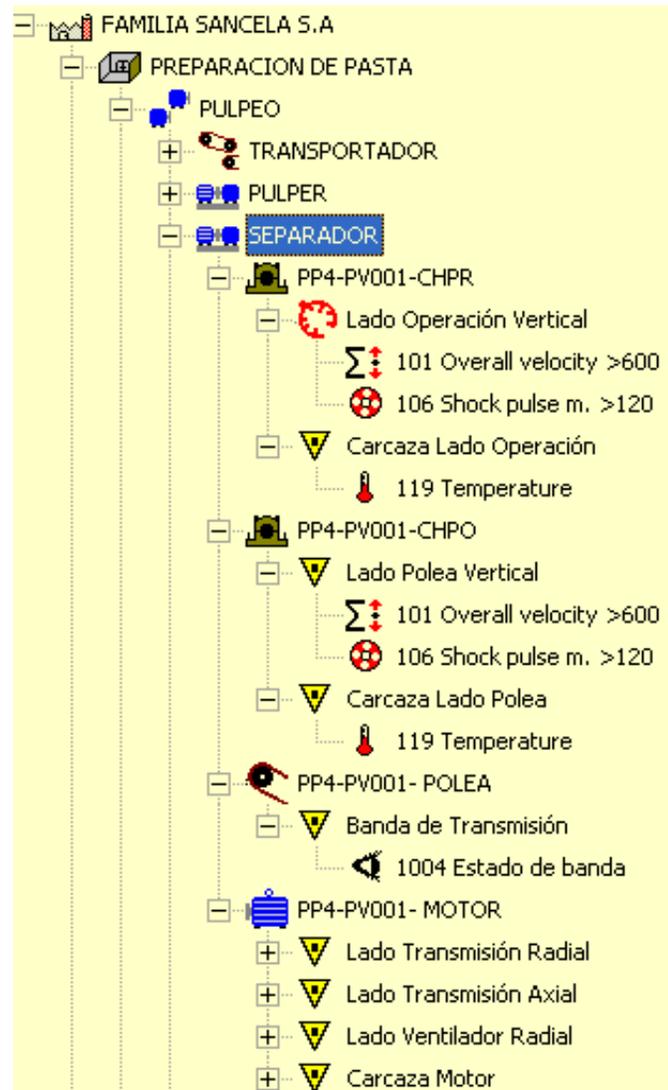
La figura 26 muestra el tipo de equipo a analizar y la figura 28 muestra la configuración de la transmisión a monitorear.

Figura 26. Separador



(HANDBOOK OF PAPER, 2006)

Figura 27. Desglose y acciones predictivas del Separador en OMNITREND



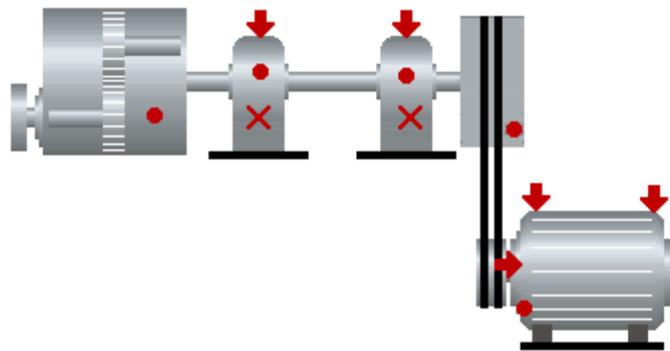
(OMNITREND)

- Puntos de medición sobre la transmisión del Separador

Los puntos de medición son aplicados en las ubicaciones más críticas o donde ocurren las fallas más frecuentemente, aunque lo ideal es tener controlados todos los elementos posibles para evitar fallas inesperadas.

La figura 28 muestra como está configurada la transmisión del Separador, y también muestra los puntos propuestos para realizar las mediciones.

Figura 28. Puntos de Medición en el Separador



Nomenclatura de las direcciones y los puntos de medición:

- Chumacera lado Operación.

DIRECCIONES	PUNTOS	MEDICIÓN
✗ Radial	→ Horizontal a 0°	→ $\Sigma$
↓ Radial	→ Vertical a 90°	→ $\Sigma$
● Radial inferior	→ Carcasa Chumacera	→

- Chumacera lado Polea

DIRECCIONES	PUNTOS	MEDICIÓN
✗ Radial horizontal a 0°	→ Horizontal a 0°	→ $\Sigma$
↓ Radial vertical a 90°	→ Vertical a 90°	→ $\Sigma$
● Radial inferior	→ Carcasa Chumacera	→

- Polea

DIRECCIÓN	PUNTO	MEDICIÓN
● Banda de transmisión	→ Banda en V	→

- Motor

DIRECCIONES	PUNTOS	MEDICIÓN
↓ Radial vertical a 90°	→ Lado transmisión	→ $\Sigma$ ↓
↓ Radial vertical a 90°	→ Lado ventilador	→ $\Sigma$ ↓ 
× Radial horizontal a 0°	→ Lado transmisión	→ $\Sigma$ ↓ 
→ Axial horizontal a 0°	→ Lado transmisión	→ $\Sigma$ ↓ 
• Radial inferior	→ carcasa del motor	→ 

### 3.8.3 Bomba de Pulpa o de Agua

Las bombas de pulpa son tal vez los elementos más comunes en la industria papelera, ya que se encuentran repetidas veces durante todo el proceso de la elaboración del papel, demostrando la importancia de sus funciones, aunque por la cantidad de equipo con iguales características hace que su criticidad decrezca, pero sin embargo resulta necesario estar evaluando constantemente sus condiciones de estado para evitar paradas repentinas, a pesar de que hayan otros equipos en stand by (KADANT@, 2009).

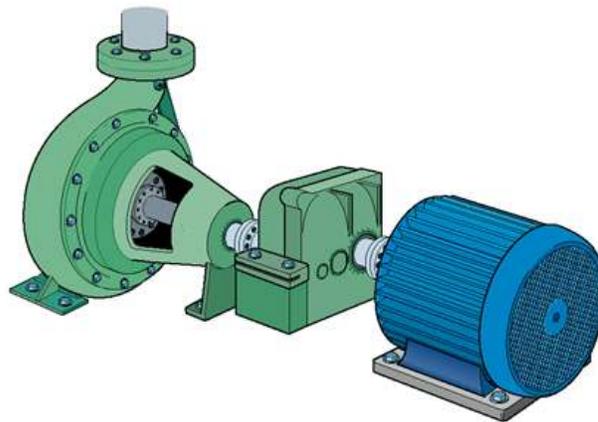
- Acciones predictivas en el separador

La base de este tren de máquina es una bomba centrífuga encargada de transportar el fluido que en este caso puede ser la pulpa de papel procesada, o los diferentes tipos de aguas (como lo son las aguas clarificadas, las aguas de los sellos, el agua limpia y el agua tratada). Por el otro lado también se cuenta con un motor de corriente continua AC encargado de transmitirle la potencia a la bomba, para poder mover los impulsores de la voluta y realizar el transporte del fluido de un lugar a otro, tanto la bomba como el motor están acoplados mediante un acople flexible.

Este tren de transmisión es considerado para el análisis, seguimiento y monitoreo de las condiciones de estado, tanto para la bomba centrífuga, como para el motor y el acople.

Las variables que se van a monitorear serán las vibraciones de cada máquina rotativa y de cada rodamiento; a estos últimos también les será monitoreado el estado de los elementos rodantes a través de los impulsos de choques para saber su condición. Como se explica en el capítulo anterior resulta necesario que a las bombas centrífugas se les monitoree la variable de cavitación, debido a la turbulencia en el fluido. También se monitoreará la variable temperatura de cada elemento para evitar que se recalienten. Finalmente también se complementara con una inspección visual en el acople.

Figura 29. Bomba de pulpa o de Agua



(ANALIZA-RRBM@, 2008)

La diferencia del uso es que si se requiere una bomba de pulpa, resulta necesario que la potencia del motor se incremente, en la mayoría de las veces las bombas de pulpa son de mayor caudal y cabeza, en comparación con las bombas de agua, ya que esta última transporta un fluido con menor densidad por lo que requiere menos potencia medida en Kw.

Figura 30. Puntos de Medición en la Bomba Centrífuga

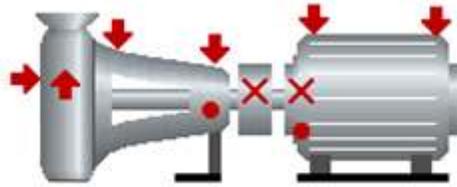
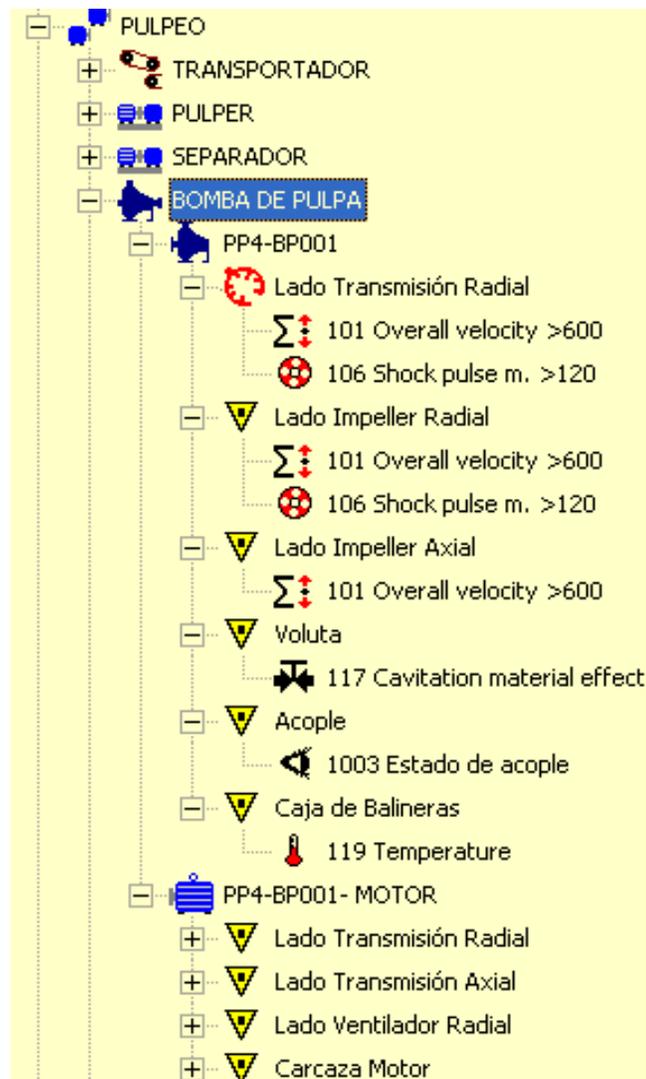


Figura 31. Acciones predictivas de la Bomba Centrífuga en OMNITREND



(OMNITREND)

Nomenclatura de las direcciones y los puntos de medición:

- Bomba Centrífuga

DIRECCIÓN	PUNTOS	MEDICIÓN
↓ Radial vertical a 90°	→ Lado Transmisión	→ $\Sigma$ ↓ ⊕
↓ Radial vertical a 90°	→ Lado Impeler	→ $\Sigma$ ↓ ⊕
→ Axial Horizontal a 0°	→ Lado Impeler	→ $\Sigma$ ↓
↑ Radial	→ Voluta	→ ⊕ ↓
× Estándar	→ Acople	→ ⊕ ↓
• Radial y Axial	→ Carcasa Bomba	→ ⊕ ↓

- Motor

DIRECCIONES	PUNTOS	MEDICIÓN
↓ Radial vertical a 90°	→ Lado transmisión	→ $\Sigma$ ↓
↓ Radial vertical a 90°	→ Lado ventilador	→ $\Sigma$ ↓ ⊕
× Radial horizontal a 0°	→ Lado transmisión	→ $\Sigma$ ↓ ⊕
→ Axial horizontal a 0°	→ Lado transmisión	→ $\Sigma$ ↓ ⊕
• Radial inferior	→ carcasa del motor	→ ⊕ ↓

### 3.8.4 Agitador

Los agitadores tienen una utilidad en este tipo de industria, ya que su función principal radica en no permitir que la pulpa se quede estancada, porque si se le permite a la pulpa estancarse, puede sufrir modificaciones en su estructura molecular, debido a los químicos introducidos al inicio del proceso. Si la pulpa permanece sin agitarse por un tiempo prolongado, esta puede llegar a descomponerse y generar malos olores además de se puede formar agua por descomposición de la celulosa que promoverá la corrosión en los equipos.

La función secundaria de los agitadores es permitir descargar un bache de producción proveniente del Pulper para almacenarse en el agitador, garantizando que haya una producción fluida.

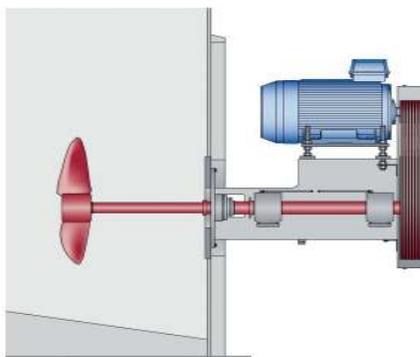
- Acciones predictivas en el Agitador

El agitador es un gran tanque construido en cemento, el cual es atravesado por un eje, que en su extremo tiene una propela, que es la encargada de cumplir con la agitación. Cuando se acciona el motor de transmisión, que es el encargado de conducir la fuerza necesaria para mover todo el peso de la pulpa, por medio del eje que se conecta a una polea transmisora por su inercia. Debido a la longitud del eje se deben ubicar dos chumaceras que permitan que el eje permanezca alineado y no produzca movimientos súbitos.

La configuración de transmisión en mención es la considerada para el análisis, seguimiento y monitoreo de las condiciones de estado, tanto para el motor, la polea y las dos chumaceras.

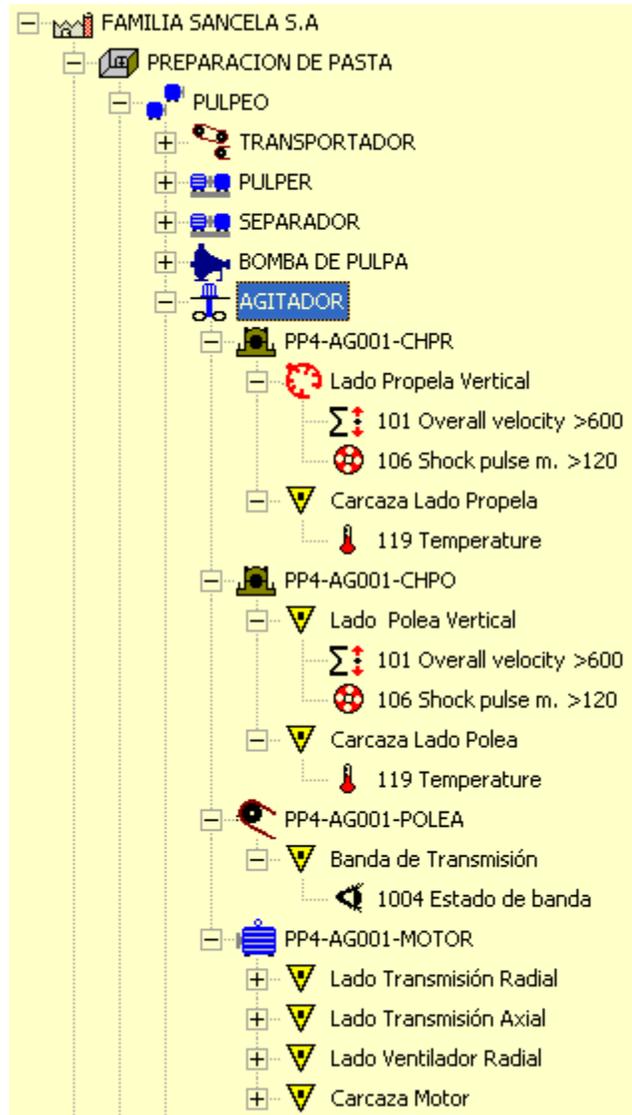
Las variables que se van a monitorear serán las vibraciones de cada elemento rotativo como el motor y la polea. También a cada chumacera, a estos últimos también les será monitoreado el estado de los elementos rodantes por medio de la técnica de impulsos de choque, para saber su condición.

Figura 32. Agitador



(HANDBOOK OF PAPER, 2006)

Figura 33. Desglose y acciones predictivas del Agitador en OMNITREND



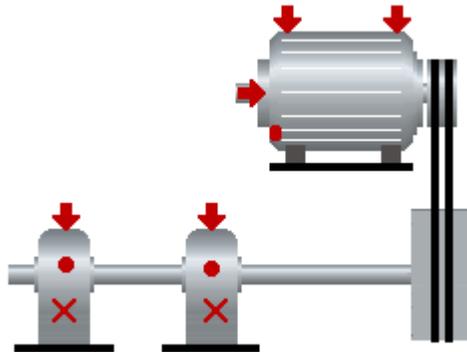
(OMNITREND)

- Puntos de medición sobre la transmisión del Agitador

Los puntos de medición son aplicados en las ubicaciones más críticas o donde ocurren las fallas más frecuentemente, aunque lo ideal es tener controlados todos los elementos posibles para evitar fallas inesperadas.

La figura 34 muestra como esta configurado la transmisión del Agitador, y también muestra los puntos propuestos para realizar las mediciones.

Figura 34. Puntos de Medición en el Agitador



Nomenclatura de las direcciones y los puntos de medición

- Chumacera Lado Propela

DIRECCIONES		PUNTOS		MEDICIÓN
✗ Radial	→	Horizontal a 0°	→	Σ ∩ ⊕
↓ Radial	→	Vertical a 90°	→	Σ ∩ ⊕
● Radial inferior	→	Carcasa Chumacera	→	⊕

- Chumacera Lado Polea

DIRECCIONES		PUNTOS		MEDICIÓN
✗ Radial	→	Horizontal a 0°	→	Σ ∩
↓ Radial	→	Vertical a 90°	→	Σ ∩ ⊕
● Radial inferior	→	Carcasa Chumacera	→	⊕

- Polea

DIRECCIÓN	PUNTO	MEDICIÓN
• Banda de transmisión	→ Banda en V	→

- Motor

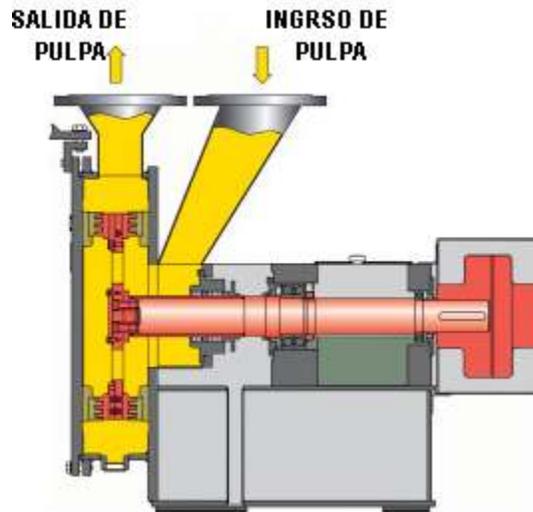
DIRECCIONES	PUNTOS	MEDICIÓN
↓ Radial vertical a 90°	→ Lado transmisión	→ $\Sigma$ ↓
↓ Radial vertical a 90°	→ Lado ventilador	→ $\Sigma$ ↓
× Radial horizontal a 0°	→ Lado transmisión	→ $\Sigma$ ↓
→ Axial horizontal a 0°	→ Lado transmisión	→ $\Sigma$ ↓
• Radial inferior	→ carcasa del motor	→

### 3.8.5 Despastillador

El objetivo del Despastillador es romper los pedazos pequeños u hojuelas de la pulpa o de las fibras individuales que no estén desintegradas. Garantizando que la hojuela no contenga ningún residuo o impureza, en algunos casos como mínimo debe de estar por debajo del 5%, esto es debido a la materia prima ingresa al proceso productivo. Se debe ser estricto con el criterio de limpieza, debido a que impacta directamente la calidad del papel; pero con estos bajos márgenes de impureza se busca ahorrar la materia prima, tratándola de aprovechar al máximo; además, también se apunta hacia un funcionamiento de las máquinas eficiente durante el proceso.

El Despastillador es útil para ubicarlo después del proceso de pulpeo, o mejor aún, utilizarlo para la preparación de papel recuperado, o de pulpa virgen.

Figura 35. Despastillador

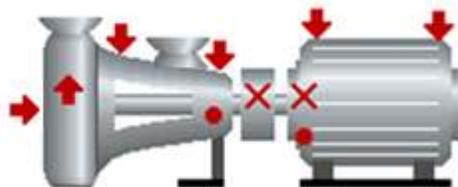


(HANDBOOK OF PAPER, 2006)

- Puntos de medición sobre la transmisión del Despastillador

Los puntos de medición son aplicados en las ubicaciones más críticas, donde ocurren las fallas más frecuentemente; aunque lo ideal es tener controlados todos los elementos posibles para evitar fallas inesperadas.

Figura 36. Puntos de Medición en el Despastillador



## Nomenclatura de las direcciones y los puntos de medición

- Despastillador

DIRECCIÓN		PUNTOS		MEDICIÓN
↓ Radial vertical a 90°	→	Lado Transmisión	→	$\Sigma$ ↓ ⊕
↓ Radial vertical a 90°	→	Lado Impeler	→	$\Sigma$ ↓ ⊕
→ Axial Horizontal a 0°	→	Lado Impeler	→	$\Sigma$ ↓
↑ Radial	→	Voluta	→	⊕ ⊖
× Estándar	→	Acople	→	⊕ ⊖
• Radial y Axial	→	Carcasa Bomba	→	⊕

- Motor

DIRECCIONES		PUNTOS		MEDICIÓN
↓ Radial vertical a 90°	→	Lado transmisión	→	$\Sigma$ ↓
↓ Radial vertical a 90°	→	Lado ventilador	→	$\Sigma$ ↓ ⊕
× Radial horizontal a 0°	→	Lado transmisión	→	$\Sigma$ ↓ ⊕
→ Axial horizontal a 0°	→	Lado transmisión	→	$\Sigma$ ↓ ⊕
• Radial inferior	→	carcasa del motor	→	⊕

### 3.8.6 Screen

El Screen tiene como objetivo retirar las sustancias sólidas que puedan interferir en el proceso, ya que estas impurezas son de diferente tamaño, de diferente forma y diferente deformación, con respecto a las fibras de pulpa.

Estas partículas pueden ser plástico o algunas escamas del mismo papel.

