Revista Tecnológica ESPOL – RTE, Vol. xx, N. xx, pp-pp, (Mes, 200x), ISSN: 0257-1749.

# Utilización del Software de monitoreo de Análisis de Vibraciones como Técnica Predictiva en el Sistema de Bombeo en la Industria Papelera

Christian Eduardo Viteri M., Ing. Ernesto Martínez L.
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción
Escuela Superior Politécnica del Litoral
Campus Gustavo Galindo Velasco, Km. 30.5 Vía Perimetral, Apartado: 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador.
ceviteri@espol.edu.ec , emartine@espol.edu.ec

## Resumen

*En el presente trabajo se verificó y determinó las mejoras obtenidas con la aplicación del Sistema de Análisis de Vibración desde su implementación en uno de los sistemas principales de la producción, esto es, en el Sistema de Bombeo de la industria Papelera. Además se pudo evaluar mediante un enfoque cuantitativo el aumento en la producción del papel desde su implementación, debido a la disminución de los tiempos que se dedica a la reparación. Paralelamente se evalúo la criticidad de los equipos del Sistema de Bombeo tanto en el Proceso de Preparación de Pasta y Maquina de Papel del Molino 1 y 2 dando como resultados mediante el método cuantitativo que el Proceso de Preparación de Pasta y Maquina de Papel del Molino 1 están en el Rango Semi – Critico.*

*Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones que sintetizan toda la información obtenida en la implementación mostrando los beneficios obtenidos y la evolución de los indicadores establecidos.*

**Palabras Claves:** *Análisis de Vibraciones, Implementación, Sistema de Bombeo*

## Abstract

*In the following research project it was possible to verify and determine the improvements obtained through the application of a vibration analysis system starting from its implementation in one of the principal structures within the production line of this paper industry, the pumping system. In addition, increased paper production was estimated by using a quantitative approach; this is due to a reduction in the time amount allocated to corrective and preventive maintenance tasks. Similarly, the criticality of the pumping system equipments was evaluated during both the pulp manufacturing process and the paper machine from mills one and two. The quantitative method showed that both the pulp manufacturing process and the paper machine from mill one fell within the semi-critical range.*

*Finally, the conclusions and recommendations which synthesize all the information gathered through the implementation of the vibration analysis system are given in order to show the benefits achieved and the improvements on the established indicators.*

**Keywords:** *Vibration analysis system, implementation, pumping system.*

# 1. Introducción

PAPELERA NACIONAL S.A., fue fundada en el año 1961. Inicia sus operaciones en el año 1968, bajo la dirección de Internacional Paper Co., con una capacidad instalada de producción de 10000 TM/año. De papel de peso básico bajo (60 gr/$m^2$). Planeada inicialmente para consumir bagazo de caña, rechazo generado del proceso industrial del Ingenio azucarero San Carlos, para lo cual se dispone en Papelera, una Planta de Pulpa de Bagazo de 60 TM/día de capacidad, actualmente no está en operación para evitar la contaminación del Medio Ambiente exigidos por las Normas ISO 14000.

Esta planta industrial ha sido ampliada por varias ocasiones hasta llegar a período de realización del proyecto (1998 a 2001), con una capacidad de producción de 75000 TM/año. Compuesto de la siguiente manera: 25.000 TM/año en el molino 1, y 50.000 TM/año en el molino 2 y en la actualidad (2007) 30.000 TM/ año en el molino 1 y 70.000 TM/año en el molino2.
Papelera Nacional S.A. cuenta en sus instalaciones con una planta de conversión de papel, donde se fabrican sacos de papel para las industrias cementera y azucarera.

Para su operación Papelera Nacional también cuenta con una planta de fuerza con tres caldera que dan una capacidad instalada de 135,000 lbs/hr de vapor y un turbo-generador Eliot de 4,0 Mwatts de capacidad en mismo que esta Stand by con el Sistema Nacional Interconectado.