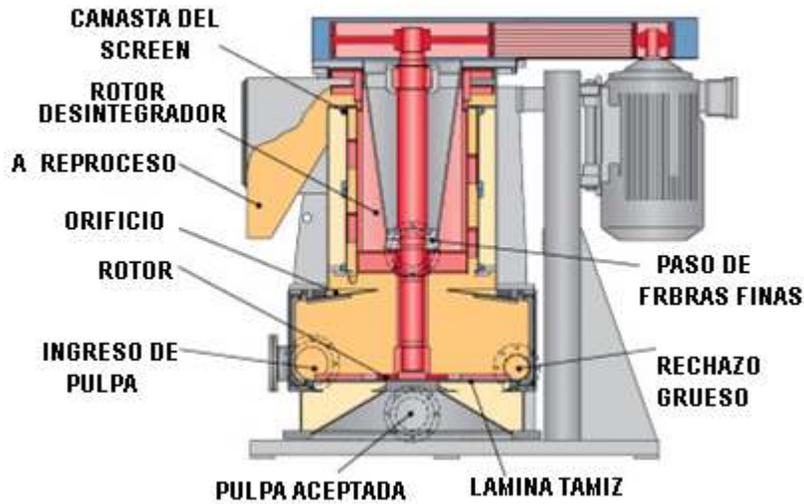
Las impurezas pasan por una lámina con unos agujeros o unas rejillas con aberturas que son más grandes que las fibras, pero de menor tamaño que las impurezas que deberán ser eliminadas, estas permanecer entonces en la lámina

metálica para luego ser rechazadas por el ducto de salida, junto con alguna cantidad de fibra que se encuentra suspendida dentro del Screen

Los rotores internos del Screen juegan un papel importante, ya que ejercen una fuerza específica, para no eliminar impurezas con menor tamaño que los agujeros de la lámina tamiz, ya que se podrían desintegrar y por consiguiente pasar por los agujeros contaminando al siguiente proceso. Las diferencias de presión a través de los agujeros de la lámina, obligan a pasar las fibras por los agujeros y realizar una mejor selección. A estos equipos se le debe impedir que tengan contacto con fibras pegajosas ya que son de difícil remoción, haciendo perder eficiencia al Screen.

Los Screen son usados en diferentes partes del proceso, ya que la limpieza se divide en dos, la primera es la limpieza gruesa y la segunda es la limpieza fina. En ambas limpiezas se usan los mismos equipos, pero la diferencia radica en que para la primera se usan láminas tamiz con agujeros más grandes que los de la segunda, y el rotor interno ejerce mayor fuerza para desintegrar partículas más grandes; mientras que para la segunda limpieza o limpieza fina, el rotor disminuye su fuerza y los agujeros disminuyen de tamaño, para solo dejar pasar fibras con un tamaño específico

Figura 37. Screen



(HANDBOOK OF PAPER, 2006)

- Puntos de medición sobre la transmisión del Screen

Los puntos de medición del Screen se encuentran en proceso evaluativo, ya que para poder monitorear este equipo, se requiere de puntos fijos de medición que adicionalmente deben ir conectados con sondas de varios metros de longitud, para transportar las señales provenientes del equipo a una ubicación de fácil acceso, lo anterior es porque este equipo es hermético para poder mantenerse presurizado y no sufrir variaciones, que pueden perjudicar el proceso, por ello no hay forma de analizar ni de monitorear las variables de condición de estado.

Los equipos de difícil medición están siendo estudiados para poder implementar otra clase de herramientas predictivas, que no sea portable sino que tenga puntos fijos de medición en cada elemento de interés, generando un extra-costos para adquirir nuevos equipos. En el momento se está aplicando únicamente mantenimiento programado para intervenir el equipo, estrictamente cuando se encuentre detenido.

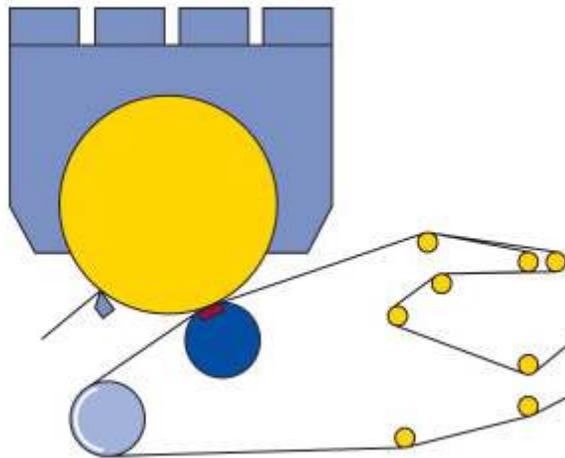
### 3.9 MÁQUINA DE PAPEL

El proceso en la máquina de papel inicia en la cabeza de máquina, que es la encargada de recibir la pulpa procesada en el paso anterior, para esparcir la pulpa como una gran capa de papel, sobre una mesa de formación, que es la encargada de transportar la hoja de papel hacia los procesos siguientes. De la etapa de formación, la hoja de papel se transfiere a una tela especial llamada fieltro, que es la encargada de llevar la hoja a la etapa de prensado y de succión.

La hoja pasa por el rodillo prensa para que el agua remanente del proceso sea extraída, y esta hoja pueda lograr una mejor consistencia y resistencia, que se verá reflejada en el producto final. Luego de que la hoja de papel pasa por la etapa de presión, el mismo fieltro es el encargado de transportar la hoja de pulpa, a la etapa de succión, la cual se encarga de succionar el papel para secar y extraer la mayor cantidad de agua posible, para que la pulpa llegue lo más seca posible al siguiente proceso.

El proceso de secado garantiza, que la hoja de papel salga completamente libre de humedad, y pueda ser enrollada en otro cilindro rotatorio. La función de secado es realizada por un rodillo de gran tamaño, en que el vapor sobrecalentado que proviene de la caldera pasa por su interior, haciendo que el vapor transmita la temperatura a la superficie del rodillo, y así se alcance una temperatura superior a los 100°C

Figura 38. Máquina de papel

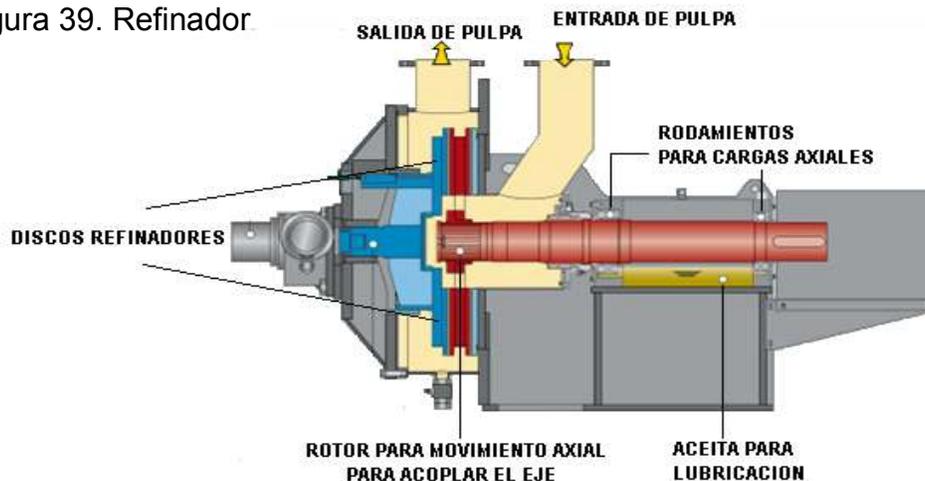


(HANDBOOK OF PAPER, 2006)

### 3.9.1 Refinador

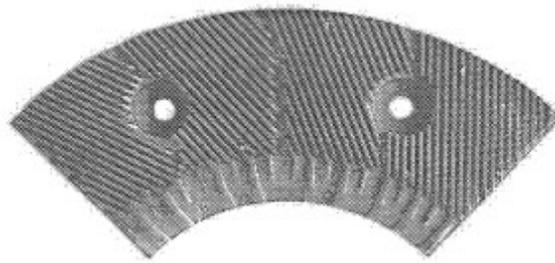
El refinador tiene como objetivo diseñar las fibras según los requerimientos de la cabeza de máquina de la planta papelera, y también las propiedades de acabado superficial del producto final que se desea tener. Las propiedades del fieltro van de la mano con el diseño de la fibra realizada por el refinador, haciendo ver que este proceso es de mucha importancia para alcanzar una alta calidad.

Figura 39. Refinador



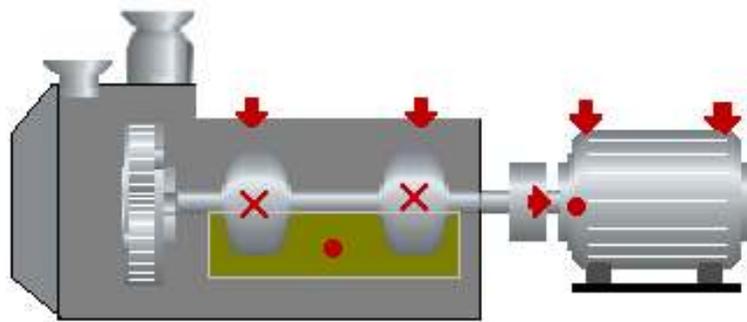
(HANDBOOK OF PAPER, 2006)

Figura 40. Discos de Refinación



(HANDBOOK OF PAPER, 2006)

Figura 41. Puntos de medición sobre la transmisión del Refinador



- Chumacera Lado Operación

DIRECCIONES		PUNTOS		MEDICIÓN
✗ Radial	→	Horizontal a 0°	→	Σ ∴ ⊕
↓ Radial	→	Vertical a 90°	→	Σ ∴ ⊕
● Radial inferior	→	Carcasa Refinador	→	⊖

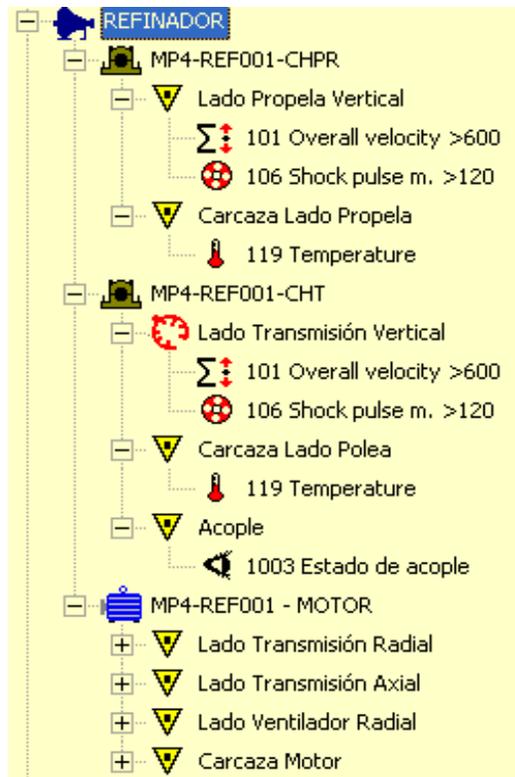
- Chumacera Lado Polea

DIRECCIONES	PUNTOS	MEDICIÓN
✗ Radial	Horizontal a 0°	→ $\Sigma$
↓ Radial	Vertical a 90°	→ $\Sigma$
● Radial inferior	Carcasa Refinador	→

- Motor

DIRECCIONES	PUNTOS	MEDICIÓN
↓ Radial vertical a 90°	Lado transmisión	→ $\Sigma$
↓ Radial vertical a 90°	Lado ventilador	→ $\Sigma$
✗ Radial horizontal a 0°	Lado transmisión	→ $\Sigma$
➔ Axial horizontal a 0°	Lado transmisión	→ $\Sigma$
● Radial inferior	carcasa del motor	→

Figura 42. Desglose y acciones predictivas del Refinador en OMNITREND

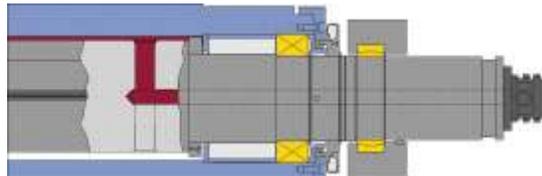


### 3.9.2 Rodillo de presión

El objetivo del rodillo de presión es eliminar una cantidad importante de agua remanente, de la película del papel a través de la presión necesaria y por medio de una tela especial llamada fieltro, transferirlo hacia una cara de un rodillo secador llamado Yankee para que el papel este seco y así poderlo enrollar.

La importancia es que este rodillo ayude a exprimir la máxima cantidad de agua posible para luego facilitar el proceso de secado. Las máquinas de papel que producen a grandes velocidades requieren que este proceso sea muy eficiente, debido a que si no lo es, el cilindro secador Yankee no va a tener la temperatura suficiente para cumplir el objetivo de secar el papel, haciendo que en el peor de los casos se desperdicie papel, al realizar pruebas o le toque incrementar la presión de vapor proveniente de la caldera, para poder lograr dicho fin, incrementando el costo energético.

Figura 43. Rodillo de Presión



(HANDBOOK OF PAPER, 2006)

Figura 44. Puntos de medición sobre EL Rodillo de Presión



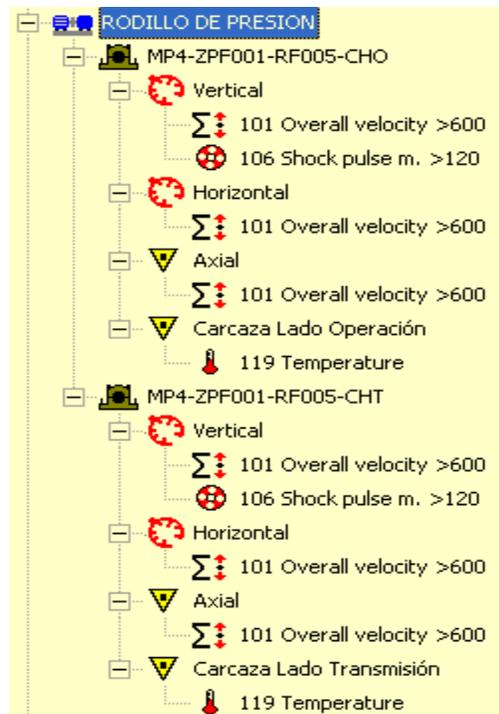
- Cumacera Lado Operación.

DIRECCIONES	PUNTOS	MEDICIÓN
→ Axial	Horizontal a 0°	Σ
↑ Radial	Vertical a 90°	Σ ⊕
× Radial	Horizontal a 0°	Σ
• Radial	Carcasa Chumacera	🌡️

- Chumacera Lado Transmisión

DIRECCIONES	PUNTOS	MEDICIÓN
← Axial	Horizontal a 0°	Σ
↑ Radial	Vertical a 90°	Σ ⊕
× Radial	Horizontal a 0°	Σ
• Radial	Carcasa Chumacera	🌡️

Figura 45. Acciones predictivas del Rodillo de Presión en OMNITREND



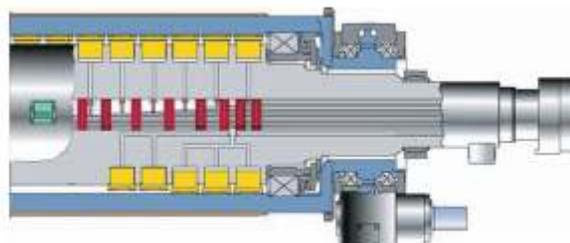
### 3.9.3 Rodillo de succión

El rodillo de succión tiene como principal objetivo, como su nombre lo dice, absorber el agua resultante de la presión ejercida por el rodillo anterior y evitar que el papel reabsorba el agua exprimida en el proceso, para permitir que la transferencia de la hoja sea mucho más eficiente, para ello, este rodillo cuenta con una caja de vacío en su interior, y de esta forma pueda realizar su función.

El efecto de vacío se logra por medio de una bomba de vacío que tiene que estar conectada al rodillo, para que pueda absorber el agua y ayude a secar el aire que existe entre la hoja de papel y el fieltro.

La absorción del agua es proporcional a la capacidad de vacío de la bomba a la que se conecta el rodillo, también la capacidad de absorción depende de las condiciones del rodillo, ya que si este tiene los agujeros taponados, se reduce la capacidad de succión en el mismo. Por otro lado si el estado de sus componentes como los rodamientos o el recubrimiento de un caucho especial se encuentran en mal estado, el rodillo sufrirá vibraciones ocasionando a que la succión no sea uniforme.

Figura 46. Rodillo de Succión



(HANDBOOK OF PAPER, 2006)

Figura 47. Puntos de medición sobre EL Rodillo de Succión.



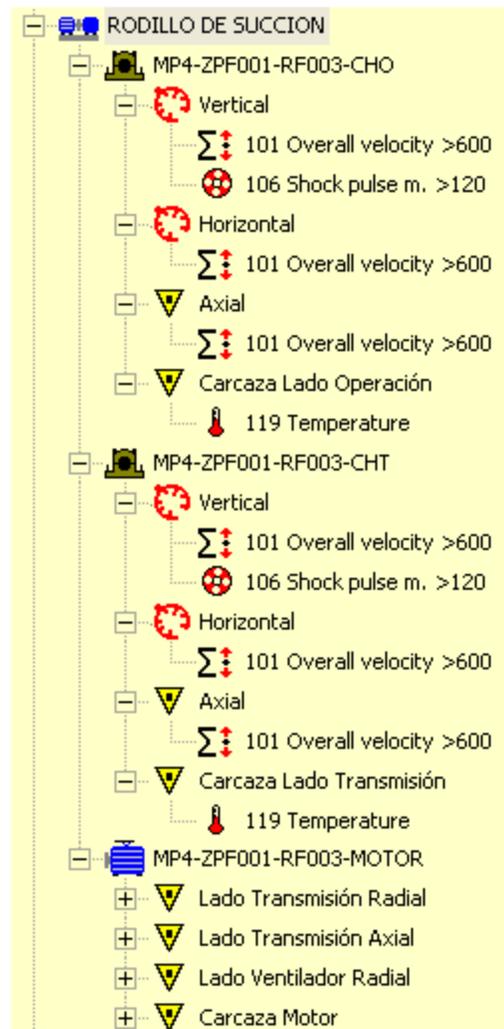
- Cumacera Lado Operación.

DIRECCIONES	PUNTOS	MEDICIÓN
→ Axial	Horizontal a 0°	→ $\Sigma$
↑ Radial	Vertical a 90°	→ $\Sigma$
× Radial	Horizontal a 0°	→ $\Sigma$
• Radial	Carcasa Chumacera	→

- Chumacera Lado Transmisión

DIRECCIONES	PUNTOS	MEDICIÓN
← Axial	Horizontal a 0°	→ $\Sigma$
↑ Radial	Vertical a 90°	→ $\Sigma$
× Radial	Horizontal a 0°	→ $\Sigma$
• Radial	Carcasa Chumacera	→

Figura 48. Acciones predictivas del Rodillo de Succión en OMNITREND



### 3.9.4 Bomba de vacío

La bomba de vacío es la encargada de succionar el agua que pasa por la hoja de papel y de retirar el remanente, para facilitar el proceso de secado. Esto ocurre cuando se conecta la bomba al rodillo de succión, por medio de una red de mangueras.

Figura 49. Bomba de Vacío



(HANDBOOK OF PAPER, 2006)

Figura 50. Puntos de medición sobre la Bomba de Vacío

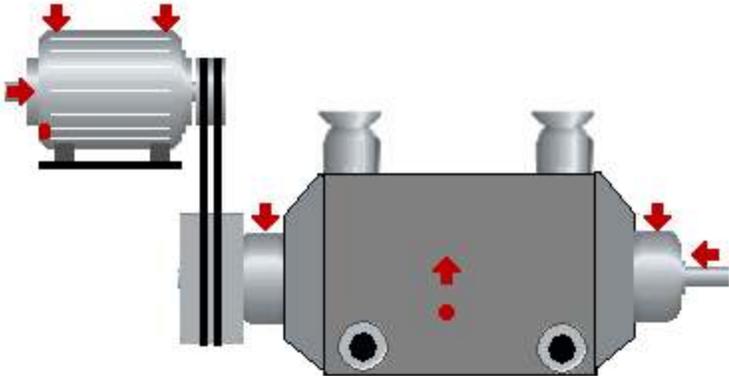
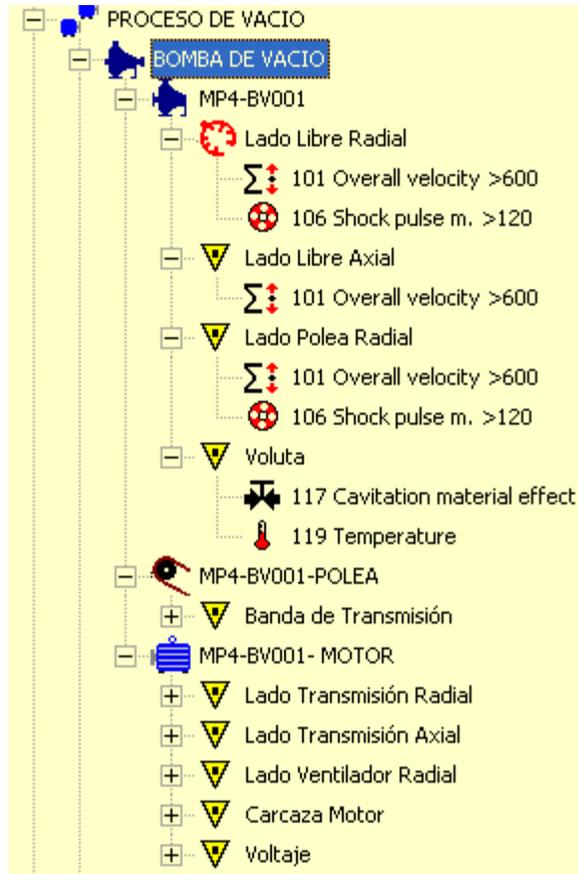


Figura 51. Acciones predictivas de la Bomba de Vacío en OMNITREND



(OMNITREND)

### 3.10 ANÁLISIS DE LAS FALLAS

El programa de mantenimiento predictivo sirve para detectar problemas en la maquinaria y poder así reconocer que en algún momento se puede incrementar la falla, pero la ventaja de este mantenimiento es el análisis que se le aplica según los síntomas que muestra una máquina, ya que por medio del análisis se es capaz de localizar la causa del problema, para luego entrar a la etapa de corrección, en el momento y en la forma más conveniente, buscando el mínimo costo posible. Por eso resulta necesario realizar un seguimiento constante y efectivo.

La toma de mediciones en las máquinas se hace en diferentes direcciones, como se han planteado en el numeral anterior, ya que cada punto de medición es protagonista para la evaluación y el análisis del estado de una máquina. Se realiza este análisis de mediciones para todos los casos que se exponen gráficamente en una forma general, porque las mediciones radiales horizontales, radiales verticales y las mediciones axiales, permiten determinar diferentes síntomas de falla en cada máquina y por consiguiente a cada tren de máquina se le realizan mediciones en todas las direcciones mencionadas.

Los datos históricos de cada máquina son el punto de partida de este mantenimiento, para que sea posible detectar un problema fácilmente cuando la tendencia de valores aumente ostensiblemente. Después se pasa a analizar el problema detectado, hasta tratar de llegar a la causa raíz del problema, exponiendo cualquier posible causa. Si no se cuenta con valores que le permitan al departamento de mantenimiento tomar alguna decisión, se deberán tomar los criterios de los fabricantes, para después apoyarse en las tablas de estado, mostradas en el capítulo anterior, tanto para vibraciones como para rodamientos.

Las vibraciones se recomiendan medir dependiendo el tipo de máquina que se tiene, en el caso específico, se cuenta con equipos que están en un rango de 600 a 60000 ciclos por minuto (CPM) lo cual dice la literatura que se debe medir en el formato RMS ya que su parámetro de medición de frecuencia es la velocidad, pero también se deben tener en cuenta las bajas frecuencias que oscilan por debajo de los 600 CPM, regido por el parámetro desplazamiento y para las altas frecuencias que están por encima de los 60000 CPM con el parámetro aceleración.

La velocidad de la vibración tiene una relación directa con la severidad de la vibración, por eso se destaca en todas la mediciones, y su unidad de medida es

en mm/s, por otro lado la aceleración esta ligada con la fuerza que provoca la vibración. (FERTIS 1995)

La energía de los impulsos de choque proporciona una valiosa información a la hora de entender las mediciones, porque estos impulsos de energía pueden provenir de los impulsos de choque de los rodamientos a causa de sus defectos superficiales en los elementos rodantes, al igual que de los defectos superficiales de los engranajes, por el rozamiento, por el contacto de metal con metal, en todas las máquinas rotativas; Y yendo más allá, la cavitación también produce estos impulsos de choque por la turbulencia causada por los fluidos.

La medición de los impulsos de choque permite detectar rápidamente las vibraciones a altas frecuencias, que son características de los defectos en los rodamientos o engranajes mencionados anteriormente.

La gran ayuda del mantenimiento predictivo es cuando se tiene identificado y estudiadas las características de funcionamiento de las máquinas, como por ejemplo las cargas y las RPM de funcionamiento, los tipos de rodamientos o de engranajes si es el caso, los tipos de acoplamientos, los apoyos, los sonidos, entre otros. (GUEMISA@2006)

Las máquinas en correcta operación arrojan valores que tienden a aumentar levemente con el paso del tiempo, pero se debe de estar atento cuando en algún instante los valores aumentan en forma inesperada, desde ese mismo instante se puede decir que hay indicios de falla.

Los problemas son generados por desequilibrio, alineación, daños en rodamientos, engranajes, daños eléctricos. Donde todos los anteriores producen vibraciones.

### 3.10.1 Desequilibrio

El desequilibrio normalmente se muestra en las direcciones radiales horizontales y verticales con un mayor valor de vibración, en las máquinas con ejes de rotación ubicados horizontalmente.

Las causas son producidas por el desgaste radial de una superficie que no es uniforme, ocurren en rotores de motores, donde su diámetro es mucho mayor que su largo. Para solucionar las fallas por desbalance resulta necesario tener un equipo especializado, que pueda realizar la acción predictiva. Esta acción consta en poner una masa con cierto peso para compensar el desbalance. Para esta actividad se recomienda llamar al personal experto ya que se gana mucho tiempo, porque este personal capacitado indica la ubicación precisa donde se colocará la masa con el peso indicado.

El desbalance dinámico ocurre cuando existe un desgaste simultáneo sobre una superficie y pasa cuando en ambas direcciones tanto radiales como axiales existe dicho desgaste.

Las mediciones deben de ir acompañadas de un análisis previo, ya que se deben chequear antes otras condiciones de la máquina. Es necesario ver si el eje está doblado o que el rotor no tenga una excentricidad (BIANCHI, 2006).

### 3.10.2 Desalineación

La desalineación es una causa de falla muy común en la industria, ya que en la vida práctica hay una alta dificultad en alinear dos ejes y sus respectivos rodamientos, sin que no existan vibraciones generadas por fuerzas originadas por el mal montaje. Esto es muy común en la industria ya que la mayoría carece de herramientas especializadas por su alto costo, para lograr una buena alineación (A-MAQ@, 2005).

La desalineación genera mediciones de vibración altas, así como también la generan cuando se tienen poleas excéntricas o bandas en mal estado.

Existen dos clases de desalineación que son:

Figura 52. Desalineamiento en paralelo



(MANTONLINE@,2007)

La vibración por desalineamiento en paralelo tiene mayor magnitud en la dirección radial. Ya que los ejes pueden estar paralelos pero no están colineales, para ello se debe de alinear el conjunto para corregir la falla.

El desalineamiento entre chumaceras es muy común, en una transmisión con poleas se puede ver que debido al desalineamiento le es difícil al eje ubicarse correctamente, lo que genera vibraciones perjudiciales al sistema en sentido axial y radial. Para solucionar el problema se debe de inspeccionar que las chumaceras queden completamente paralelas entre sí.

Figura 53. Desalineamiento Angular



(MANTONLINE@,2007)

La desalineación angular ocurre entre dos elementos que están acoplados entre sí, este caso se ve muy comúnmente cuando el eje de un motor y el eje conducido unidos a través de un acople, no están paralelamente ubicados. Este fenómeno se detecta cuando existen altas vibraciones en sentido axial. Una posible solución al problema es alineando el motor con el rotor, para ello existen herramientas como equipos de alineación

A la hora de analizar los resultado se presenta una dificultad muy confusa, por lo que se debe de tener cuidado, ya que la magnitud de la vibración de un desalineamiento angular es muy parecido a la vibración de un eje torcido. Estos tipos de falla pueden arrojar más altas vibraciones en la dirección axial que en la radial (AZIMADLI@,2009)

Los desalineamiento también pueden ocurrir entre un eje y su respectivo rodamiento, no como se tiende a pensar, que generalmente el desalineamiento esta directamente ligado a los acoplamientos de dos componentes como lo son una bomba y un motor, esta causa de vibración solo se eliminará posicionando correctamente la ubicación del rodamiento.

### 3.10.3 Engranajes

Los problemas en los engranajes producen vibración y se producen comúnmente porque existe un desgaste excesivo en los dientes de los piñones, por fallas de lubricación, elementos extraños en los dientes o por mal acoplamiento entre engranes. Esta causa de falla casi siempre va acompañada por un ruido proveniente de los engranes. Esta falla también puede ser monitoreada o descubierta desde otros puntos de medición (RAO,1996).

El método para solucionar la falla es cambiando o rectificando el engranaje, pero si la falla persiste es debido a existe una desalineación en el eje transmisor o puede que haya una excentricidad en el engranaje.

Los engranajes sufren también de sobre cargas, por lo que es necesario realizar el análisis siempre en la condición de máxima carga de la máquina, ya que si resulta estar en el rango normal, toca examinar algún otro elemento que esté aumentado el torque que le llega a los dientes de los engranajes, los elementos que más perjudican aumentando el torque son, los rodamientos, los bujes defectuosos, la mala lubricación o irregularidades en el rotor conducido, ya que interfiere con el correcto funcionamiento del sistema.

#### 3.10.4 Rodamientos

Los altos valores de los impulsos de choque permiten detectar las fallas más frecuentes en un rodamiento, que generalmente ocurren por, los defectos en los elementos rodantes, pistas de rodamiento o por la jaula de retención de los mismos o por problemas de lubricación, como solidificación de la grasa, goteo de la misma, por exceso de temperatura, dilución por humedad debido todo esto a una mala selección de la grasa lubricante o a exceso de aplicación de la misma. Dichas fallas generan al interior del rodamiento fuerzas que son transmitidas al lugar donde se albergan, o peor aún, si son de de mayor gravedad, se transmite a toda la estructura de la máquina. Estos tipos de falla también se pueden intuir por el molesto ruido producido por el rodamiento. (SKF,1989)

Las ecuaciones que permiten calcular las frecuencias de los defectos en los elementos de los rodamientos son las siguientes:

Ecuación 6. Defecto de la jaula o de una bola.

$$F = \frac{D_i}{D_i + D_o} x RPM$$

Ecuación 7. Defecto de una bola.

$$F = \frac{D_0}{D_b} \times \frac{D_i}{D_i + D_0} \times RPM$$

Ecuación 8. Defecto de la pista de deslizamiento interna.

$$F = \frac{D_o}{D_i + D_o} \times M \times RPM$$

Ecuación 9. Defecto de la pista de deslizamiento externa.

$$F = \frac{D_i}{D_i + D_o} \times M \times RPM$$

Donde:

$D_i$  : Diámetro de la pista de deslizamiento interna.

$D_o$  : Diámetro de la pista de deslizamiento externa.

$D_b$  : Diámetro de la bola.

$M$  : Cantidad de bolas en el rodamiento.

$RPM$  Velocidad de rotación del eje.

$F$ : Frecuencia del defecto en Ciclos por Minuto.

Los rodamientos son de vital importancia para el funcionamiento de una máquina, y su fallo puede generar graves problemas, por eso se debe tener especial cuidado a la hora de su montaje, también se debe procurar tener una lubricación adecuada. Otro tipo de fallas presentes en los rodamientos es por los defectos internos de la fabricación, también por una carga no admisible que supere la capacidad del rodamiento instalado, por un considerable incremento en la

temperatura que sobrepase la barrera de los 100°C y la desalineación. Todas las anteriores son las fallas más comunes (GUEMISA@2006).

Las técnicas de vibraciones y de estado de rodamientos no son exactas pero son capaces de encontrar las fallas en las máquinas, pudiendo anticiparse a una avería. Una gran ventaja de un buen monitoreo de condiciones es que se pueden eliminar las fallas imprevistas, en los equipos a los que se monitorea, además de eso poder conocer el estado de las máquinas en cualquier instante, permitiendo reducir los costos económicos por evitar las fallas imprevistas, las paradas en la planta de producción o el cambio de elementos que todavía pueden seguir funcionando (A-MAQ@,2008).

### 3.10.5 Motores

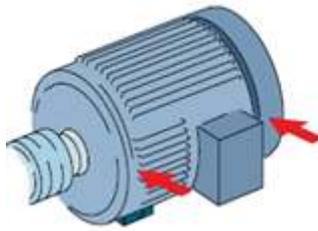
Los motores son las máquinas rotativas más comunes en cualquier planta de producción, en el mismo sentido se establecen todos los tipos de falla, según la dirección de la medición. Que entre ellas están:

- Mediciones radiales Horizontales

El incremento inesperado de este tipo de mediciones permite analizar algunos tipos de falla en esta dirección como:

- Alabe del ventilador roto o fracturado.
- Recubrimiento de suciedades o incrustaciones.
- Pérdida de los pesos del balanceo.

Figura 54. Medición Radial Horizontal en un motor



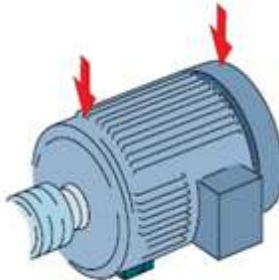
(ANALIZAR-RBM@2006)

- Mediciones Radiales Verticales

El rápido incremento de los valores de condiciones de estado en esta dirección es debido a:

- Juego excesivo en los rodamientos
- Soltura en el anclaje
- El soporte es débil para el motor

Figura 55. Medición Radial Vertical en un motor



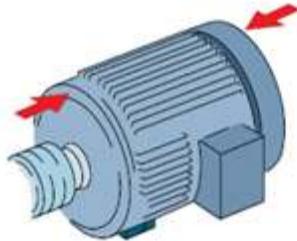
(ANALIZAR-RBM@2006)

- Mediciones Axiales

Los cambios drásticos de los valores de las condiciones de estado en esta dirección, permite sospechar algún tipo de falla como:

- Desalineamiento en el eje.
- Daño en el rotor.
- Montaje defectuoso
- Eje doblado.

Figura 56. Mediciones Axiales en un motor



(ANALIZAR-RBM@2006)

## 4. IMPLEMENTACIÓN Y MEDICIÓN DE CONDICIÓN DE ESTADO

### 4.1 OBJETIVO 3

Medir con el Vibrotip y otras herramientas predictivas las variables más importantes de acuerdo a las características de cada máquina del molino de producción papelerero, con acciones que Analicen Vibraciones, condición de rodamientos, Temperatura, RPM, Cavitación en bombas, entre otras.

### 4.2 INTRODUCCIÓN

La tecnología esta en constante desarrollo, creando y evolucionando sus técnicas y aplicaciones a nivel mundial. El mantenimiento y sobretodo el mantenimiento predictivo no escapa a este desarrollo, ya que la predicción y erradicación de fallas requiere de elementos tecnológicos para la medición de variables de condición de estado que nos den un conocimiento de posibles fallos.

Los aparatos aplicados al desarrollo de medición de variables de condición pueden variar según la necesidad o los requisitos que se deben cumplir. Algunas aplicaciones son la vibración, condición de rodamientos, lubricación, RPM, temperatura.

Las herramientas usadas en los casos más comunes para el mantenimiento predictivo son; monitoreo de vibraciones, termografía, monitoreo ultrasónico, chequeo de espesores, análisis de gas, inspecciones visuales entre otros (ACIEM@2002).

El comercio mundial ofrece diferentes herramientas para la medición de las diferentes variables de condición de estado; para este caso específico sin

necesidad de extenderse en la búsqueda de herramientas de otras herramientas de medición que podrían ser útiles para la compañía Familia Sancela, el enfoque de este trabajo es sobre la explicación y aplicación del Vibrotip que fue la herramienta adquirida por la empresa para todo su desarrollo en las mediciones. Para que fuera el pilar de su programa de mantenimiento.

Los molinos de papel requieren la toma de muchas variables de condición, pero es difícil e implica un alto costo tener una herramienta para cada tipo de variable y que además se adapten al ambiente extremo y a los diferentes componentes que ellos tienen.

Las variables utilizadas comúnmente para la medición de condición de estado de los molinos son; vibraciones, temperaturas, estado de rodamiento, y RPM. Por lo tanto la empresa seleccionó un equipo que integrara la mayoría de estas variables, además que las mediciones tengan un alto nivel de confiabilidad para tomar decisiones más acertadas.

La definitiva adquisición del aparato VIBROTIP de la empresa PRÜFTECHNIK, implica que no se debe seleccionar las herramientas para realizar estas mediciones, pero si requiere un alto conocimiento de las aplicaciones, herramientas y todo lo relacionado con el funcionamiento del VIBROTIP.

#### 4.3 PRÜFTECHNIK

La empresa PRÜFTECHNIK se dedica al desarrollo e invención de tecnologías para mantenimiento, ofrece productos relacionados con alineación, monitoreo de condiciones, ensayos no destructivos, entre otros, se encuentra en más de 70 países y sus aplicaciones pueden ser usadas en casi cualquier tipo de empresa de producción.

#### 4.3.1 Equipos

Las herramientas creadas por la compañía PRÜFTECHNIK, requieren de diferente nivel de especialización y conocimiento para su aplicación, ya que tienen distintas herramientas para medir diferentes variables y niveles de especialización. A continuación se muestra un resumen de algunos de los sistemas que ofrece esta compañía desde sus equipos más básicos hasta los más avanzados.

- Vibrotip

El Vibrotip es un instrumento de medición portátil, que posee sensores incorporados para la medición de 5 variables de condición de estado diferentes; no requiere de cables para su medición, pero se puede usar elementos como el VIBCODE<sup>7</sup> y otros sensores para guardar sus datos y descárgalos al software OMNITREND.

VARIABLES MEDIDAS POR VIBROTIP:

- Vibración
- Condición de rodamientos
- Cavitación
- Temperatura
- RPM

- Vibscanner

El Vibscanner es un instrumento para la toma de medidas y el diagnóstico de las variables de condición de estado. Para este equipo no requiere tantos cambios de los transductores, ya que tiene todos los elementos internos, además que puede almacenar datos y descargarlos al OMNITREND.

---

<sup>7</sup> VIBCODE: Acelerómetro para medir las condiciones de estado, con un sistema de identificación inteligente.

- Smartscanner

El Smartscanner es el sistema más versátil ofrecido por la empresa PRÜFTECHNIK, combina los sistemas de análisis del Vibscanner y los complementa con las opciones de alineación y de precisión de sistema óptico.

- Vibxpert

El Vibxpert es un equipo de alto rendimiento, muy usado en industrias de producción de energía, petroquímicas, pulpa y papel, entre otras, recoge los datos de análisis en campo sin necesidad de bajarlos al programa, permite las funciones del Vibscanner con otros nuevos complementos.

Figura 57. Vibscanner



- Velocidad Y aceleración
- Condición del cojinete
- RPM
- Temperatura
- Cavitación
- Corriente
- Voltaje
- ICP<sup>8</sup>
- Inspecciones visuales

Figura 58. Smartscanner



- Vibración de la máquina
- Equilibrio horizontal de la alineación
- Condición del cojinete
- RPM
- Engranaje
- Alineación del tren de la máquina
- Temperatura
- Cavitación
- Alineación vertical
- Colección de datos

Figura 59. Vibxpert



- Adquisición de datos
- Evaluación completa del sitio
- Evaluación completa en el sitio.
- Colección de datos ruta predefinida
- Colección de datos fuera de ruta
- Balaceo dinámico en 1 ó 2 planos
- Conexión de múltiples sensores.
- Set-up
- (PRÜFTECHNIK@1998)

---

<sup>8</sup> ICP: Interruptor de control de potencia

Las herramientas tienen diferentes niveles de aplicación, en el resumen que se muestra anteriormente se puede ver algunas de sus aplicaciones; ahora el enfoque será sobre el Vibrotip, como sistema seleccionado por Familia Sancela, para la medición de variables de condición estado.

#### 4.4 IMPLEMENTACIÓN VIBROTIP

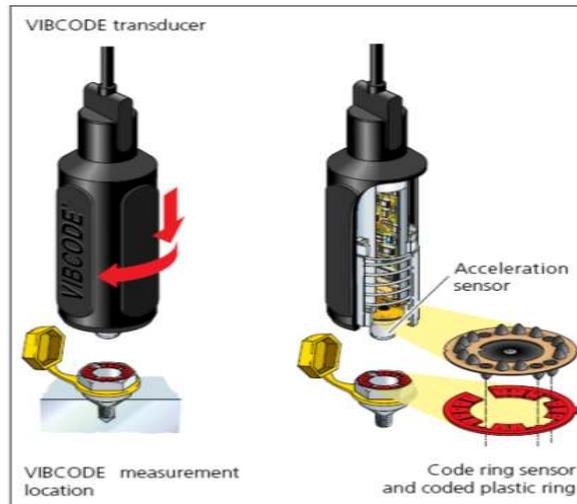
Los numerales 1.6, 1.8, 1.9, 1.10, 1.11 explican la utilidad del Vibrotip, sus sensores internos y externos, el tipo de variable, sus valores, unidades, normas que lo rigen entre otras cosas. Adicional a lo que se ve en estas secciones se debe de agregar otros tipos de sensores que utiliza este sistema para medición de variables.

##### 4.4.1 VIBCODE

El VIBCODE es un sistema transductor que automáticamente identifica las medidas a tomar en un punto establecido. El VIBCODE es un acelerómetro que toma las señales de alta frecuencia en los niveles de vibración en una máquina o la condición de rodamientos. Este sistema viene con un anillo plástico al cual se le asigna un código único dado por OMNITREND y así identificar las variables en ese punto específico.

La sección sobre el manejo del software OMNITREND explica como se adquiere los códigos VIBCODE. A continuación se muestra la figura del sistema VIBCODE.

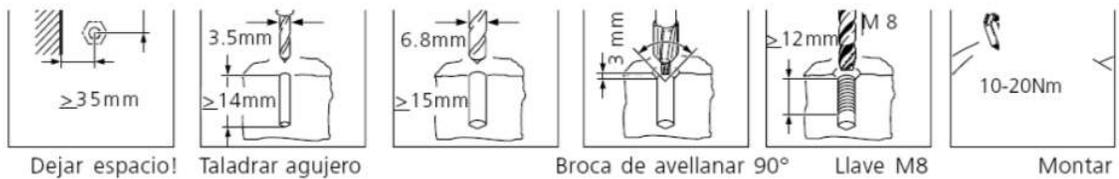
Figura 60. VIBCODE



(PRUFTECHNIK,2008 )

El sistema requiere la implementación y perforación de los tornillos VIBCODE, bajo unos rangos específicos mostrados por el proveedor que son o pueden ser lo siguientes

Figura 61. Montaje pernos VIBCODE



(INSTRUCCIONES DE MANEJO, 1998)

El proceso es realizado en la planta de Medellín por el departamento de mantenimiento mecánico molinos, que se ve en las siguientes figuras.

Figura 62. Perforación e implementación por el área de mantenimiento



Figura 63. VIBCODE bomba de pulpa



#### 4.4.2 Acelerómetro magnético

El acelerómetro magnético es usado en cualquier punto de la máquina o donde se desee medir; no se necesita perforar o adquirir elementos extras como el VIBCODE, aunque éste sensor no reconoce los puntos y variables de medición, permite tomas rápidas de medidas donde se requiera.

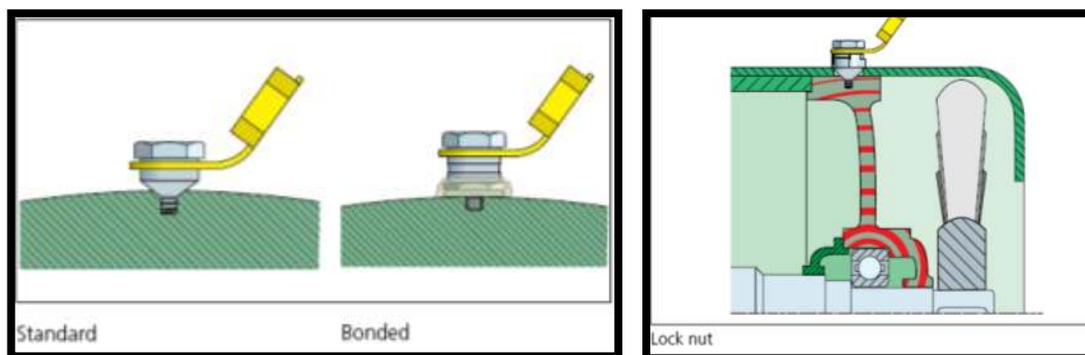
Figura 64. Implementación acelerómetro magnético



#### 4.4.3 Sensor para tornillos especiales

El departamento de mantenimiento aplica los sensores anteriormente explicados y adicionalmente usa un sensor diferente llamado VIB 8.660. El cual es muy similar al VIBCODE, pero no es inteligente, debido a que requiere perforación en un lugar específico donde se medirán las variables de condición.

Figura 65. Tornillos especiales



(PRUFTECHNIK, 2008)

Los sistemas de tornillos son implementados en la planta por el departamento de mantenimiento de molinos, como lo muestra la siguiente figura.

Figura 66. Implementación del tornillo



El resultado final después del uso de todo estos equipos de medición, son trenes de máquinas y máquinas, con componentes que permiten una medición continua, sobretodo en un punto fijo, lo cual implica tener datos fiables del mismo punto.