En este estudio se emplea la técnica predictiva del Análisis de Vibración en el Sistema de Bombeo en una empresa papelera la cual tiene como alcance el resultado de disminuir los tiempos perdidos por fallas en el Sistema de Bombeo lo que hace que aumente la producción de Papel. Estos resultados se darán al establecer los parámetros que permitan que los equipos a más de mejorar su vida útil incrementen la disponibilidad de los mismos [1].

# 2. Metodología.

Una vez determinada la factibilidad y conveniencia de realizar un mantenimiento predictivo a una máquina o unidad, el paso siguiente es determinar la o las variables físicas a controlar que sean indicativas de la condición de la máquina. El objetivo de esta parte es revisar en forma detallada las técnicas comúnmente usadas en el monitoreo según condición, de manera que sirvan de guía para su selección general. La finalidad del monitoreo es obtener una indicación de la condición (mecánica) o estado de salud de la máquina, de manera que pueda ser operada y mantenida con seguridad y economía.

Por monitoreo, se entendió en sus inicios, como la medición de una variable física que se considera representativa de la condición de la máquina y su comparación con valores que indican si la máquina está en buen estado o deteriorada. Con la actual automatización de estas técnicas, se ha extendido la acepción de la palabra monitoreo también a la adquisición, procesamiento y almacenamiento de datos. De acuerdo a los objetivos que se pretende alcanzar con el monitoreo de la condición de una máquina debe distinguirse entre vigilancia, protección, diagnóstico y pronóstico.

- Vigilancia de máquinas. Su objetivo es indicar cuándo existe un problema. Debe distinguir entre condición buena y mala, y si es mala indicar cuán mala es.

- Protección de máquinas. Su objetivo es evitar fallas catastróficas. Una máquina está protegida, si cuando los valores que indican su condición llegan a valores considerados peligrosos, la máquina se detiene automáticamente.

- Diagnóstico de fallas. Su objetivo es definir cuál es el problema específico. Pronóstico de vida la esperanza a. Su objetivo es estimar cuánto tiempo más Podría funcionar la máquina sin riesgo de una falla catastrófica.

En el último tiempo se ha dado la tendencia a aplicar mantenimiento predictivo o sintomático, sea, esto mediante vibroanálisis, análisis de aceite usado, control de desgastes, etc.

Existen varias técnicas aplicadas para el mantenimiento predictivo entre las cuales tenemos las siguientes:

## 2.1. Análisis de Vibraciones.

El interés de de las Vibraciones Mecánicas llega al Mantenimiento Industrial de la mano del Mantenimiento Preventivo y Predictivo, con el interés de alerta que significa un elemento vibrante en una Maquina, y la necesaria prevención de las fallas que traen las vibraciones a medio plazo como lo muestra la figura 1.

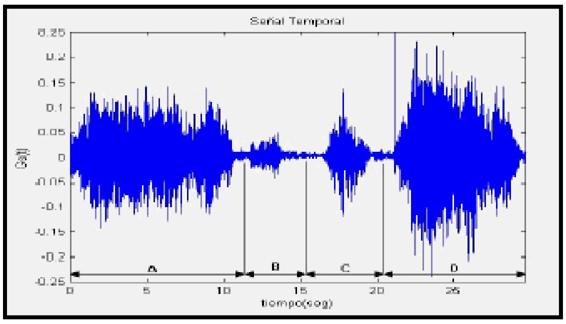



**Figura 1.** Registro de Vibraciones en un ciclo de trabajo

El interés principal para el mantenimiento deberá ser la identificación de las amplitudes predominantes de las vibraciones detectadas en el elemento o máquina, la determinación de las causas de la vibración, y la corrección del problema que ellas representan. Las consecuencias de las vibraciones mecánicas son el aumento de los esfuerzos y las tensiones, pérdidas de energía, desgaste de materiales, y las más temidas: daños por fatiga de los materiales, además de ruidos molestos en el ambiente laboral, etc.