Figura 67. Trabajo final de sensores

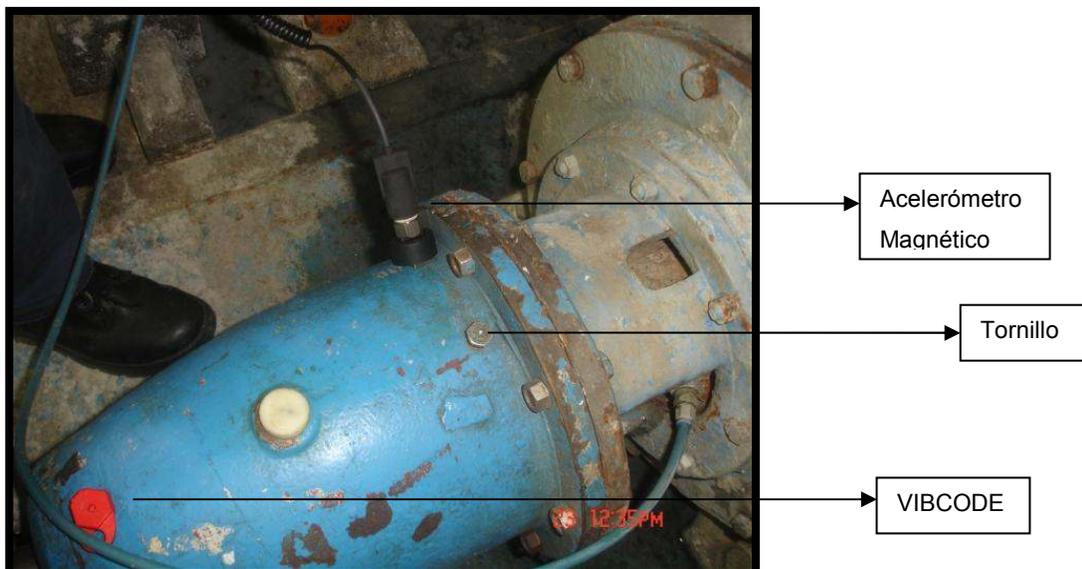




Figura 69. Bomba con sensores para medición



Con la comparación entre la figura 68 y 69, se ve que para medir el estado de rodamiento en la dirección radial vertical, debería ser en la parte inferior, y no en la superior como se implementó, pero por facilidad al momento de ubicar los sensores, la parte superior ofrece mejor posibilidades y facilidad al momento de medir. Se puede observar también, que en el caso de la medición en la dirección radial horizontal, no se tiene implementado ningún sensor, aunque la solución se plantea en la figura 67, ya que se posiciona el acelerómetro magnético en la dirección radial horizontal

Los casos anteriores muestran que la implementación es basada en los criterios recomendados anteriormente. Aunque para La temperatura se sugiere que sea en la parte superior, pero como está no requiere punto perforado se puede realizar sin ningún inconveniente.

La ubicación es de vital importancia al momento de medir, como se ve en la explicación anterior, ahora después de tener los sensores y conocer los puntos de medición se prosigue a la medición con el Vibrotip.

## 4.6 APLICACIÓN DEL SOFTWARE OMNITREND Y TOMA DE DATOS

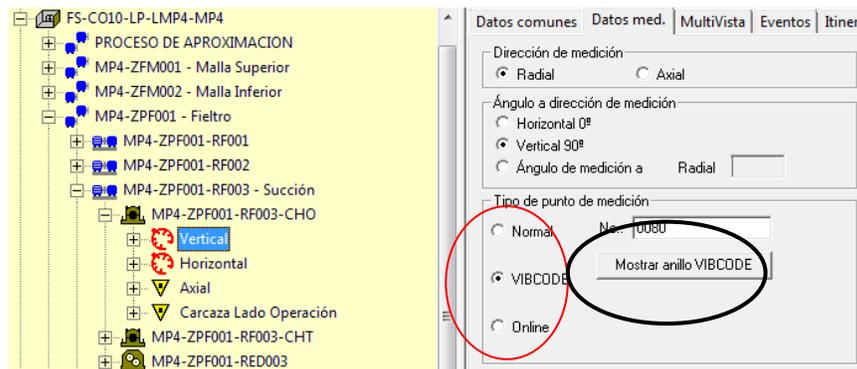
La guía aplicativa requiere pasos a seguir, tomando como el más básico la selección de los equipos introducidos al software OMNITREND; pero antes se explica la creación de códigos VIBCODE.

### 4.6.1 Códigos VIBCODE

El software permite la creación de códigos numéricos, para el sensor inteligente, mediante una plantilla de anillos con pestañas, que se deben perforar según lo muestra el software OMNITREND. Ya que la asignación de dichos códigos es automática.

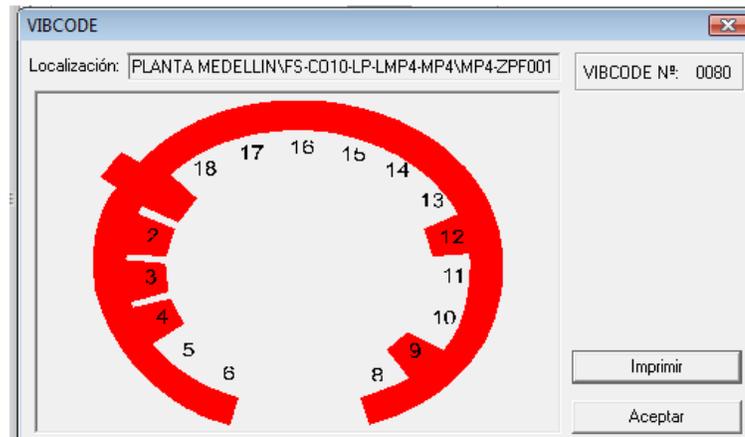
El software permite seleccionar en los puntos de medición, si se desea medir offline o con el acelerómetro inteligente llamado Vibcode, como lo muestra la figura 70

Figura 70. Creación VIBCODE



La asignación del código VIBCODE se obtiene presionando el botón “mostrar anillo VIBCODE” como lo muestra la figura anterior

Figura 71. Código VIBCODE



(OMNITREND )

#### 4.6.2 Selección de equipos en la base de datos.

El sistema OMNITREND permite la selección de los equipos a los cuales se les quiere medir las condiciones de estado; para este tipo de mediciones existen 2 opciones, modo multímetro, no muy recomendado por la necesidad de reescribir sus datos y el modo *pool* y ruta.

- Modo Multímetro

La aplicación multímetro da la facilidad de tomar datos en cualquier punto y cualquier variable que se requiera, con acelerómetro o sensores internos; Pero su desventaja, radica en que no se pueden descargar los datos a la base OMNITREND y deben ser ingresados manualmente.

El tiempo debe ser muy bien implementado. Para evitar pérdida por ingreso de datos, logrando optimizar el tiempo para otro tipo de mediciones, análisis de resultados e ingresos de datos, por esta razón hacer trabajos completos en modo multímetro no es muy recomendado (Si se requiere un dato especial y fuera de las rutas y frecuencias diarias, se puede medir e ingresar como dato manual).

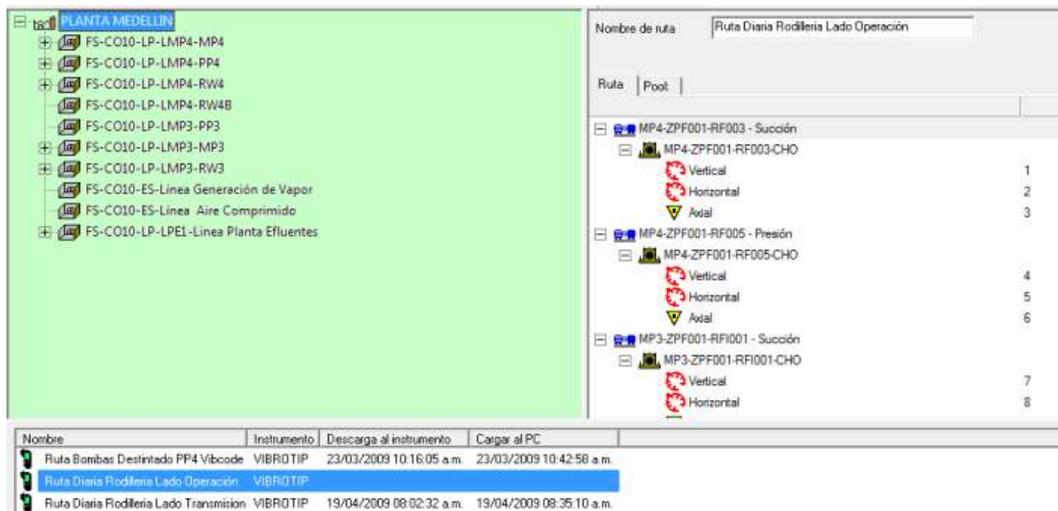
- Ruta y *Pool*

El software OMNITREND permite la aplicación y creación de rutas de medición con las variables de las máquinas que se encuentran en la base de datos. El uso de esta herramienta permite crear una rutina y cultura sobre el mantenimiento predictivo y también la medición de variables de condición.

La diferencia entre ruta y pool es que la ruta es muy rígida, el formato pool es más flexible y se pueden dejar puntos que no son tan importantes y escoger otros extras.

El concepto de ruta se explica con el ejemplo más utilizado dentro de la planta de producción, ya que en esta están consignados los rodillos de la máquina de papel, considerados anteriormente como elementos críticos, debido a que impacta directamente la producción y la calidad del producto. Por ello esta ruta se ejecuta diariamente.

Figura 72. Ruta rodillera lado operación



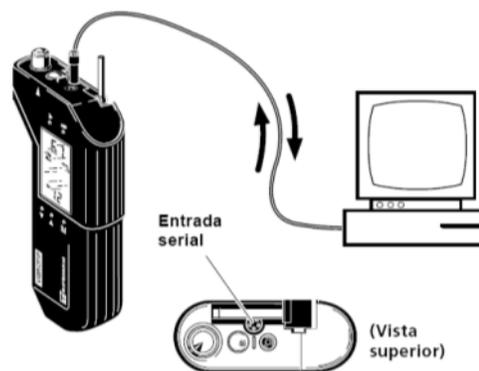
(OMNITREND)

El software permite la creación de diferentes rutas según lo necesitado, lo cual implica un problema que se resuelve en el capítulo 4. Que son la frecuencia de mediciones de dichas rutas. Para esto se planea con un método digital la creación de dichas rutas, permitiendo una ejecución más concreta y efectiva.

- Descargar rutas para medición

La fácil creación de una ruta y las ventajas dadas por el software, permiten realizar de inmediato las labores de medición, según las necesidades y la rápida descarga de estas rutas al Vibrotip, permite un ágil desarrollo en el manejo del software y las aplicaciones de medición.

Figura 73. Descarga de datos de PC a Vibrotip



(INSTRUCCIONES DE MANEJO, 1998)

La rápida conexión de un sistema a otro por medio de un cable, permite que la operación de medición sea inmediata y sin grandes pérdidas de tiempo, contribuyendo al aumento en la eficiencia del mantenimiento.

#### 4.6.3 Mediciones

Los anteriores trabajos llevan a la realización de mediciones más rápidas y aplicadas a las necesidades diarias; porque se han predeterminado con anterioridad los puntos de medición, como también las variables de condición a

medir en cada punto y su respectivo sensor. Esto representa un desarrollo y un ahorro de tiempo entre medidas, para poder lograr la mayor cantidad de mediciones posibles y lograr un análisis concreto.

La medición es más fácil y rápida de comprender por todo el personal a cargo, después de pocos días de la implementación y su respectiva capacitación, en las pruebas piloto que se realizaron por todas las personas asignadas en este proyecto. El entrenamiento de los mecánicos en el manejo, interpretación de mediciones y además de concientización en el valor agregado de esta herramienta que es parte importante de este proyecto.

Figura 74. Capacitación y Medición del personal Familia Sancela.



La figura 74 muestra la aplicación y medición en planta, lo cual aun hoy se perfecciona y se realiza según lo aprendido en el desarrollo del proyecto.

- Ingreso de datos tomados

La descarga de las mediciones realizadas con el Vibrotip al PC es similar a la carga de las ruta al Vibrotip desde el PC, para ello solo se debe conectar el Vibrotip a el PC por medio del cable, para enviar la información. La herramienta más útil del software es que cada dato lo ubica en la máquina o el elemento que

fue designado por la ruta, para después mostrar la tendencia en una grafica con respecto a las mediciones anteriores y así ir formando un historial

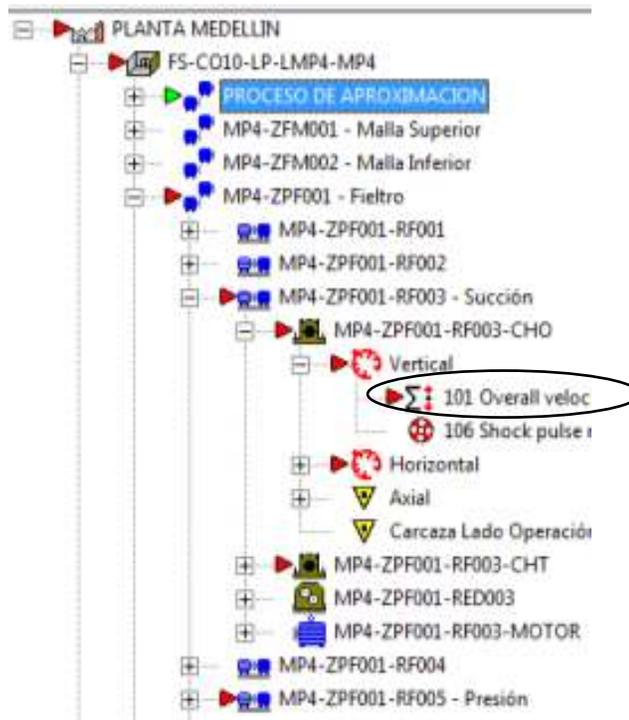
#### 4.6.4 Resultados gráficos

El sistema OMNITREND tiene diferentes herramientas para el análisis de resultados, el cual es más fácil de comprender mediante los resultados gráficos; como su nombre lo dice es la relación entre tiempo y datos tomados según la variable relacionada.

El fácil análisis es por medio de las ayudas que tiene el software, como lo son las alarmas que se relacionan con las normas ISO 2372, la cual permite mirar líneas limites, para las cuales se debe tener cuidado y realizar acciones si es necesario. Además de las alarmas ISO se pueden crear alarmas personalizadas según las necesidades.

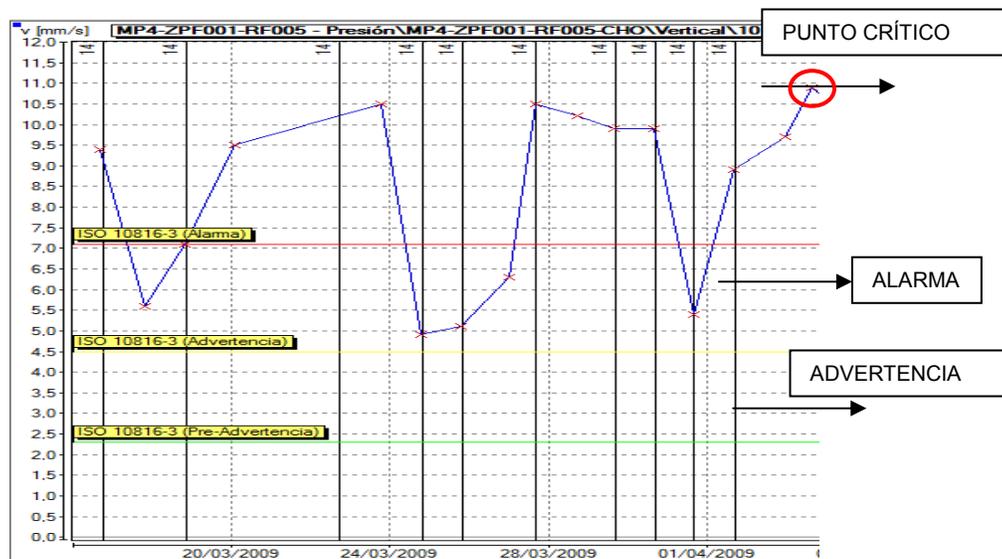
La parte inicial del proceso de descarga de las mediciones muestra unas banderas de colores sobre los equipos de la base de datos, representando las alarmas según sea el color, en el visualizador de datos del software, las cuales dirigen al usuario hacia la variable donde se identifica algún problema. Esto se muestra claramente en la figura 75.

Figura 75. Muestra de alarmas en el visualizador



(OMNITREND)

Figura 76. Resultado Grafico



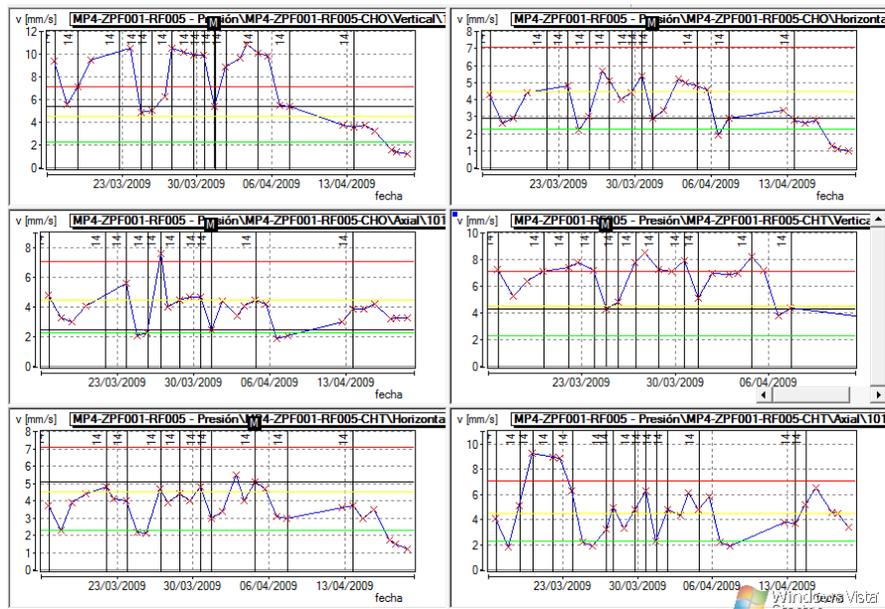
(OMNITREND)

El resultado muestra que la medición de vibración sobrepaso la alarma pre-establecida, dando una evidencia de algún problema, por consiguiente se deben de tomar acciones de prevención e incrementar las frecuencias de mediciones.

Los resultados gráficos permiten tener una información histórica de las fechas y datos obtenidos de cada día, lo cual muestra los cambios sufridos hasta el momento y si sus niveles bajan o continúan subiendo.

El comando MULTIVISTA permite visualizar un variable de condición de dos o más maquinas, el ejemplo que se muestra en la figura 77 hace referencia a las mediciones de las vibraciones de 4 diferentes rodillos, permitiendo analizar claramente cual de todos presenta más desviaciones.

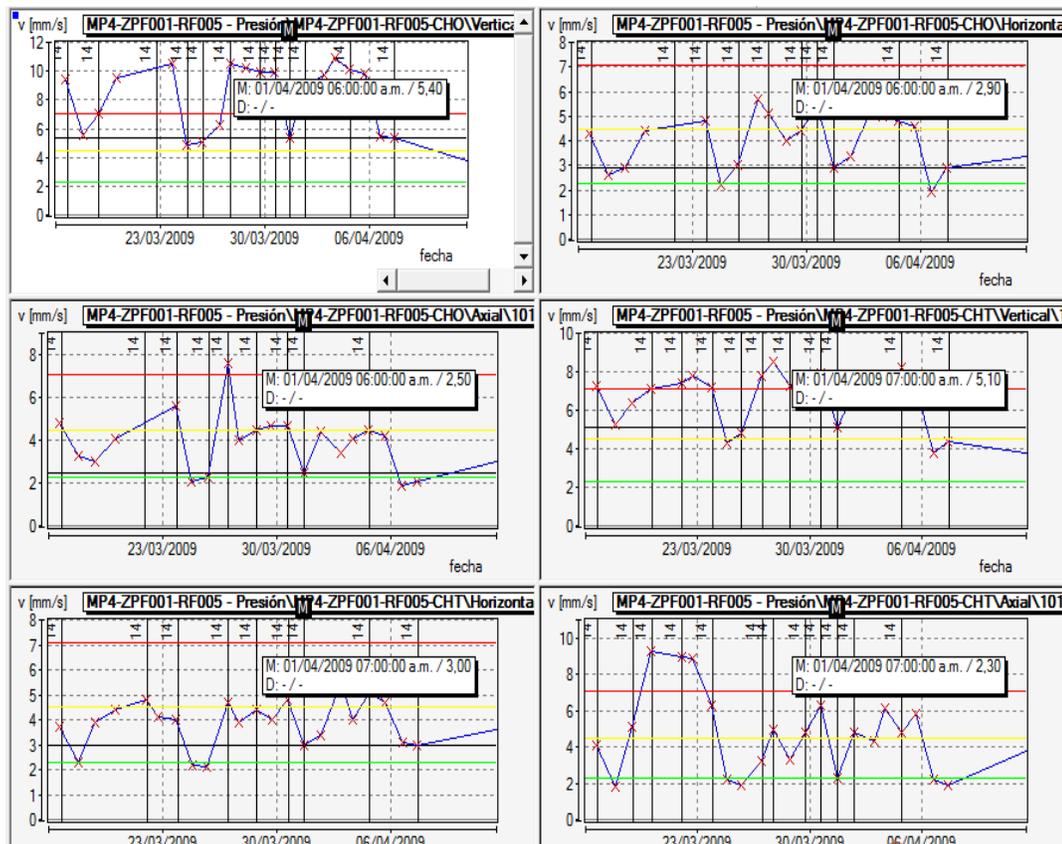
Figura 77. Comando multivista



(OMNITREND)

La función “enganchar gráficas” permite ver el dato de un día en específico para las gráficas de las maquinas agrupadas en el comando multivista, permitiendo ver el comportamientos de una variable de todos los elementos a la misma hora

Figura 78. Comando enganchar gráficas



(OMNITREND)

#### 4.6.5 Ejemplos específicos

La aplicación de sistemas de medición de condición de estado, debe permitir tener más herramientas para la toma de decisiones y estas se deben reflejar casi de inmediato sobre lo que acontece en la máquina, y poder predecir y prevenir las fallas inesperadas, logrando disminuir el mantenimiento correctivo dentro de la planta. El objetivo de esta herramienta es permitir realizar paros programados y atacar las fallas con criterio de ingeniería.

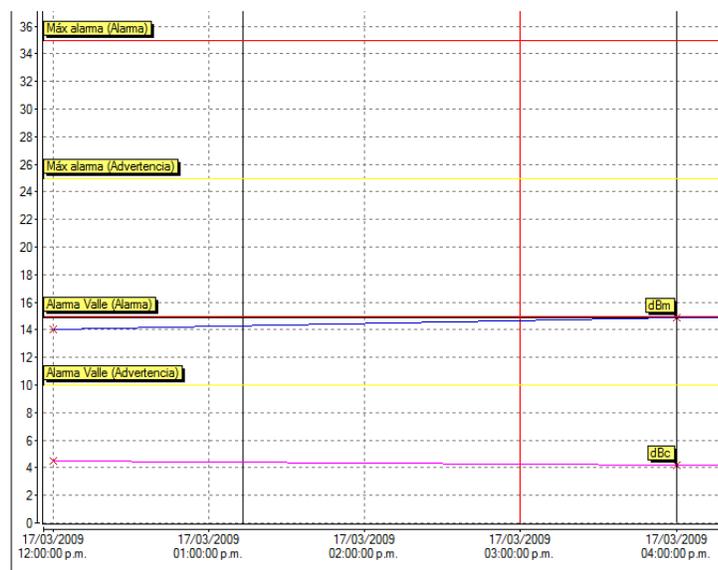
Los ejemplos son una muestra de la utilidad de estos sistemas de predicción, es así como la herramienta de predicción Vibrotip aplicada en Familia Sancela ya ha tenido algunas situaciones de aplicación, como se muestra en el numeral siguiente.

- Caso cambio de lubricante

El caso del cambio de lubricante, es el seguimiento a una de las bombas de pulpa de la línea producción de pasta, las medidas tomadas respecto a condición de rodamientos mostraba un alto rango, más de lo esperado; además su tendencia era a seguir subiendo.

El siguiente registro son los primeros datos tomados a la bomba de pulpa.