Parámetros de las vibraciones.

- *Frecuencia*: Es el tiempo necesario para completar un ciclo vibratorio. En los estudios de Vibración se usan los CPM (ciclos por segundo) o HZ (hercios).

- *Desplazamiento*: Es la distancia total que describe el elemento vibrante, desde un extremo al otro de su movimiento.

- *Velocidad y Aceleración:* Como valor relacional de los anteriores.

- *Dirección*: Las vibraciones pueden producirse en 3 direcciones lineales y 3 rotacionales

## 3. Instrumentación Utilizada

El sistema Microlog CMXA50 es utilizado por el personal de mantenimiento de máquinas que necesita obtener y analizar datos de vibraciones de las partes giratorias para intentar reducir los costes de mantenimiento y los tiempos de inactividad.

El sistema Microlog CMXA50 se compone de tres elementos:

- Un colector de datos Microlog CMXA50,
- Un equipo host con Machine Analyst, PRISM4 para Windows o software equivalente y
- Una fuente de alimentación.

### 3.1. Descripción del Software de Vibración

El software de vibración denominado PRISMA 4 es el encargado de realizar el análisis de vibración a través de espectros de vibración como se muestra en la figura 3 y mediante el cual podemos tener una idea de lo que está pasando en los equipos y poder tomar medidas correctivas, es decir aplicar el mantenimiento predictivo.

En la implementación del sistema se realiza el acuerdo sobre la forma de estructurar la información en el software Prism4, el establecimiento de áreas dentro de la base de datos, y la configuración de los puntos de medición.

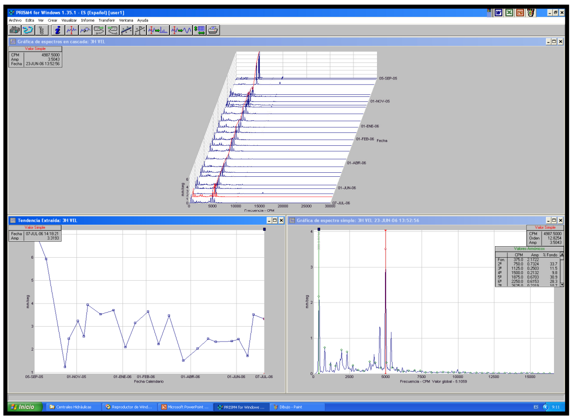


**Figura 3.** Espectros de Vibración en el Software

El software Prism4 contiene una base de datos con rodamientos de diferentes marcas y además con sus características geométricas, necesarias para los cálculos de frecuencias de fallas. El caso muestra la asignación de un rodamiento SKF 6313 como se muestra en la figura 4. La precisión de este cálculo dependerá de que el rodamiento asignado corresponda enteramente con el rodamiento en funcionamiento, y que las RPM configurada en la base de datos sean las correctas.

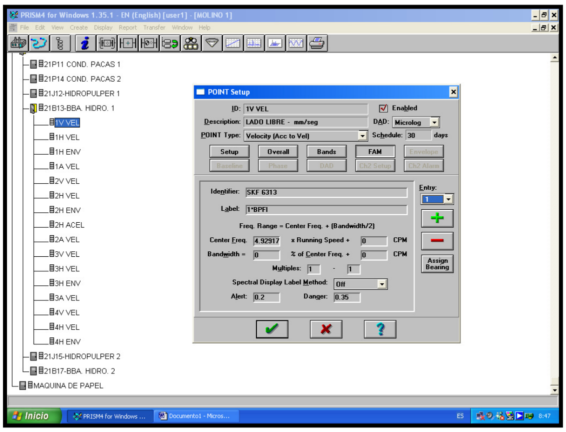



**Figura 4.** Asignación de un Rodamiento SKF 6313

## 3.2. Breve descripción del colector utilizado en las tomas de vibraciones

El colector de datos Microlog CMXA50 es un terminal de adquisición y almacenamiento de datos portátil y ligero.
Registra vibraciones, temperaturas y otras mediciones de control del estado de la maquinaria. Junto con los controles visuales, el Microlog CMXA50 permite realizar análisis detallados de la maquinaria en los entornos industriales más difíciles.