Figura 79. Toma de datos en la bomba de pulpa

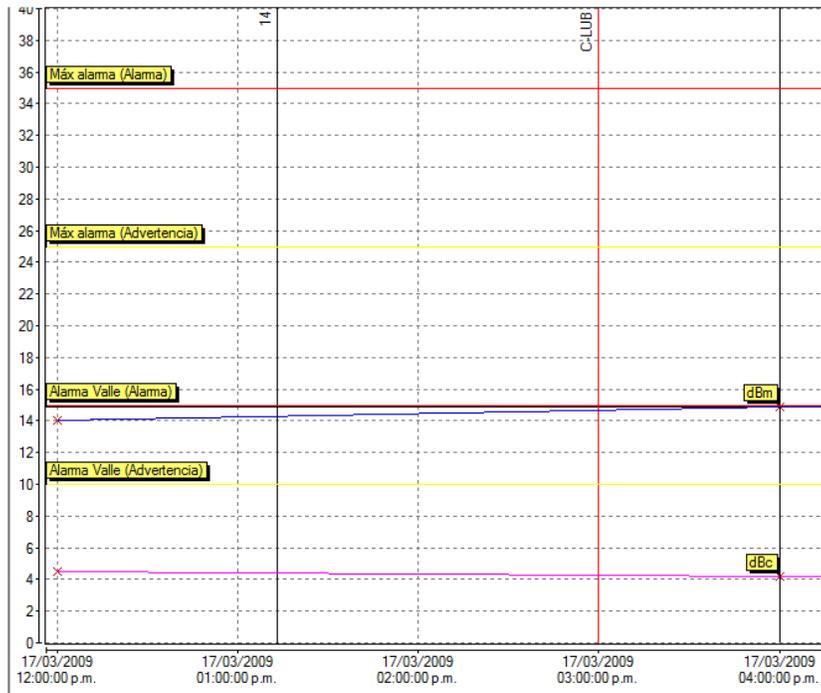


(OMNITREND)

La gráfica muestra que se está sobre los niveles más altos para condición de rodamientos según la norma ISO para esta variable de medición. Después de una inspección con más detalle, el lubricador encontró que el agua se había mezclado

en el aceite, y por lo tanto este había perdido propiedades para el trabajo a realizar, además el exceso de agua desgastaría aceleradamente el cojinete por corrosión, entonces se realizo de inmediato la tarea del cambio de aceite en la bomba, ese dato se registra como un evento el día 17/03/2009 a las 3:00 pm.

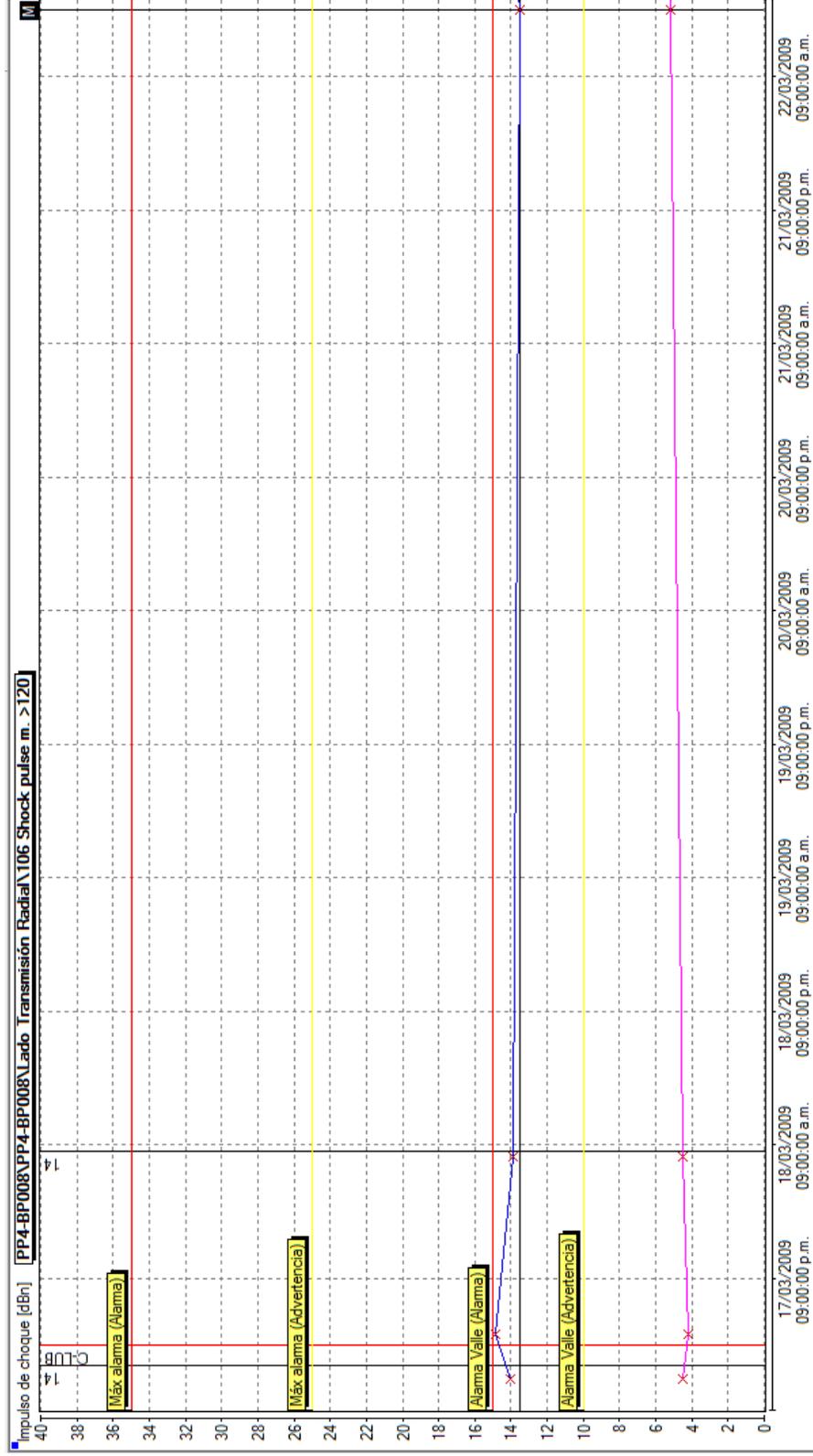
Figura 80. Ingreso de evento cambio de aceite



(OMNITREND)

La línea roja que se ve cruzar verticalmente es el evento de cambio de aceite, si vemos a las 4:00 pm del 17/03/2009, llega a un punto máximo.

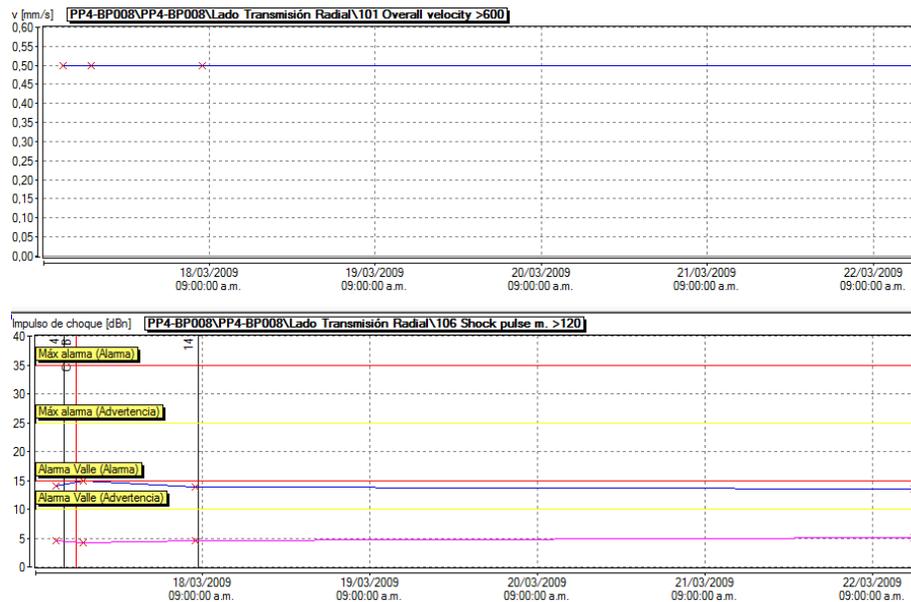
Figura 81. Toma datos bomba después de evento



(OMNITREND)

Como se ve, después del ingreso del evento y el cambio de aceite, los niveles de condición de rodamiento para esta bomba en específico, empezaron a disminuir, saliendo de los rangos críticos de la norma ISO. En el diagrama multivista donde se compara la vibración con la condición de rodamientos, se puede ver lo siguiente:

Figura 82. Multivista vibración y condición de rodamientos



(OMNITREND)

La gráfica superior muestra los datos de vibración, donde se muestra un comportamiento lineal, y en la gráfica inferior se ve la condición de los rodamientos, donde se muestra el cambio sobretodo después del evento realizado.

- Caso cambio de rodillo

El caso del rodillo es mucho más delicado, pero interesante, ya que estos rodillos son de máximo nivel de criticidad en la industria papelera, su falla puede hacer perder a la empresa muchos millones de pesos en lucro cesante y mano de obra,

por lo cual desde antes de la implementación de este nuevo sistema de medición de variables de condición, se verificaba diariamente con otros equipos.

Los molinos de papel utilizan diferentes rodillos, cada uno en diferente aplicación, como ocurre en la sección de succión, presión, secado, vacío, entre otros. Las gráficas muestran las mediciones del rodillo, en dos lados diferentes, lado operación y lado transmisión, el cual se mide verticalmente y radialmente.

Figura 83. Rodillo lado operación

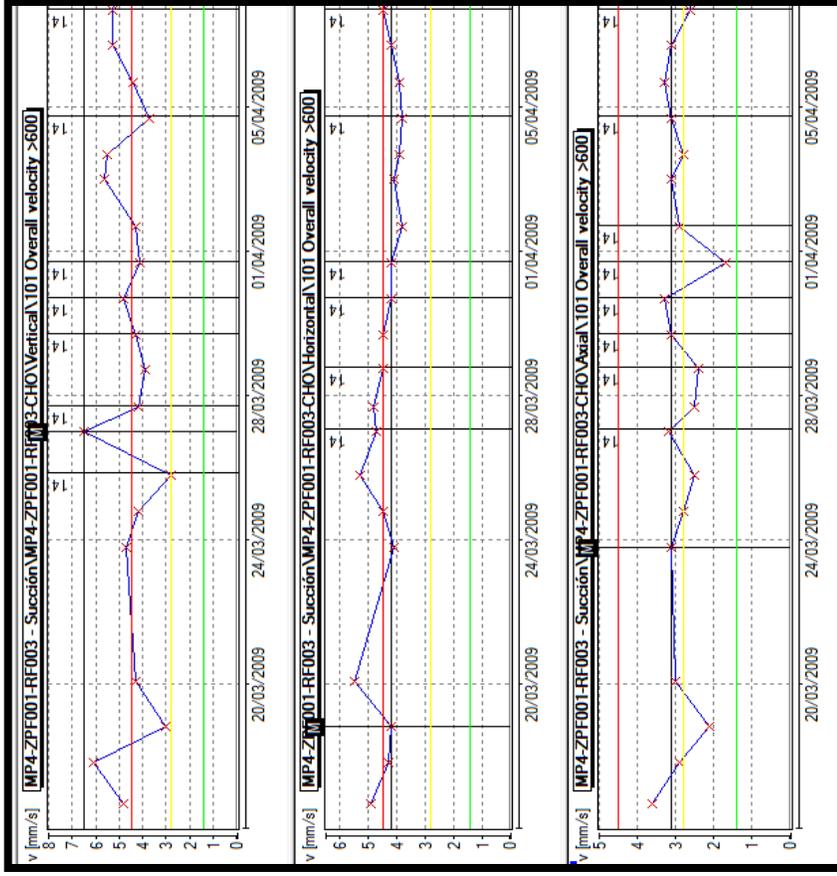
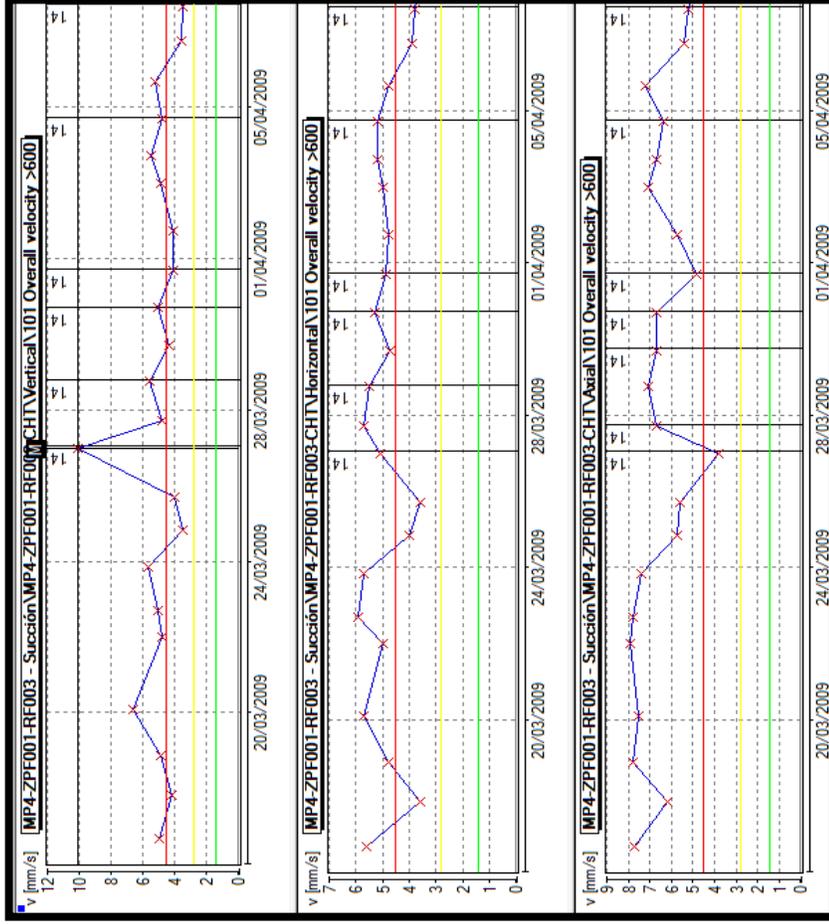


Figura 84. Lado transmisión del rodillo



(OMNITREND)

Los dos cuadros iniciales hacen referencia a mediciones radiales, el primero vertical y el segundo horizontal; el tercer cuadro es una medición axial

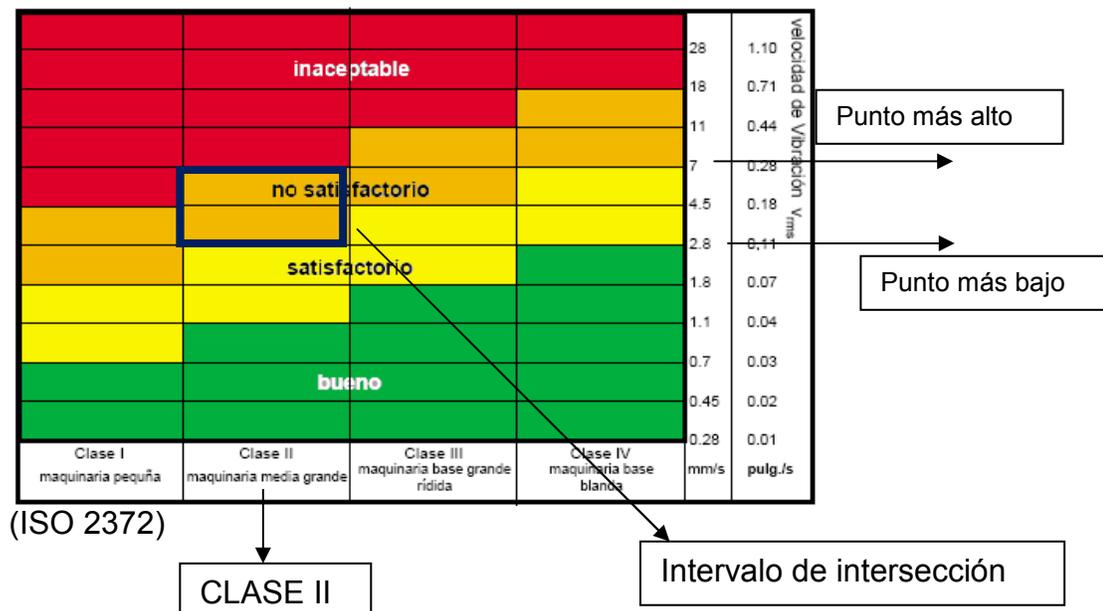
La gráfica anterior da algunos puntos en intervalos superiores a 6 mm/s y el más bajo se encuentra en 2,8 mm/s si retomamos la figura del estado en vibraciones se tienen los siguientes datos de rodillo:

Potencia: 288 KW

Velocidad de giro: 514 RPM

Clase de máquina: grupo 2

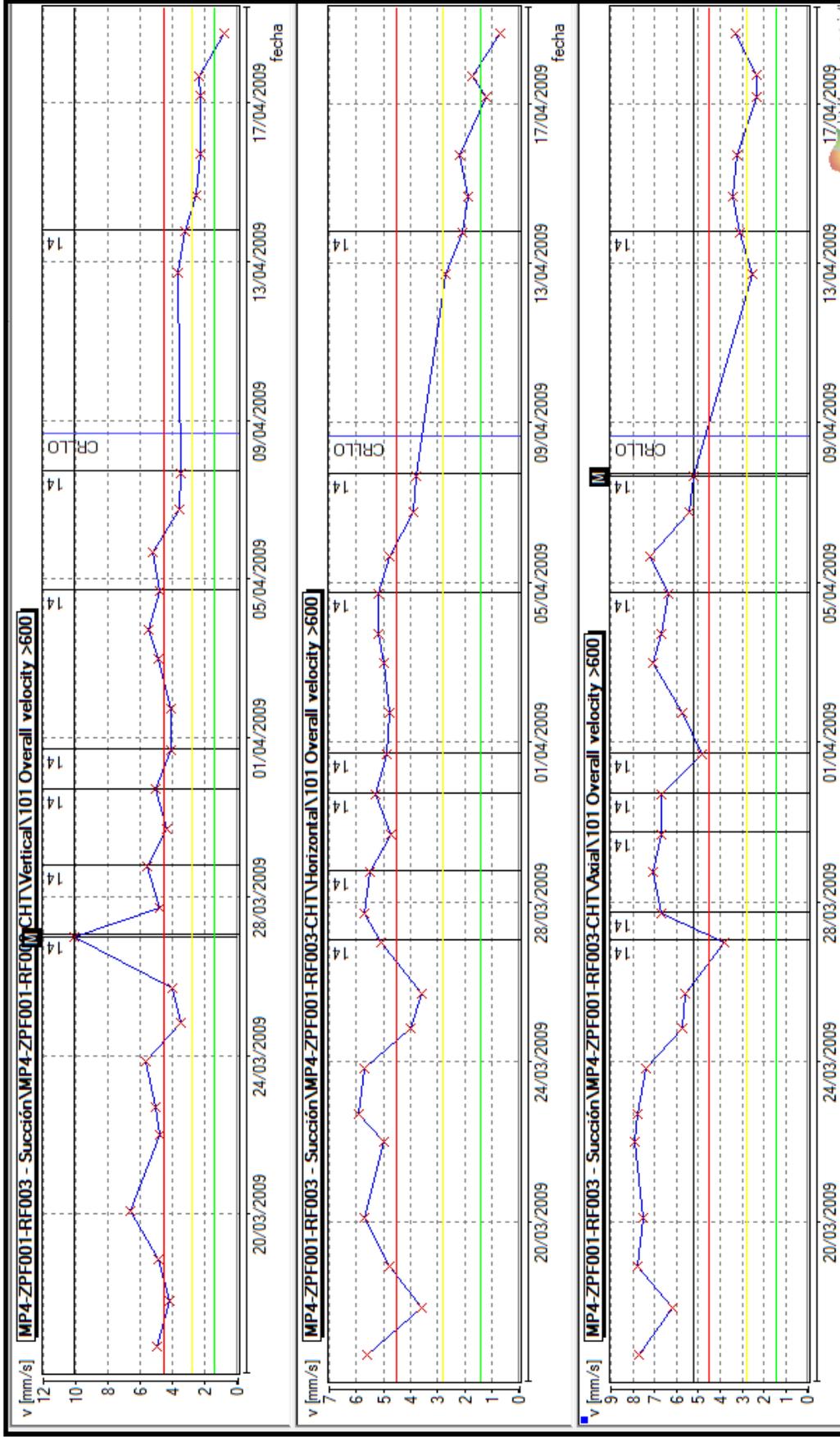
Figura 85. Vibración para rodillo molino de papel



La tabla muestra que el rodillo se encuentra en un intervalo de zona no satisfactoria; por esta razón se puede tomar la decisión del cambio del mismo.

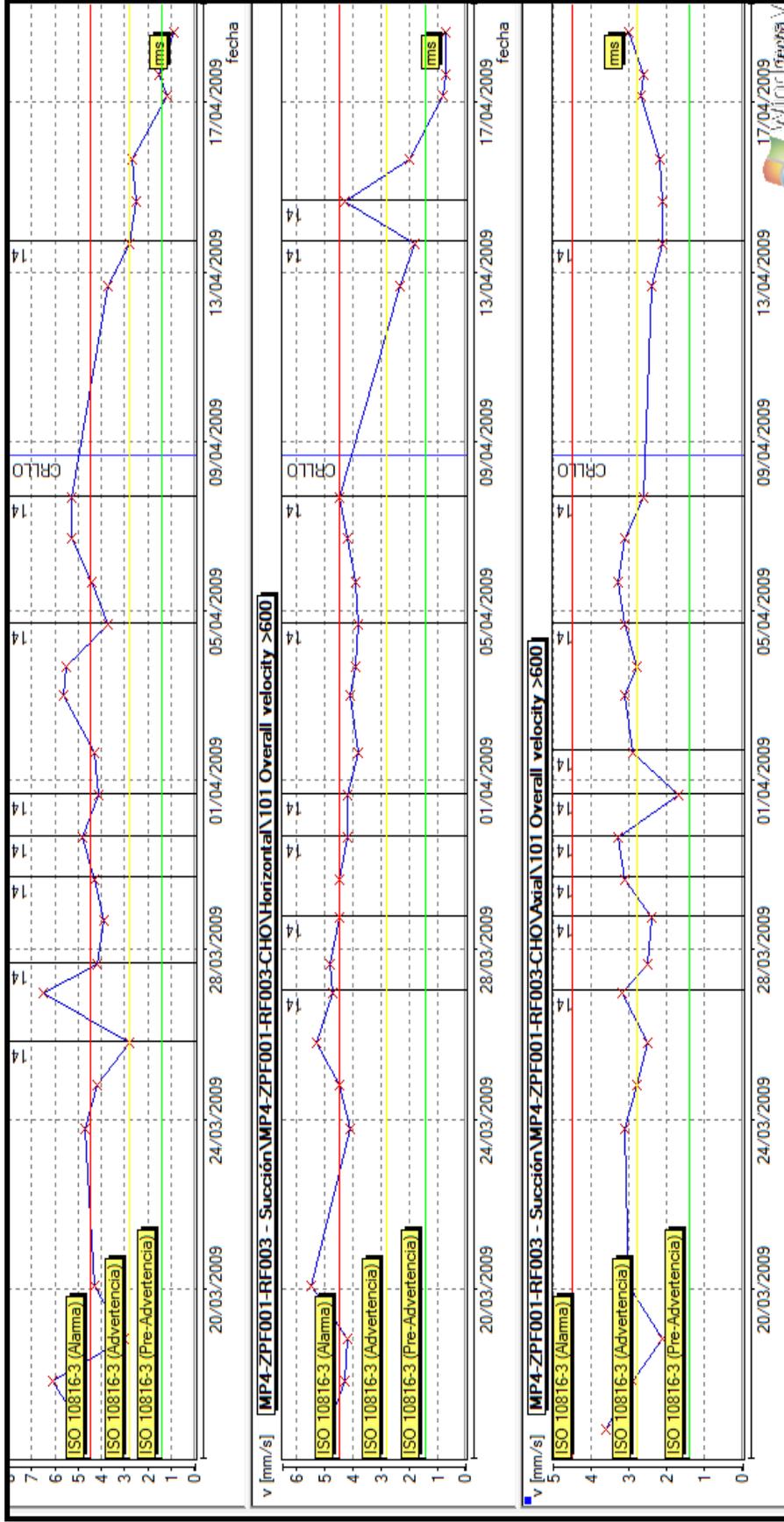
Se determina el cambio de este rodillo, entre los días 8 y 9 de Abril de 2009. El cambio se debió a múltiples factores, pero se deben ver algunos en los valores medidos después del cambio realizado. Este cambio se puede ver cuando se ingresa un evento, donde los resultados arrojan una buena decisión.

Figura 86. Rodillo lado transmisión después del cambio



(OMNITREND)

Figura 87. Rodillo lado operación después del cambio



(OMNITREND)

Las figuras 86 y 87 muestran que después del cambio de rodillo, en la fecha ya establecida, se nota una disminución importante de los niveles de vibración, lo cual implica una decisión acertada por el departamento de mantenimiento, permitiendo programar el mantenimiento y minimizar las pérdidas en el proceso debido a que el tiempo perdido fue minimizado.

## 5. MATRIZ DE FRECUENCIAS Y RECOMENDACIONES

### 5.1 OBJETIVO

Generar algunas recomendaciones sobre el comportamiento de los datos obtenidos, entregados en una matriz de actividades y capacitar a los encargados de las rutinas del mantenimiento predictivo.

### 5.2 INTRODUCCIÓN

El proyecto permite en su parte final la creación de frecuencias para la medición de variables de condición en el mantenimiento predictivo; después de toda la implementación de la herramienta Vibrotip en su parte teórica y práctica llegamos a las últimas conclusiones, donde se pueden reunir el área industrial y educativa al aplicar conceptos de frecuencias a la industria papelera.

Las acciones predictivas estudian la evolución de las variables de condición respecto al tiempo, las cuales requieren una inspección y evaluación constante que se pueden realizar teniendo en cuenta algunos factores como; “el tipo de planta, los tipos de fallas por diagnosticar y la inversión que se quiere realizar” (MORA, 2005, 265)

Las frecuencias están abiertas a múltiples variables y posibilidades, donde ninguna es una camisa de fuerza, para la creación de actividades de trabajo; donde la herramienta a utilizar es importante, y el tipos de variables de condición que se quiere medir.

### 5.3 OPCIONES Y POSIBILIDADES PARA FRECUENCIAS Y MATRICES

El correcto orden de la matriz de frecuencia depende del modelo a usar para realizar las actividades. Después del desarrollo de los objetivos anteriores, se tienen y se conocen las variables a medir, los equipos y sus ubicaciones, así como el manejo del sistema OMNITRED y VIBROTIP.

La empresa Familia Sancela S.A. trabaja 24 horas, todos sus elementos, maquinas y componentes deben referenciarse de funcionamiento continuo, lo que nos elimina el factor de horas de trabajo, como elemento para realizar nuestras frecuencias.

El sistema Vibrotip relaciona cinco variables, los cuales son datos adicionales para la creación de la matriz de frecuencias. Donde se pueden usar los datos obtenidos y su relación con alarmas y normas ISO, para así, tener un amplio cronograma de monitoreo de variables de condición.

Las maquinas acceden a la creación de niveles jerárquicos, que permiten diferenciar unas y otras, así estas sean físicamente iguales. Sus aplicaciones en el proceso productivo del papel marcan diferencia en el desarrollo del objetivo 2 y con ayuda del personal de la empresa, se pueden sacar niveles entre las maquinas, obteniendo una propuesta de matriz de frecuencias.

La experiencia obtenida por personas expertas en mantenimiento a nivel educativo y nivel industrial, nos dan algunas bases sobre como deben organizarse las frecuencias según los equipos y maquinas que tiene las empresas, este es un punto se vista a tener en cuenta.

### 5.3.1 Condiciones para la realización de la matriz

Las condiciones están ligadas a diferentes acontecimientos en su desarrollo, inicialmente se deben ver las diferentes formas y guías para la implementación de una matriz de frecuencias. En segundo lugar, pero no menos importantes están las necesidades y disponibilidades de la empresa.

Los límites iniciales de mantenimiento molinos y su ingeniero a cargo son:

Una sola persona en turno de 8 horas, encargada de todas las rutas y todas las medidas diarias. Se tienen elementos ya definidos e inmovibles de monitoreo de condiciones diarias. Toda la frecuencia debe ser cíclica y aproximadamente en periodos bimestrales.

El personal esta capacitado en el manejo del equipo VIBROTIP además de manejos técnicos del software OMNITRED, lo cual facilita su manejo y trabajo de las rutas y sus tiempos disponibles.

La planta tiene un funcionamiento continuo de 24 horas, la mayoría de sus equipos trabajan en tiempo continuo y esta característica nos elimina la opción de usar tiempos de hora de trabajo como elemento diferenciador para sus frecuencias.

Las secciones siguientes, veremos las diferentes opciones y guías para la selección de frecuencias y rutas para el desarrollo del monitoreo de las variables de medición.

### 5.3.2 Norma ISO

La norma ISO muestra límites de condición de estado para algunas variables respecto al trabajo y exigencias de las maquinas. El caso más claro son los niveles de vibración basada en la norma ISO 2372 y la figura 4 nos ayuda nuevamente a su comprensión.

Los rangos están limitados o explicados según ISO para cada variable, se puede identificar cuales de los equipos de la planta son propensos o se encuentran cerca de los límites de las normas ISO, y sobre estos se debe hacer una matriz de frecuencias conociendo los datos de los equipos, cuales según tabla ISO son críticos; además sería necesario tener datos previos en medición para una mejor asignación de las maquinas.

La matriz debe estar soportada sobre elementos más exactos que solo norma ISO, la experiencia y las necesidades de la empresa, muestran que la base solamente pensando en las normas ISO no sería muy efectiva, pero es un apoyo a tener en cuenta para la posibilidad de crear rutas de inspección.

Los rodillos en los molinos de papel son elementos muy importantes en los cuales se realiza un monitoreo diario, si tenemos en cuenta la figura 4, con los datos aproximado que se tiene de ellos, se obtiene lo siguiente.

Potencia (aproximada)= 288 KW

Velocidad de giro (aproximada)= 650 – 1200 RPM

Tipo de maquinas = grupo 2 (numeral 1.6.2)

La figura 4 muestra que los equipos más delicados son del grupo 1, pero en el caso de Familia Sancela, no cuenta con una cantidad importante de estos equipos. Aunque los rodillos se encuentran en el grupo 2 resulta necesario y pertinente realizar las mediciones con una frecuencia diaria por ser vitales en el proceso productivo. El método de la clasificación de equipos por clase, permite un apoyo al momento de armar las frecuencias sobretodo para diferenciar elementos como bombas, agitadores y otros

### 5.3.3 Variables

Las variables de condición de estado están limitadas principalmente a las que el sistema Vibrotip puede medir, adicionalmente se tienen variables relacionadas con inspección visual; entonces sobre las 5 variables del Vibrotip y las inspecciones visuales se tiene la posibilidad de crear una matriz de actividades.

El sistema Vibrotip necesita diferenciar las variables a medir, la ubicación de la medición, en una máquina seleccionada; como se ha mostrado en numerales anterior, esto facilita la implementación de una matriz de frecuencia. Ahora si se piensa solo en vibraciones tenemos las siguientes dificultades

- El sensor inteligente VIBCODE, solo permite la medición de vibración y estado de rodamiento.
- La cavitación, vibración en tornillo requiere otro sensor
- La temperatura es un sistema de contacto, no recomendado en lugares difícil de llegar.

Las anteriores son dificultades al momento de uso de la herramienta, además de otros no mencionados; por tal motivo, como lo explicamos en el numeral anterior la base de actividades no debe ser pensada únicamente en las variables, ya que requerimos la mayor cantidad de mediciones y rutas más óptimas. Pero este punto es una base que se utilizara más adelante.

### 5.3.4 Niveles según el proceso

Los molinos de papel permiten una división de sus máquinas y componentes según su participación en el proceso productivo. Aunque estos tienen muchos elementos y algunos repetitivos, no todos son de alta importancia para el cuidado y proceso. Por esta razón se crea una lista de niveles, los cuales permiten un orden en las frecuencias que se requieren en el mantenimiento.

Nivel 1. Trenes de máquina y maquinas de alta prioridad; el paro correctivo de estos es casi inaceptable, solo paros programados, se debe hacer monitoreo de variables de condición diariamente.

Nivel 2. Trenes de maquinas y maquinas de alta prioridad, pero su monitoreo puede ser varios días en la semana, o 1 sola vez.

Nivel 3. Maquinas y tareas de medición media, se pueden realizar quincenalmente entre 2 o 3 veces en el mes.

Nivel 4. Equipos de media y baja prioridad, muchos de estos equipos tienen compañeros de ayuda, en caso de falla otros pueden hacer su trabajo y permitir al departamento de mantenimiento más tiempo para otras labores. Monitoreo entre 1 o 2 veces al mes.

Nivel 5. Maquinas o tareas de medición que pueden realizarse con tiempos más prolongados, entre 2 o 3 meses.

Nivel 6. Inspecciones de más de 6 meses.

Los niveles mostrados permiten una pequeña unión entre tipos de máquina y un nivel de frecuencia, dando valores aproximados a las necesidades y la cantidad de maquinas con que cuenta la línea de molinos para mantenimiento y medición de variables de condición de estado.

Las presentes necesidades de la empresa dicen que la anterior estructura seria interesante, pero no cumple con las especificaciones dadas por el departamento de mantenimiento molinos, sobretodo en lo relativo a los niveles bimestrales y cíclicos.

### 5.3.5 Datos y experiencias de otras personas

La constante investigación sobre las frecuencias de mantenimiento y especialmente en la industria papelera, permiten concluir que las frecuencias establecidas se basan en la experiencia, elementos en la producción y meses de seguimiento.

Las frecuencias de medición se pueden estandarizar de una manera clara y fácil para la comprensión de cualquier persona. En el proyecto de grado del señor Carlos Mario Aguádelo del año 1990, que se enfocó en un mantenimiento predictivo en la industria papelera se puede sacar una tabla del capítulo 3.5, la cual dice lo siguiente:

Figura 88. Frecuencias por tipo de máquina

EQUIPOS	TIPO	FRECUENCIA
Bombas	Dinámicas de desplazamientos	Semanal Quincenal
Motores	C.A. (2,4,6,8 polo) C.C.	Semanal Semanal
Ventiladores	Hood Extractores	Semanal Quincenal
Agitadores	Propela	Quincenal
Turbinas	Vapor	Semanal
Rodillo		Semanal
Transmisiones	banda	Semanal
Compresores	Embolo	Quincenal
Reductores	Piñones	Quincenal

(AGUDELO, 1990)

La figura 88 muestra niveles estándares por tipo de máquina y sobre esta guía se crea una matriz de frecuencias de inspección. La figura anterior muestra también

que muchos de los equipos que se encuentran consignados allí, están en gran cantidad en la planta de Medellín, siendo una buena base de referencia histórica.

#### 5.3.6 Frecuencias y rutas

El adecuado manejo de las frecuencias y rutas de mantenimiento permiten tener óptimos resultados para el monitoreo de variables. En el caso de Familia Sancela S.A se requiere que las frecuencias presentadas sean las mismas rutas de monitoreo de variables que se implementaran por los mecánicos, o una frecuencia que se separe por rutas.

El largo trabajo realizado en la implementación del sistema y manejo del software, nos a mostrado con ayuda del personal mecánico de la planta y el ingeniero a cargo que las frecuencias que deben ser directamente relacionadas a las rutas se deben basar en los siguientes tres puntos, y no las otras posibilidades vistas en las secciones anteriores.

- Por variables (vibración, estado de rodamientos, cavitación, temperaturas, rpm)
- Por espacio físico (todas las maquinas del segundo piso, maquinas cercanas a las bombas 1, 2,3, etc.)
- Por tipo de equipo (bombas, agitadores, etc.)

Los monitoreos deben ser relacionados con las características anteriores, en base a las necesidades y herramientas que presenta la empresa, de tal manera que las frecuencias más prolongadas no pasen de 2 meses, o sea, bimestral y que sean cíclicas, sacando de estas referencias los rodillos de lo molinos, ya que son elementos especiales que requieren monitoreo diario.

Las necesidades mostradas y los factores a tener en cuenta para la creación de la matriz, requieren la combinación de diferentes métodos y herramientas como las

mostradas en los numerales anteriores para tener un plan de frecuencias y acciones óptimo para su aplicación.

#### 5.4 CREACIÓN DE LA MATRIZ

Las bases entregadas guían la selección y definición de la estructura de la matriz de actividades; aunque se tiene claramente lo que se quiere, no se tiene una muestra de cómo se debe hacer y como se debe crear. Los siguientes pasos guiaron la creación base de la matriz de actividades o frecuencias.

- Creación de base de datos
- Ubicación técnica.
- Selección de sensores
- Selección de variables
- Creación de frecuencias.

##### 5.4.1 Creación de base (paso 1)

El numeral 2.5.1 explica la creación de una base de datos usando el programa OMNITREND, esta base de datos en su manera estructural es la misma a utilizar para la base de frecuencias pero es necesario sacarla de de la base OMNITREND y tenerla en formatos fáciles de trabajar como EXCEL.

La selección inicial fue decidir que elementos se querían ingresar a la matriz, que permitieran tener una información clara y básica de los elementos a tener en cuenta, o sea, buscar que elementos serian las columnas de nuestra matriz.

Lo recomendado es tener inicialmente datos de ubicación y localización.

Figura 89. Columnas iniciales de la matriz

<b>Ubicación técnica</b>	<b>PROCESO</b>	<b>MAQUINA</b>
--------------------------	----------------	----------------

La figura 89 muestra las tres primeras columnas de la matriz, que son los elementos fundamentales para la creación de misma. Las siguientes columnas tenidas en cuenta son.

Figura 90. Columnas intermedias

<b>LOCALIZACION</b>	<b>SENSOR</b>	<b>COD. No.</b>
---------------------	---------------	---------------------

La localización se refiere en este caso, al punto donde se hace la medida, lado operación, lado transmisión, lado ventilador, vertical, o sea, hace referencia al punto exacto donde se encuentra el sensor en la máquina o donde debe hacerse la medida. Como ejemplos se tiene:

- Lado polea vertical
- Lado impeler radial
- Voluta
- Lado propela axial
- Entre otro

La columna sensor y COD.NO. hace referencia al sensor a utilizar. El numeral 3.4 muestra los diferentes sensores a utilizar; para la columna sensor solo se referencia cual será; ejemplo.

- VIBCODE (sensor inteligente)
- VIB 6,142 (sensor magnético)
- VIB INTERNAL (sensores internos)

- VIB 8,660 (tornillo)

El COD.No. hace referencia a el numero solo de los sensores inteligentes, ya se mostro en numerales anteriores como salen automáticamente por el programa OMNITREND.

Las columnas finales muestran lo siguiente;

Figura 91. Columnas finales variable.

VIBROTIP				VISUAL
				

Las columnas finales hacen referencia a las variables a medir; un ejemplo final del estado de la matriz en la siguiente.

Figura 92. Muestra de base de datos

Ubicación técnica	PROCESO	MAQUINA	LOCALIZACION	SENSOR	COD. No.	VIBROTIP				VISUAL	
						Σ	⊕	⊖	⚡		
PP4-AG001	LINEA DE PULPEO 1	PP4.AG001-CHPR	LADO PROPELA VERTICA	VIBCODE	0052	X	X				
			CARCAZA LADO PROPELA	VTP INTERNAL				X			
		PP4.AG001-CHPO	LADO POLEA VERTICA	VIP 6,142		X					
			CARCAZA LADO POLEA	VTP INTERNAL				X			
		PP4.AG001.MOTOR	BANDA DE TRANSMISION	LADO TRANSMISION RADIAL	VIP 6,142		X				X
					VIP 6,142		X				
					VIP 6,142		X				
					VIP 6,142		X				
					VTP INTERNAL				X		
					VTP INTERNAL						X
PP4-AG002	LINEA DE PULPEO 2	PP4.AG002-CHPR	LADO PROPELA VERTICA	VIBCODE	0054	X	X				
			CARCAZA LADO PROPELA	VTP INTERNAL				X			
		PP4.AG002-CHPO	LADO POLEA VERTICA	VIP 6,142		X					
			CARCAZA LADO POLEA	VTP INTERNAL				X			
		PP4.AG002.MOTOR	BANDA DE TRANSMISION	LADO TRANSMISION RADIAL	VIP 6,142		X				X
					VIP 6,142		X				
					VIP 6,142		X				
					VIP 6,142		X				
					VTP INTERNAL				X		
					VTP INTERNAL						X

La imagen muestra un ejemplo de cómo se encuentran distribuidas las bases de datos en Excel, donde se tiene gran parte de las máquinas, sus variables y puntos de medición claros para extraer información de ella y crear nuestro siguiente paso, que son las frecuencias y acciones para la medición de variables de condición. Cabe recordar que cada elemento y variable fue seleccionado según el equipo que se tenía a medir, no todos los elementos y ubicación de medición requieren las 5 variables de condición de estado.

#### 5.4.2 Selección de frecuencias

La selección precisa de frecuencias implica un reto grande, ya que se conoce lo que se requiere y se necesita. En numerales pasados de este capítulo se muestran algunas posibilidades de cómo seleccionar las máquinas, sus ubicaciones y variables para crear frecuencias de medición; pero ninguna de ellas era completamente satisfactoria para el proyecto.

El numeral 4.3.6 muestra la guía real de las selecciones; esto implica un alto nivel de concentración y de ingeniería para tener la matriz y las máquinas más adecuadas para tomar las tres posibilidades mostradas, lo cual tomó mucho tiempo, pero llegando a algunas conclusiones como propuesta a entregar a Familia Sancela sección mantenimiento molinos planta Medellín

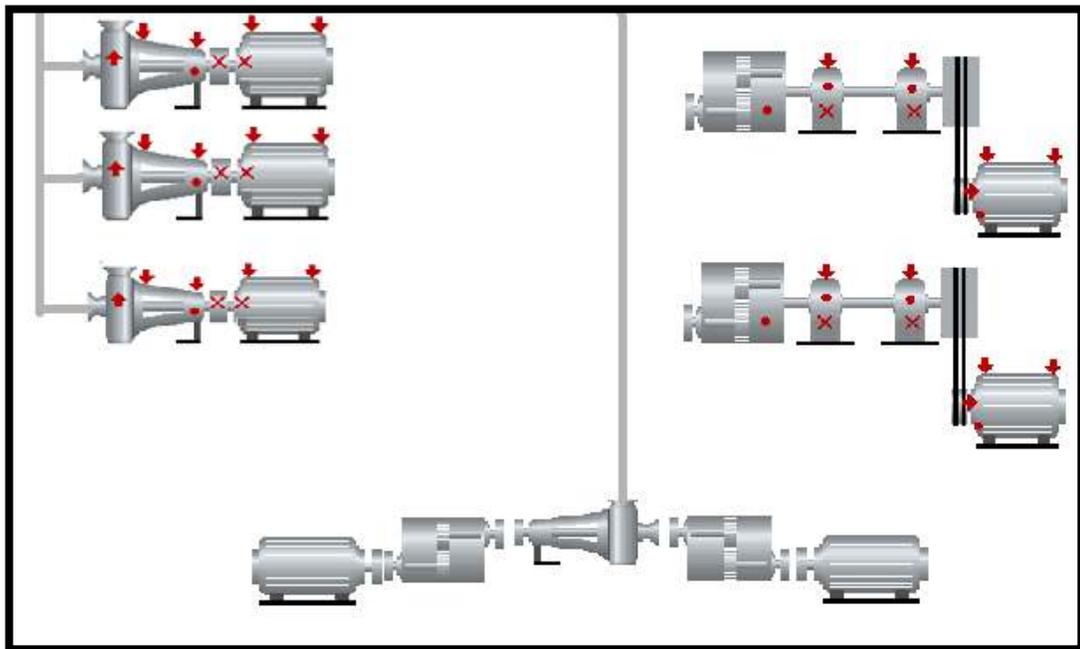
El desarrollo aplicado de los objetivos del proyecto lleva a tener todas las herramientas suficientes para hacer de este último objetivo una gran conclusión del trabajo realizado; de los primeros objetivos conocimos la importancia y las necesidades del mantenimiento predictivo; del segundo conocimos el proceso de producción del molino de papel, además del funcionamiento del Vibrotip, en el 3 el manejo del software como herramienta técnico-práctica y permitió ver la necesidad de entrenar al cuerpo de mecánicos.

La matriz debe mostrar lo aprendido y comprendido en todos los objetivos. A continuación se muestra un diagrama donde como ejemplo esta colocado la forma como fue la selección de las frecuencias y los equipos para iniciar la matriz.

Los rodillos mencionados son un caso especial de la planta, por eso no entran en nuestro análisis de selección de frecuencias, pero todos los otros elementos si.

La máquina inicial es un elementos que muy fácilmente esta en limites de norma ISO para vibraciones, maquinas clase 1, la cual cuenta con varios elementos, como reductores y motores, por ello su falla puede parar la producción. Sobre esta base se selecciono el primer elemento para luego continuar con los otros.

Figura 93. Ejemplo cuartos de bombas



La figura anterior muestra un ejemplo de un cuarto de bombas; donde hay que ingresar a los elementos a la matriz de frecuencias, con la siguiente propuesta y pasos.

La primera selección es sobre cuales de los elementos en el cuarto de bombas tiene sensores inteligentes, para crear una frecuencia y una ruta solo para los sensores inteligentes, en los cuales se van a medir vibración y estado de rodamientos. Para el primer día.

Las variables a medir con sensor magnético, o tornillo son más versátiles, ya que no requiere cambio de sensor, el puede hacer todo el trabajo. Esta ruta es más frecuente, debido a que la mayoría de máquinas tienen tornillos instalados para este caso se medirá vibración, cavitación, estado de rodamiento.

Mediciones como temperatura o inspecciones visuales se especificaran en otra ruta porque para estas mediciones se requieren otras herramientas como pistolas laser o lámpara estroboscópica.

La primera máquina que no tiene sensor inteligente, o sea de tornillo, debe ser la que este próxima a sobrepasar los límites de condición según la normas ISO y que sea muy importante en la línea de proceso, y que este compuesta por otros elementos adicionales.

Para el ejemplo ilustrado se debe iniciar con los sensores inteligentes de todo el cuarto de bombas, y tomar las medidas que se permite con el.