**Figura 5.** El colector (Microlog CMX 450 )

El CMXA50 y sus ampliaciones ejecutan todas las tareas necesarias para un mantenimiento preventivo de la maquinaria. Registra automáticamente mediciones dinámicas (vibraciones) y estáticas (proceso) de casi todas las fuentes, ofrece pantallas de configuración fáciles de usar que permiten captar rápidamente datos relacionados con aplicaciones específicas como por ejemplo el equilibrado, y permite al usuario configurar hasta 12 mediciones para la obtención automática de datos por ubicación de un sensor.[4]

El CMXA50 que se muestra en la figura 5 puede usarse con diferentes dispositivos de entrada. Las mediciones de vibración se registran mediante una sonda magnética o manual, sensores fijos o un sistema de control de maquinaria instalado. Las mediciones de temperatura se obtienen mediante un sensor infrarrojo de proximidad o una sonda de contacto.

Los valores leídos en otros indicadores pueden introducirse en el CMXA50 utilizando las correspondientes teclas alfanuméricas del teclado del CMXA50. También pueden introducirse como notas codificadas las observaciones personales realizadas.

# 3. Resultados Obtenidos

## 3.1. Mejora en el proceso de producción de papel

A partir del año 2003 desde la Implementación del Sistema de Vibración en las bombas vemos que el proceso ha ido mejorando debido al trabajo que se viene haciendo con la inclusión de la técnica de análisis vibración que  el único objetivo es mantener a los equipos en optimas condiciones; es decir con este sistema lo que se trata de conseguir es que los equipos sean cien por ciento confiables.
Los resultados de la implementación del sistema se reflejan en el aumento en la producción anual en la industria de papel lo que hace que las maquinas y equipos alcancen una eficiencia del 100%.
Este proceso de Producción va acompañado de la buena práctica del análisis de vibración que desde su implementación viene dando resultados como se muestra en la TABLA 1.

**Tabla 1**. Producción Anual en toneladas métricas de papel

| PAPELERA NACIONAL S.A. | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PLAN MAESTRO DE PRODUCCIÓN | | | | | | | | | |
| Cantidad Presupuestada | | | | | | | | | |
| | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| MOLINO 1 | 29,408 | 30,099 | 28,931 | 30,858 | 34,428 | 31,269 | 35,947 | 36,476 | 39,043 |
| Corrugado Medio | 16,741 | 8,681 | | 18,650 | 11,906 | 16,369 | 26,915 | 27,164 | 28,741 |
| Extensible | 12,667 | 14,702 | 14,815 | 12,208 | 9,152 | 14,900 | 9,032 | 9,312 | 10,302 |
| Test Liner | | 2,292 | | | | | | | |
| C.Medio Semi-encolado | | 1,620 | | | | | | | |
| C.Medio con bagazo | | 2,804 | 14,116 | | 13,370 | | | | |
| MOLINO 2 | 51,057 | 53,831 | 51,058 | 52,733 | 54,265 | 62,733 | 69,303 | 71,087 | 69,429 |
| Corrugado Medio | 29,379 | 25,862 | | 39,229 | 20,130 | 48,367 | 43,626 | 45,342 | 43,783 |
| Test Liner | 21,678 | 12,469 | 10,540 | 13,504 | 15,907 | 14,366 | 25,677 | 25,745 | 25,646 |
| C.Medio Semi-encolado | | 4,632 | | | 18,228 | | | | |
| C.Medio con bagazo | | 10,868 | 40,518 | | | | | | |
| Total Año: | 80,465 | 83,930 | 79,989 | 83,591 | 88,693 | 94,002 | 105,250 | 107,563 | 108,472 |