La frecuencia debe continuar con los elementos de tornillo, en el cual muy posiblemente se inicie con los equipos clasificados en el grupo 1, ya que no tiene elementos similares a otros y están compuesto por diferentes componentes internos, para solo medir vibraciones, estado de rodamiento y cavitación en los tornillos perforados en las máquinas, y aprovechar los elementos cercanos, para hacer las mismas medidas.

Por último, ya que se tienen todos los equipos clasificados, seguiría sacar aparte las mediciones que requiera otras herramientas de inspección, como las inspecciones visuales o las de temperatura, Según lo planteado anteriormente las frecuencias de tornillos serian la más largas, por esta razón realizar la de los elementos más cercanos seria de gran ayuda y permite rutas y frecuencias más optimas.

La matriz muestra como los ciclos de inspección para estos tres elementos es cerrado y se debe repetir sus medidas cada cierto día; que los componentes son flexibles y que las "X" son para tener en cuenta pero son modificables, se pueden agregar o quitar.

La estructura permite identificar rápidamente cuales elementos son para cada día, cuales variables y sus ubicaciones; además de esto se define la variable y su sensor específico, así se evita la perdida de tiempo por cambio de sensores.



El objetivo 4 tiene como alcance llegar hasta la matriz de actividades, la cual ya se planteo anteriormente, pero la cantidad de maquinas y equipos pueden hacer de la búsqueda diaria algo engorrosa, por esta razón se crea un pequeño programa para la facilidad de esta base de datos.

## 5.5 PROGRAMA PARA LA FACILIDAD DE ESTA BASE DE DATOS

La matriz creada permite hacer las frecuencias de medición sin ningún problema, pero como se quiere es tener un plan completo y evitar perdida de tiempo y del orden, se necesita alguna herramienta que nos ayude para esta tarea.

La posible implementación de un pequeño programa que permita observar las maquinas, elementos y variables a monitorear diariamente, prestara ayuda a la comprensión y funcionamiento de quien revise o requiera la matriz cronograma para trabajos, el programa usa la herramienta VISUAL BASIC y tiene unos componentes y un funcionamiento especifico que se explica a continuación.

### 5.5.1 Componentes básicos del programa

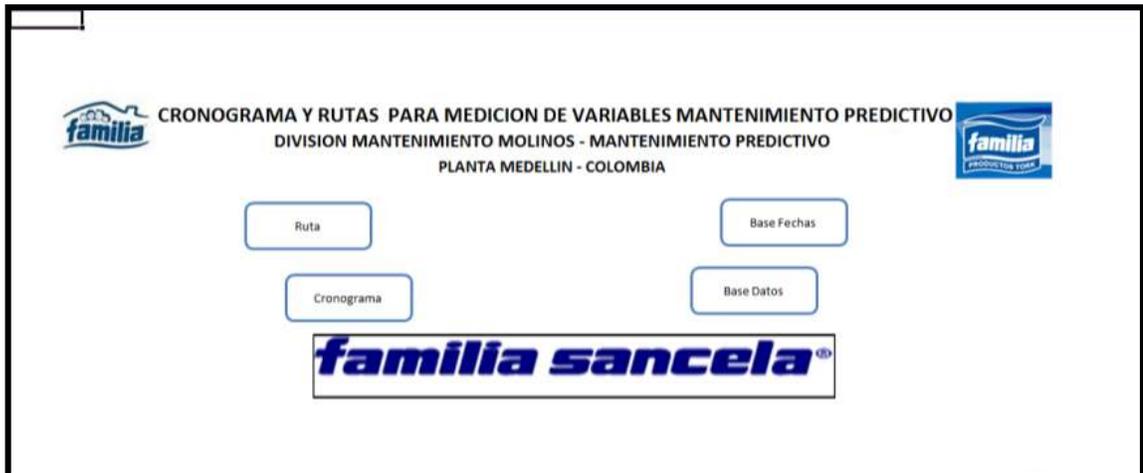
Los elementos básicos están en la integración de bases de datos según lo que se quiere mostrar ya que la programación en VISUAL BASIC tiene parámetros básicos, además permite facilitar el trabajo de manejar una herramienta muy poco usada en la universidad.

El programa esta compuesto por 5 hojas diferentes;

- Menú
- Base de fechas
- Ruta
- Base de datos
- Cronograma

La primera hoja es el cronograma que básicamente es en donde seleccionamos la hoja a trabajar y donde a todos llegan.

Figura 95. Base menú



El menú es donde llegan todas las hojas y de donde se dirige a las hojas que requiere el programa. La segunda hoja es la base de fechas.

Figura 96. Base de fechas

Día	Mes	Año			
1	Enero	2009			
2	Febrero	2010			
3	Marzo	2011			
4	Abril	2012			
5	Mayo	2013			
6	Junio	2014			
7	Julio	2015			
8	Agosto	2016			
9	Septiembre	2017			
10	Octubre	2018			
11	Noviembre	2019			
12	Diciembre	2020			
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					

Menú

La base de fechas muestra los días de los meses, meses y años, para aumentar los años solo es poner los nuevos años y ya. La hoja 3 es ruta, donde realmente se encuentra el resultado, el programa busca en la hoja 4 y 5 para mostrar que maquinas y que variables se deben medir a diario.

Figura 97. Hoja ruta

Ruta seleccionada para:			1	Abril	2009	VIBROTIP				VISUAL	
Ubicación técnica	PROCESO	MAQUINA	LOCALIZACION	SENSOR	COD. No.	Σ	⊕	⊖	⊗	⊙	◀
PP4-AG001	LINEA DE PULPEO 1	PP4-AG001-CHPR	LADO PROPELA VERTICA	VIBCODE	0052	X	X				
PP4-AG002	LINEA DE PULPEO 2	PP4-AG002-CHPR	LADO PROPELA VERTICA	VIBCODE	0054	X	X				
PP4-AG003	LIMPIEZA GRUESA	PP4-AG003-CHPR	LADO PROPELA VERTICA	VIBCODE	0055	X	X				
PP4-AG004	LIMPIEZA FINA	PP4-AG004-CHPR	LADO PROPELA VERTICA	VIBCODE	0056	X	X				
PP4-AG005	LIMPIEZA FINA	PP4-AG005-CHPR	LADO PROPELA VERTICA	VIBCODE	0057	X	X				
PP4-AG006	LINEA ESPESADO	PP4-AG006-CHPR	LADO PROPELA VERTICA	VIBCODE	0058	X	X				
PP4-AG007	LINEA DE PULPEO 1	PP4-AG007-CHPR	LADO PROPELA VERTICA	VIBCODE	0053	X	X				
PP4-BA001	LINEA ESPESADO	BOMBA	LADO TRANSMISION RADIAL	VIBCODE	0048	X					
PP4-BP001	LINEA DE PULPEO 1	BOMBA	LADO TRANSMISION RADIAL	VIBCODE	0027	X					
PP4-BP002	LINEA DE PULPEO 2	BOMBA	LADO TRANSMISION RADIAL	VIBCODE	0051	X					
PP4-BP003	LINEA DE PULPEO 1	BOMBA	LADO TRANSMISION RADIAL	VIBCODE	0028	X					
PP4-BP004	LINEA DE PULPEO 2	BOMBA	LADO TRANSMISION RADIAL	VIBCODE	0039	X					
PP4-BP005	LIMPIEZA GRUESA	BOMBA	LADO TRANSMISION RADIAL	VIBCODE	0026	X					
PP4-BP006	LINEA DESTINTADO	BOMBA	LADO TRANSMISION RADIAL	VIBCODE	0006	X					
PP4-BP007	LINEA DESTINTADO	BOMBA	LADO TRANSMISION RADIAL	VIBCODE	0005	X					
PP4-BP008	LINEA DESTINTADO	BOMBA	LADO TRANSMISION RADIAL	VIBCODE	0004	X					
PP4-BP009	LINEA DESTINTADO	BOMBA	LADO TRANSMISION RADIAL	VIBCODE	0003	X					
PP4-BP010	LINEA DESTINTADO	BOMBA	LADO TRANSMISION RADIAL	VIBCODE	0001	X					
PP4-BP011	LINEA DESTINTADO	BOMBA	LADO TRANSMISION RADIAL	VIBCODE	0002	X					
PP4-BP012	LIMPIEZA FINA	BOMBA	LADO TRANSMISION RADIAL	VIBCODE	0025	X					
PP4-BP013	LIMPIEZA FINA	BOMBA	LADO TRANSMISION RADIAL	VIBCODE	0040	X	X				
PP4-BP014	LIMPIEZA FINA	BOMBA	LADO TRANSMISION RADIAL	VIBCODE	0041	X	X				
PP4-BP015	LIMPIEZA FINA	BOMBA	LADO TRANSMISION RADIAL	VIBCODE	0042	X	X				
PP4-BP016	LIMPIEZA FINA	BOMBA	LADO TRANSMISION RADIAL	VIBCODE	0043	X	X				
PP4-BP017A	LINEA ESPESADO	BOMBA	LADO TRANSMISION RADIAL	VIBCODE	0046	X	X				

Ruta del Día

Seleccione la fecha de la Ruta que desea ver

Día: 28 Mes: Abril Año: 2009

Aceptar Cancelar



La hoja ruta permite ver la fecha y maquinas por la fecha; además de seleccionar el día que se requiera para verificar que se tiene, solo dando clic en el icono “ver ruta”. La siguiente hoja se llama base de datos.

Figura 98. Hoja bases de datos.

Ubicación técnica	PROCESO	MAQUINA	LOCALIZACION	SENSOR	COD. No.	VIBROTIP				VISUAL
						Σ	⊕	⊖	⊗	
PP4-AG001	LINEA DE PULPEO 1	PP4-AG001-CHPR	LADO PROPELA VERTICA	VIBCODE	0052	X	X			X
PP4-AG001	LINEA DE PULPEO 1	PP4-AG001-CHPR	CARCAZA LADO PROPELA	VTP INTERNAL				X		
PP4-AG001	LINEA DE PULPEO 1	PP4-AG001-CHPO	LADO POLEA VERTICA	VIP 6,142		X	X			
PP4-AG001	LINEA DE PULPEO 1	PP4-AG001-CHPO	CARCAZA LADO POLEA	VTP INTERNAL				X		
PP4-AG001	LINEA DE PULPEO 1	PP4-AG001-POLEA	BANDA DE TRANSMISION						X	
PP4-AG001	LINEA DE PULPEO 1	PP4-AG001-MOTOR	LADO TRANSMISION RADIAL	VIP 6,142		X	X			
PP4-AG001	LINEA DE PULPEO 1	PP4-AG001-MOTOR	LADO TRANSMISION AXIAL	VIP 6,142		X				
PP4-AG001	LINEA DE PULPEO 1	PP4-AG001-MOTOR	LADO VENTILADOR RADIAL	VIP 6,142		X	X			
PP4-AG001	LINEA DE PULPEO 1	PP4-AG001-MOTOR	CARCAZA MOTOR	VTP INTERNAL				X		
PP4-AG002	LINEA DE PULPEO 2	PP4-AG002-CHPR	LADO PROPELA VERTICA	VIBCODE	0054	X	X			X
PP4-AG002	LINEA DE PULPEO 2	PP4-AG002-CHPR	CARCAZA LADO PROPELA	VTP INTERNAL				X		
PP4-AG002	LINEA DE PULPEO 2	PP4-AG002-CHPO	LADO POLEA VERTICA	VIP 6,142		X	X			
PP4-AG002	LINEA DE PULPEO 2	PP4-AG002-CHPO	CARCAZA LADO POLEA	VTP INTERNAL				X		
PP4-AG002	LINEA DE PULPEO 2	PP4-AG002-POLEA	BANDA DE TRANSMISION						X	
PP4-AG002	LINEA DE PULPEO 2	PP4-AG002-MOTOR	LADO TRANSMISION RADIAL	VIP 6,142		X	X			
PP4-AG002	LINEA DE PULPEO 2	PP4-AG002-MOTOR	LADO TRANSMISION AXIAL	VIP 6,142		X				
PP4-AG002	LINEA DE PULPEO 2	PP4-AG002-MOTOR	LADO VENTILADOR RADIAL	VIP 6,142		X	X			
PP4-AG002	LINEA DE PULPEO 2	PP4-AG002-MOTOR	CARCAZA MOTOR	VTP INTERNAL				X		
PP4-AG003	LIMPIEZA GRUESA	PP4-AG003-CHPR	LADO PROPELA VERTICA	VIBCODE	0055	X	X			X
PP4-AG003	LIMPIEZA GRUESA	PP4-AG003-CHPR	CARCAZA LADO PROPELA	VTP INTERNAL				X		
PP4-AG003	LIMPIEZA GRUESA	PP4-AG003-CHPO	LADO POLEA VERTICA	VIP 6,142		X	X			
PP4-AG003	LIMPIEZA GRUESA	PP4-AG003-CHPO	CARCAZA LADO POLEA	VTP INTERNAL				X		
PP4-AG003	LIMPIEZA GRUESA	PP4-AG003-POLEA	BANDA DE TRANSMISION						X	
PP4-AG003	LIMPIEZA GRUESA	PP4-AG003-MOTOR	LADO TRANSMISION RADIAL	VIP 6,142		X	X			
PP4-AG003	LIMPIEZA GRUESA	PP4-AG003-MOTOR	LADO TRANSMISION AXIAL	VIP 6,142		X				
PP4-AG003	LIMPIEZA GRUESA	PP4-AG003-MOTOR	LADO VENTILADOR RADIAL	VIP 6,142		X	X			
PP4-AG003	LIMPIEZA GRUESA	PP4-AG003-MOTOR	CARCAZA MOTOR	VTP INTERNAL				X		
PP4-AG004	LIMPIEZA FINA	PP4-AG004-CHPR	LADO PROPELA VERTICA	VIBCODE	0056	X	X			X
PP4-AG004	LIMPIEZA FINA	PP4-AG004-CHPR	CARCAZA LADO PROPELA	VTP INTERNAL				X		
PP4-AG004	LIMPIEZA FINA	PP4-AG004-CHPO	LADO POLEA VERTICA	VIP 6,142		X	X			

La base de datos es de donde el programa lee los datos, obtiene la información que se muestra en la hoja ruta. Y por ultimo se tiene el cronograma.

Figura 99. Hoja cronograma

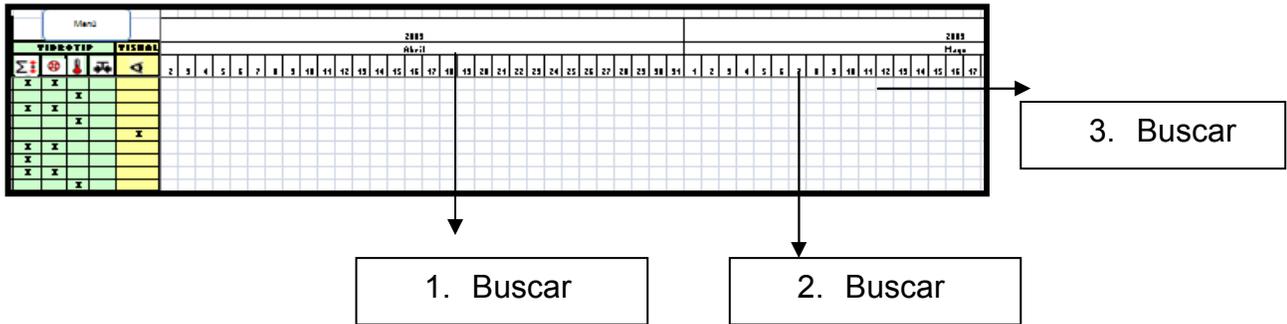
CRONOGRAMA						Menú		2009																					
								Abril																					
Ubicación técnica	PROCESO	MÁQUINA	LOCALIZACIÓN	SENSOR	COD No.	VIBROTIP	VISUAL	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
PP4-AG001	LINEA DE PULPEO 1	PP4-AG001-CHPR	LADO PROPELA VERTICA	VIBCODE	0052	X	X																						
			CARCAZA LADO PROPELA	VTP INTERNAL		X	X																						
		PP4-AG001-CHPO	LADO POLEA VERTICA	VP 6,142		X	X																						
			CARCAZA LADO POLEA	VTP INTERNAL			X	X																					
		PP4-AG001-POLEA	BANDA DE TRANSMISION					X	X																				
				LADO TRANSMISION RADIAL	VP 6,142		X	X																					
				LADO TRANSMISION AXIAL	VP 6,142		X	X																					
PP4-AG001-MOTOR	CARCAZA MOTOR	LADO VENTILADOR RADIAL	VP 6,142		X	X																							
						X	X																						
						X	X																						
						X	X																						
PP4-AG002	LINEA DE PULPEO 2	PP4-AG002-CHPR	LADO PROPELA VERTICA	VIBCODE	0054	X	X																						
			CARCAZA LADO PROPELA	VTP INTERNAL		X	X																						
		PP4-AG002-CHPO	LADO POLEA VERTICA	VP 6,142		X	X																						
			CARCAZA LADO POLEA	VTP INTERNAL			X	X																					
		PP4-AG002-POLEA	BANDA DE TRANSMISION					X	X																				
				LADO TRANSMISION RADIAL	VP 6,142		X	X																					
				LADO TRANSMISION AXIAL	VP 6,142		X	X																					
PP4-AG002-MOTOR	CARCAZA MOTOR	LADO VENTILADOR RADIAL	VP 6,142		X	X																							
						X	X																						
						X	X																						
						X	X																						
PP4-AG003	LIMPIEZA GRUESA	PP4-AG003-CHPR	LADO PROPELA VERTICA	VIBCODE	0055	X	X																						
			CARCAZA LADO PROPELA	VTP INTERNAL		X	X																						
		PP4-AG003-CHPO	LADO POLEA VERTICA	VP 6,142		X	X																						
			CARCAZA LADO POLEA	VTP INTERNAL			X	X																					
		PP4-AG003-POLEA	BANDA DE TRANSMISION					X	X																				
				LADO TRANSMISION RADIAL	VP 6,142		X	X																					
				LADO TRANSMISION AXIAL	VP 6,142		X	X																					
PP4-AG003-MOTOR	CARCAZA MOTOR	LADO VENTILADOR RADIAL	VP 6,142		X	X																							
						X	X																						
						X	X																						
						X	X																						
PP4-AG004	LIMPIEZA FINA	PP4-AG004-CHPR	LADO PROPELA VERTICA	VIBCODE	0056	X	X																						
			CARCAZA LADO PROPELA	VTP INTERNAL		X	X																						
		PP4-AG004-CHPO	LADO POLEA VERTICA	VP 6,142		X	X																						
			CARCAZA LADO POLEA	VTP INTERNAL			X	X																					
		PP4-AG004-POLEA	BANDA DE TRANSMISION					X	X																				
				LADO TRANSMISION RADIAL	VP 6,142		X	X																					
				LADO TRANSMISION AXIAL	VP 6,142		X	X																					
PP4-AG004-MOTOR	CARCAZA MOTOR	LADO VENTILADOR RADIAL	VP 6,142		X	X																							
						X	X																						
						X	X																						
						X	X																						

El cronograma permite ingresar las X para selección de las variables y las frecuencias a medir; de esta hoja se debe llevar datos a la hoja base de datos, como se ve es una relación entre la base de datos, cronograma y ruta.

### 5.5.2 Cómo funciona

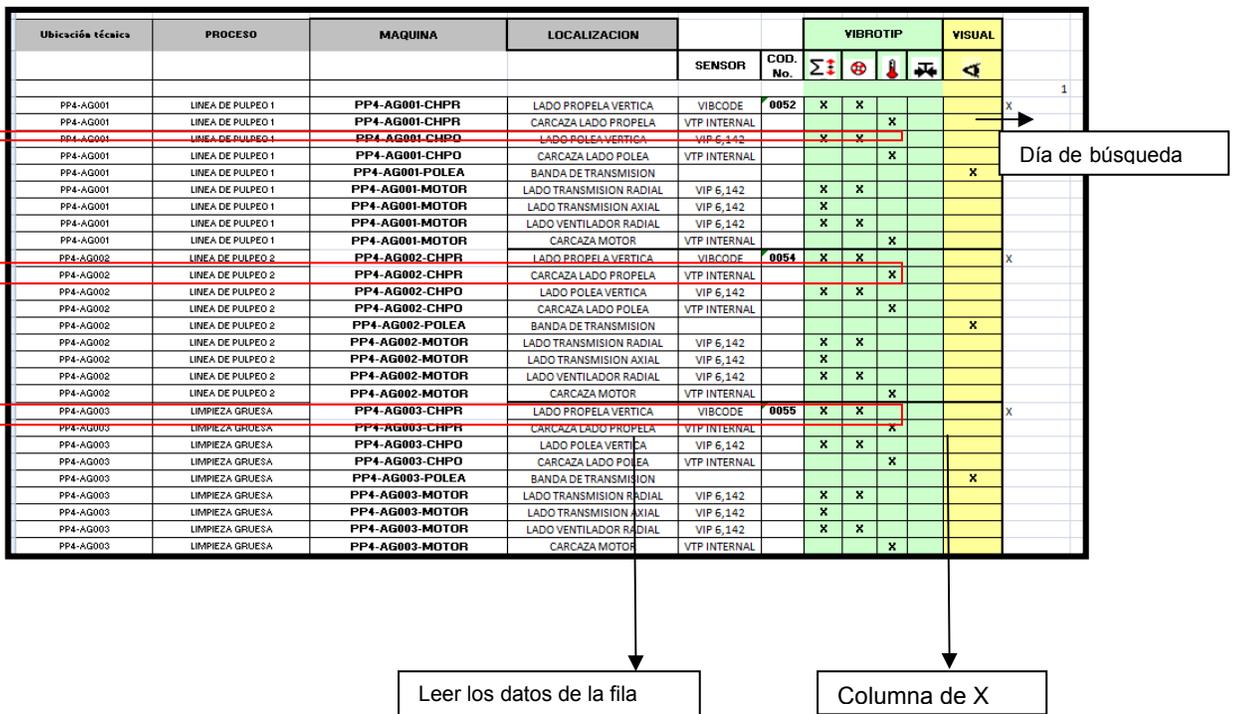
El funcionamiento es realmente básico. Inicialmente en la base cronograma el debe buscar el factor años, después de encontrar año, busca el mes y finalmente el día; estos valores de día, mes y año se ingres en la hoja ruta

Figura 100. Lectura de fechas



Al momento que encuentre los valores ingresados, debe bajar en la columna donde esta la fecha o el día e identificar las casillas con X, al identificarlas debe pasar a la hoja bases de dato, y ubicar las X en los puntos que se relacionan entre las dos hojas.

Figura 101. Lectura de hoja bases de datos



La columna del extremo derecho muestra el día seleccionado en su parte superior y abajo las X marcadas de los elementos que tienen ese día específico; a si solo queda una única columna con unas pocas X; el programa debe leer todos los componentes de la fila que tiene la X y llevarlos a la hoja ruta.