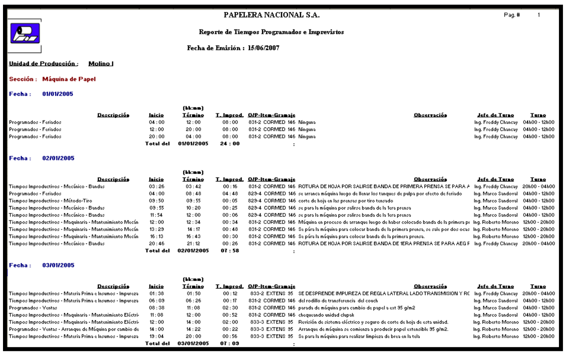
*Fuente: PAPELERA NACIONAL S.A.*

## 4. Análisis de Resultados

### 4.1. Análisis de los tiempos improductivos

Entre la información que se ingresa diariamente, tenemos un reporte denominado Tiempos Programados e Imprevistos, donde se registran tiempos de preparación de máquinas, corrida de producción, paros programados y NO programados; dentro de los cuales se detalla la causa del tiempo improductivo.

En la figura 6 nos detalla claramente los tiempos programados imprevistos que suceden a diario en la Planta y especialmente en el Sistema de Bombeo.



PAPELERA NACIONAL S.A. Pag. # 1

Reporte de Tiempos Programados e Imprevistos

Fecha de Emisión : 15/06/2007

Unidad de Producción : Molino I

Sección : Máquina de Papel

Fecha : 01/01/2005

| Descripción | Inicio | (hh:mm) Término | T. Improd. | O/P-Item-Gramaje | Observación | Jefe de Turno | Turno |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Programados - Feriados | 04 : 00 | 12 : 00 | 08 : 00 | 831-2 CORMED 146 | Ninguna | Ing. Freddy Chancay | 04h00 - 12h00 |
| Programados - Feriados | 12 : 00 | 20 : 00 | 08 : 00 | 831-2 CORMED 146 | Ninguna | Ing. Freddy Chancay | 04h00 - 12h00 |
| Programados - Feriados | 20 : 00 | 04 : 00 | 08 : 00 | 831-2 CORMED 146 | Ninguna | Ing. Freddy Chancay | 04h00 - 12h00 |
| | Total del | 01/01/2005 | 24 : 00 | : | | | |

Fecha : 02/01/2005

| Descripción | Inicio | (hh:mm) Término | T. Improd. | O/P-Item-Gramaje | Observación | Jefe de Turno | Turno |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Tiempos Improductivos - Mecánico - Bandas | 03 : 26 | 03 : 42 | 00 : 16 | 831-2 CORMED 146 | ROTURA DE HOJA POR SALIRSE BANDA DE PRIMERA PRENSA SE PARA A | Ing. Freddy Chancay | 20h00 - 04h00 |
| Programados - Feriados | 04 : 00 | 08 : 48 | 04 : 48 | 829-4 CORMED 146 | se arranca máquina luego de llenar los tanques de pulpa por efecto de feriado | Ing. Marco Sandoval | 04h00 - 12h00 |
| Tiempos Improductivos - Método-Tiro | 09 : 50 | 09 : 55 | 00 : 05 | 829-4 CORMED 146 | corte de hoja en las prensas por tiro tensado | Ing. Marco Sandoval | 04h00 - 12h00 |
| Tiempos Improductivos - Mecánico - Bandas | 09 : 55 | 10 : 20 | 00 : 25 | 829-4 CORMED 146 | se para la máquina por salirse banda de la 1era prensa | Ing. Marco Sandoval | 04h00 - 12h00 |
| Tiempos Improductivos - Mecánico - Bandas | 11 : 54 | 12 : 00 | 00 : 06 | 829-4 CORMED 146 | se para la máquina por salirse banda de la 1era prensa | Ing. Marco Sandoval | 04h00 - 12h00 |
| Tiempos Improductivos - Maquinaria - Mantenimiento Mecán | 12 : 00 | 12 : 34 | 00 : 34 | 831-2 CORMED 146 | Máquina en proceso de arranque luego de haber colocado banda de la primera p | Ing. Roberto Moreno | 12h00 - 20h00 |
| Tiempos Improductivos - Maquinaria - Mantenimiento Mecán | 13 : 29 | 14 : 17 | 00 : 48 | 831-2 CORMED 146 | Se pára la máquina para colocar banda de la primera prensa, se sale por dos ocas | Ing. Roberto Moreno | 12h00 - 20h00 |
| Tiempos Improductivos - Maquinaria - Mantenimiento Mecán | 16 : 13 | 16 : 43 | 00 : 30 | 831-2 CORMED 146 | Se pára la máquina para colocar banda de la primera prensa. | Ing. Roberto Moreno | 12h00 - 20h00 |
| Tiempos Improductivos - Mecánico - Bandas | 20 : 46 | 21 : 12 | 00 : 26 | 831-2 CORMED 146 | ROTURA DE HOJA POR SALIRSE BANDA DE 1ERA PRENSA SE PARA AEG F | Ing. Freddy Chancay | 20h00 - 04h00 |
| | Total del | 02/01/2005 | 07 : 58 | : | | | |