Figura 102. Hoja resultado de ruta

Ruta seleccionada para:				Día	Mes	Año	VIBROTIP					VISUAL	Menú
				2	Abril	2009							Ver Ruta
Ubicación técnica	PROCESO	MAQUINA	LOCALIZACION	SENSOR	COD. Ito.	Σ	⊕	⊖	⊗	⊙	⊚	⊛	⊜
MP4-AG003	PROCESO DE APROXIMACIÓN	MP4-AG003-CHPO	LADO POLEA VERTICA	VIP 6,142		X	X						
MP4-AG003	PROCESO DE APROXIMACIÓN	MP4-AG00-3-MOTOR	LADO TRANSMISION RADIAL	VIP 6,142		X	X						
MP4-AG003	PROCESO DE APROXIMACIÓN	MP4-AG00-3-MOTOR	LADO TRANSMISION AXIAL	VIP 6,142		X							
MP4-AG003	PROCESO DE APROXIMACIÓN	MP4-AG00-3-MOTOR	LADO VENTILADOR RADIAL	VIP 6,142		X	X						
MP4-AG004	PROCESO DE APROXIMACIÓN	MP4-AG004-CHPO	LADO POLEA VERTICA	VIP 6,142		X	X						
MP4-AG004	PROCESO DE APROXIMACIÓN	MP4-AG004-MOTOR	LADO TRANSMISION RADIAL	VIP 6,142		X	X						
MP4-AG004	PROCESO DE APROXIMACIÓN	MP4-AG004-MOTOR	LADO TRANSMISION AXIAL	VIP 6,142		X							
MP4-AG004	PROCESO DE APROXIMACIÓN	MP4-AG004-MOTOR	LADO VENTILADOR RADIAL	VIP 6,142		X	X						
MP4-BP003	PROCESO DE APROXIMACIÓN	BOMBA	LADO IMPELLER RADIAL	VIP 6,142		X	X						
MP4-BP003	PROCESO DE APROXIMACIÓN	BOMBA	LADO IMPELLER AXIAL	VIP 6,142		X							
MP4-BP003	PROCESO DE APROXIMACIÓN	BOMBA	VOLUTA	VIP 6,142								X	
MP4-BP003	PROCESO DE APROXIMACIÓN	MP4-BP003-MOTOR	LADO TRANSMISION RADIAL	VIP 6,142		X	X						
MP4-BP003	PROCESO DE APROXIMACIÓN	MP4-BP003-MOTOR	LADO TRANSMISION AXIAL	VIP 6,142		X							
MP4-BP003	PROCESO DE APROXIMACIÓN	MP4-BP003-MOTOR	LADO VENTILADOR RADIAL	VIP 6,142		X	X						
MP4-BP004	PROCESO DE APROXIMACIÓN	BOMBA	LADO IMPELLER RADIAL	VIP 6,142		X	X						
MP4-BP004	PROCESO DE APROXIMACIÓN	BOMBA	LADO IMPELLER AXIAL	VIP 6,142		X							
MP4-BP004	PROCESO DE APROXIMACIÓN	BOMBA	VOLUTA	VIP 6,142								X	
MP4-BP004	PROCESO DE APROXIMACIÓN	MP4-BP004-MOTOR	LADO TRANSMISION RADIAL	VIP 6,142		X	X						
MP4-BP004	PROCESO DE APROXIMACIÓN	MP4-BP004-MOTOR	LADO TRANSMISION AXIAL	VIP 6,142		X							
MP4-BP004	PROCESO DE APROXIMACIÓN	MP4-BP004-MOTOR	LADO VENTILADOR RADIAL	VIP 6,142		X	X						
MP4-BP005	PROCESO DE APROXIMACIÓN	BOMBA	VOLUTA	VIP 6,142								X	
MP4-BP005	PROCESO DE APROXIMACIÓN	MP4-BP005-CHT	LADO IMPELLER AXIAL	VIP 6,142		X							
MP4-BP005	PROCESO DE APROXIMACIÓN	MP4-BP005-CHO	LADO IMPELLER AXIAL	VIP 6,142		X							
MP4-BP005	PROCESO DE APROXIMACIÓN	MP4-BP005-RED001	LADO ENTRADA	VIP 6,142		X	X						
MP4-BP005	PROCESO DE APROXIMACIÓN	MP4-BP005-RED001	LADO SALIDA	VIP 6,142		X	X						

La hoja ruta muestra los resultados obtenidos de la lectura de la base de datos y en esta hoja es donde los mecánicos deben revisar que acciones de medición tiene para el trabajo diario, y que se debe de cumplir además de agregar nuevos equipos si lo considera necesario.

## 6. RECOMENDACIONES

Las posibles recomendaciones a mostrar en esta sección son obtenidas de la experiencia y del desarrollo durante el trabajo. Estas acciones a mostrar están en la línea de aplicación, teórica y práctica del funcionamiento y seguimiento de las variables de estado en los molinos de la industria papelera.

Las variables a medir en el sistema, deberá tener en cuenta otra variable a la cual no se le presta mucha atención, que es el nivel de corrosión, debido a los niveles de extrema humedad que manejan algunos equipos; para que no afecte los niveles de producción de la empresa.

El efecto Doppler es un factor el cual se puede ocurrir en elementos de vibración. La clara observación de factores de cambio de velocidad y los cambios de tipo de papel, nos puede dar algunas respuestas para el monitoreo y control de las variables de análisis.

Las mediciones de vibración se recomiendan medir dependiendo el tipo de máquina que se tienen, en el caso específico, se cuenta con equipos que están en un rango entre 600 a 60000 ciclos por minuto (CPM) lo cual dice la literatura que se debe medir en el formato RMS ya que su parámetro de medición de frecuencia es la velocidad. La velocidad de la vibración tiene una relación directa con la severidad de la vibración, por eso se destaca en todas las mediciones y su unidad de medida es en mm/s,

El valor medio de las mediciones históricas de cada máquina permite saber el estado normal de su funcionamiento, cuando existan desviaciones continuas o pronunciadas estas indicaran una posible falla.

Se deben tomar datos antes y después de una reparación ya que se deben aprovechar las medidas del antes para poder estandarizar dicho problema, después de la reparación se toma la medida para que manifieste la evolución del elemento reparado o de cualquier componente de la máquina cambiado

Se debe de mantener en el historial de mediciones solo datos coherentes y tomados con precisión, ya que se puede comparar las mediciones con maquinas de iguales características y de iguales condiciones de trabajo.

El valor medio de las mediciones históricas de cada máquina permite saber el estado normal de su funcionamiento, cuando existan desviaciones continuas o pronunciadas estas indicaran una posible falla.

La agilidad y la eficiencia de las mediciones depende de de los equipos cargados al Vibrotip mediante rutas de medición, para ello se recomienda tener en cuenta, el tipo de Variables a medir, la ubicación espacial del equipo dentro de la empresa, los diferentes sensores que posiblemente se usen para cumplir con las mediciones. Para ello es muy útil utilizar el programa realizado en Excel

El análisis de las mediciones de nivel 1 dan a entender que existe alguna falla en la máquina. Para una mayor prevención es necesario programar un numero de equipos para que una empresa especializada en mantenimiento predictivo haga el análisis más profundo sobre las maquinas más criticas.

El nivel dos de mediciones permite profundizar más en las consecuencias de las fallas, por ello se recomienda realizar un análisis de costo beneficio para ascender a este nivel, pero antes utilizando el ya instalado a una alta eficiencia

Las variables medidas y monitoreadas no son suficientes para controlar la totalidad de las fallas, para ello se debe de apoyar del departamento eléctrico y

realizar actividades de termografía y chequeos de corriente y voltaje, en la cantidad de motores involucrados en este proceso y en las conexiones de toda la planta.

Incrementar las mediciones y las frecuencias de monitoreo cuando se presente alguna advertencias, para ver la evolución de la falla y tratar de pronosticar el tiempo en que pueda fallar la máquina.

Las modificaciones de las alarmas pueden ser una herramienta útil ya que permite optimizar los rangos de funcionamiento, por lo que se pueden incrementar los valores de falla, si se observa en la practica, que el equipo sigue operando con optimas condiciones, o en su defecto disminuir los valores de las alarmas si se detecta alguna perdida de condición durante la operación.

## 7. CONCLUSIONES

El comienzo del proyecto se basó en la fundamentación de los conceptos de las variables de condición de estado, como vibraciones, estado de rodamientos, cavitación y temperatura y así analizar las maquinas involucradas en la industria papelera para luego instalar e implementar una prueba piloto en un pequeño grupo de bombas de pulpa, sorteando posibles problemas en las futuras instalaciones del resto de equipos.

La gestión de mantenimiento predictivo es costosa y más cuando se decide adquirir una herramienta especializada en el monitoreo de condiciones. Por ello debe analizarse la opción de tercerizar este servicio

En la aplicación de mantenimiento predictivo resulta necesario dividir los equipos en subsistemas, clasificando las variables de condición de estado para de esta forma mediante de un software consignar la información.

Se utiliza EXCEL como herramienta para listar los equipos productivos.

En los primeros meses de implementación, el análisis de las vibraciones y del estado de rodamientos arroja resultados muy confiables que permitieron adelantarse a las fallas y perdidas de calidad en el producto, por excesivas vibraciones en los rodillos de presión de la máquina de papel, por otro lado en las bombas permitió identificar la defectuosa lubricación de los rodamientos, los cuales se detectaron antes de la falla.

Las mediciones de las condiciones de estado permiten informar al departamento de producción que existe una falla en algún equipo, y de esta forma se proyecte la producción futura y la parada programada para intervenir la máquina.

Al definir correctamente las alarmas y advertencias que otorga el software experto, evita que se cambien elementos de una máquina, que puede no haber llegado al punto de falla o de mal funcionamiento des esta forma se reduce los inventarios de repuestos.

Los datos del software sirven para detectar cavitación n bombas centrifugas Permitiendo analizar si hay necesidad de cambiar la bomba o puede permitirse su funcionamiento durante un tiempo más, apoyando la gestión de activos.

El monitoreo de condiciones permite convertir el mantenimiento correctivo, en mantenimiento planeado, ya que si se analiza cada equipo concienzudamente, estos no van a fallar repentinamente, permitiendo adelantarse a las fallas futuras.

Los reportes son una herramienta de tipo gerencial muy útiles a la hora de ver las consecuencias de las fallas en las maquinas criticas y las frecuencias de las mismas, para, programar los equipos en stand-by.

El control de condiciones de la maquinaria permite observar la proximidad de la falla, y poder incrementar el mantenimiento programado, dejando así al mantenimiento correctivo para casos aislados, aumentando la disponibilidad de las máquinas y disminuyendo su mantenibilidad.

El mantenimiento predictivo obtenido mediante el equipo y su software es el punto de partida para implementar el RCM.

Tener en cuenta las ubicaciones de las mediciones. Para el estado de rodamientos es de vital importancia, medir su condición en la zona de carga del mismo, para tener resultados óptimos.

Las propuestas hechas se basan a partir del estudio y asesoría en puntos de medición y de los síntomas presentados en cada punto de medición. Lo anterior hace parte del conocimiento que conlleva a la formación académica e investigación pertinente de los estudiantes que realizan este proyecto.

La finalidad del análisis de vibraciones es encontrar un aviso con suficiente tiempo para poder analizar causas y forma de resolver el problema ocasionando el paro mínimo de la máquina.

La esencia del estudio de vibraciones es realizar un análisis de las mismas, donde el análisis consta de dos etapas adquisición e interpretación de datos, para determinar las condiciones mecánicas del equipo y detectar posibles fallas específicas

La vibración se toma generalmente en rodamientos de la máquina o puntos donde sea más probable una falla por acoplamiento, equilibrio, puntos donde se transmitan las fuerzas vibratorias

La medición de los impulsos de choque permite detectar rápidamente las vibraciones a altas frecuencias, que son características de los defectos en los rodamientos o engranajes

Las aplicaciones del software Omnitrend se deben seguir explorando, ya que se cuenta con muchos elementos aun desconocidos que pueden beneficiar los resultados de la compañía.

La matriz de Excel debe seguir en constante desarrollo con las rutas y frecuencias que requiere el departamento de mantenimiento, para ser una herramienta de uso actual y a futuro.

La constante capacitación en términos de resultados y análisis de las variables de condición así como el uso de las nuevas tecnologías como el Vibrotip permiten tener un mantenimiento predictivo actualizado y en capacidad enfrentar nuevos retos.

## 8. BIBLIOGRAFÍA.

### CLÁSICA:

AGUDELO, Carlos Mario. Tesis de grado Mantenimiento predictivo. Medellín, 1990. 119p. UNIVERSIDAD EAFIT

BAENA, Juan Gonzalo, Notas de clase, curso especializado en TPM, UNIVERSIDAD EAFIT 2008

BENTLY, Donald y Otro. Fundamentals of rotating machinery diagnostics Usa, Nevada: Editorial Bently. 2002. 725p. ISBN: 0971408106.

BIANCHI, Alejandro y Otro. Diagnóstico de Fallas Mediante el Análisis de Vibraciones. Buenos Aires: Nueva Librería. 2006. ISBN: 9781104383. 107p

DE BONA, José María.. Gestion del mantenimiento: Guia para el responsable de la conservacion de locales e instalaciones. Madrid - España: Fundacion Confemetal, 1999. 440p. 1v. ISBN 848978681X

FERTIS, Demeter. Mechanical and Structural Vibrations. New York. Wiley. 1995. 804p. ISBN: 0471106003.

GTC 62. Seguridad de funcionamiento y calidad de servicio. Mantenimiento. Terminología Colombia 2008. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y certificación (ICONTEC)

HOLIK,hebert. Hand Book of Paper and Pulp, USA. 2006 524p. ISBN: 3- 527-30997-7

KELLY, Antony y HARRIS, M. Gestion del mantenimiento industrial. Madrid - España: Fundacion REPSOL, 1998. 218P. ISBN 849235060

LAFITA BABIO, Felipe. Introducción a la Teoría de Vibraciones Mecánicas. Barcelona: Labor, 1968. 238p

MORA GUTIERREZ, Luis Alberto. Mantenimiento estrategico para empresas de servicio o industriales, enfoque sistematico Kantiano. Medellin - Colombia: AMG, 2005. 275p. ISBN 9583382183

ORTIZ, Jairo. Acciones predictivas: Tipos de Corrosión. (5-26, Septiembre: Medellin, Antioquia). Notas de clase. Universidad Eafit, 2008-02. p.48-53.

OSORIO Builes, Jorge Alberto y PALAU Ángel, José Fernando. El análisis de vibraciones como la mejor herramienta para determinar el estado de condición en equipo rotatorio. Medellín, 1998. 176p. trabajo de grado (ingeniería mecánica). UNIVERSIDAD EAFIT.

PRUFTECHNIK, *Vibrotip*. Catalogo de aplicaciones del *Vibrotip*. Ismaning - Alemania s.n, 2008.

RAO, B.K.N. Handbook of condition monitoring. Oxford – Reino Unido: Kidlington Elsevier Science, 1996. 603p. ISBN 1856172341

SACRISTÁN, Francisco. Manual del Mantenimiento integral en la empresa. Madrid-España: Fundacion CONFEMETAL, 2001. 465p. 1v. ISBN 8495428180.

SAUCEDO TURRADO, José. Curso sobre reciclaje de papel desperdicio. Familia Sancela S.A. Planta Medellin. Medellin – Colombia: Centro Universitario de Ciencias exactas e ingeniería Guadalajara-Mexico. 2007.

SKF. Catalogo General 4000 Sp. Italia. Torino. Artística Nazionale. 1989 Reg. 47. 63 000. 1989-10.

SOUR, Jean Paul. El mantenimiento fuente de beneficios. Madrid-España: Ediciones Díaz de Santos, 1992. 181p. ISBN 8479780215

TAJIRI, Masaji y GOTOH, Fumio. Autonomous maintenance in seven steps : implementing tpm on the shop floor. Portland: productivity, 1999. 328p. ISBN 1563272199.

THOMSON, William. Teoría de Vibraciones - Aplicaciones. Mexico: Prentice Hall, 1982. 491p. ISBN: 9688800996

VILLANUEVA DOUNCE, Enrique. La producción del mantenimiento Industrial. Mexico D.F - Mexico: Compañía Editorial Continental, 1998. 350p. ISBN 9682610893

## INTERNET

ACIEM@,Palacio Luis.2002. Definición mantenimiento predictivo. [En línea] Junio de 2002.[Citado el : 1 de febrero de 2009] Disponible en internet en:  
<http://74.125.47.132/search?q=cache:IOjv1EOckCMJ:www.aciem.org/bancoconocimiento/H/Herramientademantenimiento/Herramientademantenimiento.asp+herramientas+para+mantenimiento+predictivo&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=co>

A-MAQ@,2005. Tutorial de vibraciones para mantenimiento mecánico. [en línea] febrero 2005 [citado el: 21 de marzo de 2009]. Disponible en: <http://www.a-maq.com/tutoriales.html>

AZIMADLI@, 2009 Análisis y selección de datos de vibración mecánica. [en línea] enero 2009 2005 [citado el: 24 de febrero de 2009]. Disponible en: <http://www.azimadli.com/section.asp?nID=33>

GUEMISA@,1986. Análisis de vibraciones e interpretación de datos. [En línea] febrero de 2002. [Citado el: 24 de marzo de 2009] disponible en: <http://www.guemisa.com/articul/pdf/vibraciones.pdf>

KADANT@2009. Maquinas de la industria papelera. [En línea] 2009. [Citado el: 4 marzo de 2009] Disponible en: <http://www.kadantjohnson.com/>

MONOGRAFIAS@,2002. Mantenimiento predictivo. [en línea] junio de 2002. [citado el: 25 de Septiembre de 2008]. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos17/mantenimientopredictivo.shtml>.

SOLOMANTENIMIENTO@,2005. Mantenimiento Predictivo. [en línea] 24 de abril de 2005. [citado el: 20 de septiembre de 2008]. Disponible en: [http://www.solomantenimiento.com/m\\_predictivo.htm](http://www.solomantenimiento.com/m_predictivo.htm)

MANTOONLINE@,2007 <http://www.mantonline-rcm.com/teoriammtogener.php>

PRÜFTECHNIK @1998. Empresa Prüftechnik, München, Alemania. [En línea] 2008. [Citado el: 12 de diciembre de 2008] Disponible en internet en: <http://213.198.11.41/pt/espanol/index.html>

PRÜFTECHNIKEQUIPOS@1998. Equipos empresa Prüftechnik, München, Alemania. [En línea] 2009 [Citado el: 3 de marzo de 2009] Disponible en internet en:

<http://www.pruftechnik.com/en/condition-monitoring/products/portable-data-collectors/product/vibrotip.html>

IPC@2009. Definición IPC. [En línea] Septiembre de 2008. [Citado el: 24 del junio de 2009] Disponible en internet en:

<http://www.todoexpertos.com/categorias/casa-y-jardin/electricidad-del-hogar/respuestas/1917138/que-es-el-icp-interruptor-de-control-de-potencia>

VIBCODE@2009. Manual monitoreo de condiciones VIBCODE. [En línea] 2009. [Citado el: 6 de abril de 2009] Disponible en internet en:

[http://www.pruftechnik.com.pl/downloads/tn\\_1\\_vibcode.pdf](http://www.pruftechnik.com.pl/downloads/tn_1_vibcode.pdf)

VIBRAVISION@, 2009 Fundamentos de mantenimiento predictivo. [En línea] 2009. [Citado el: 2 de febrero de 2009] Disponible en:

[http://www.preditec.com/PREDITEC/prod\\_TP1\\_Vibraciones\\_sec0300\\_niv2.html](http://www.preditec.com/PREDITEC/prod_TP1_Vibraciones_sec0300_niv2.html)

## ANEXOS

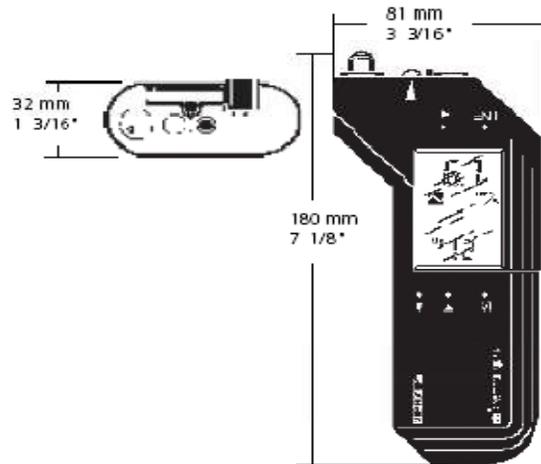
### ANEXO A: Ficha técnica del VIBROTIP

#### Monitoring components

VIBROTIP® instrument	VIB 8.650
QuickMount industrial accelerometer	VIB 8.513
Coaxial cable RG 58	90005-x*
Protective conduit	VIB 8.716-x*
Rubber gland	VIB 8.727
Bulkhead connector (specify BNC or TNC)	VIB 8.714
Connection box	VIB 8.530-N
VIBCODE transducer	VIB 8.660
VIBCODE measurement stud	
M8 thread	VIB 8.680 SET
UNC thread	VIB 8.690 SET
TIFTREND for Windows™ PC software	VIB 8.611

\*specify x meters length

See the VIBROTIP® sales leaflet and the Accessory Catalog VIB 9.459C (available free of charge) for additional details on these and other components.



#### VIBROTIP® technical data

##### Vibration

Sensor built in; external Tandem-Piezo® sensor available	
Measurement units	mm/s, in/s (selectable) RMS or peak-to-peak or 0-to-peak
Frequency range	10 Hz - 1 kHz
Measurement range	0 - 100 mm/s / 0 - 4 in./s $V_{eff}$
Resolution	0.1 mm/s, 0.031 in./s
Accuracy	±5% (DIN 45666)

##### Bearing diagnosis

Sensor built in; external Tandem-Piezo® sensor available	
Measurement units	dB <sub>SV</sub> , dB <sub>N</sub> carpet value, maximum value
Range	-9 - 90 dB <sub>SV</sub>
Resolution	1 dB <sub>SV</sub>

##### Cavitation

Sensor built in; external Tandem-Piezo® sensor available	
Measurement units	dB <sub>C</sub>
Range	-9 - 90 dB <sub>C</sub>
Resolution	1 dB <sub>C</sub>

##### Temperature

Sensor built in; external & replacement probes available	
Accuracy	±3%
Measurement units	°C, °F (selectable)
Measurement range	
Internal probe	-30° - 170° C / -22° - 518° F
External probe (NICRNI)	-30° - 500° C / -22° - 932° F

##### Tachometer

Sensor built in	
Measurement units	rpm
Resolution	1 rpm
Range	60 - 30,000 rpm
Max. distance	1 m / 39"

##### Data collector

Capacity	1000 points (or 400 per function), including time and date for each point
Transfer functions	Import or download
Routing	Up to 1000 points may be set

##### General characteristics

Interface	RS-232C (9600 Baud)
Battery operation	1x IEC 6LR61 (9V)
Lithium	20 hrs.
Alkaline	10 hrs.
Rechargeable	3 hrs.
Display	LCD (5 x 10 mm / 3/16" x 3/8" digits)
Hold function	yes
Intrinsic safety	EEx Ib IIC T4 (optional)
Coal mining safety	EEx Ib I (optional)
Protection	IP 65 (water- and dustproof) Chemical protection
Operating temperature	0° - 60° C / 32° - 140° F
Automatic shutoff	yes
Shock resistance	2 m / 6 ft. drop test
Dimensions	see illustration
Weight incl. battery	300 g / 10 oz.

PRÜFTECHNIK AG  
P.O. Box 12 63  
D-65730 Ismaning, Germany  
Phone: (+49) 89 99 61 60  
Fax: (+49) 89 99 61 52 00  
<http://www.prueftechnik.com>



Productive maintenance technology