Fecha : 03/01/2005

| Descripción | Inicio | (hh:mm) Término | T. Improd. | O/P-Item-Gramaje | Observación | Jefe de Turno | Turno |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Tiempos Improductivos - Materia Prima e Insumos - Impureza | 01 : 38 | 01 : 50 | 00 : 12 | 833-2 EXTENS 95 | SE DESPRENDE IMPUREZA DE REGLA LATERAL LADO TRANSMISION Y RC | Ing. Freddy Chancay | 20h00 - 04h00 |
| Tiempos Improductivos - Materia Prima e Insumos - Impureza | 06 : 09 | 06 : 26 | 00 : 17 | 831-2 CORMED 146 | del rodillo de transferencia del couch | Ing. Marco Sandoval | 04h00 - 12h00 |
| Programados - Ventas | 08 : 38 | 11 : 08 | 02 : 30 | 831-2 CORMED 146 | parada de máquina para cambio de papel a ext 95 g/m2 | Ing. Marco Sandoval | 04h00 - 12h00 |
| Tiempos Improductivos - Maquinaria - Mantenimiento Eléctri | 11 : 08 | 12 : 00 | 00 : 52 | 831-2 CORMED 146 | chequeando unidad clupak | Ing. Marco Sandoval | 04h00 - 12h00 |
| Tiempos Improductivos - Maquinaria - Mantenimiento Eléctri | 12 : 00 | 14 : 00 | 02 : 00 | 833-3 EXTENS 95 | Revisión de sistema eléctrico y seguro de corte de hoja de esta unidad. | Ing. Roberto Moreno | 12h00 - 20h00 |
| Programados - Ventas - Arranque de Máquina por cambio de | 14 : 00 | 14 : 22 | 00 : 22 | 833-3 EXTENS 95 | Arranque de máquina se comienza a producir papel extensible 95 g/m2. | Ing. Roberto Moreno | 12h00 - 20h00 |
| Tiempos Improductivos - Materia Prima e Insumos - Impureza | 19 : 04 | 20 : 00 | 00 : 56 | 833-3 EXTENS 95 | Se para la máquina para realizar limpieza de brea en la tela | Ing. Roberto Moreno | 12h00 - 20h00 |
| | Total del | 03/01/2005 | 07 : 09 | : | | | |

**Figura 6.** Formato de Control de Tiempos de paradas de los equipos

Este reporte nos sirve para determinar los tiempos de paradas para todas las maquinas que conforman el Molino 1 y Molino 2, pero para nuestro estudio nos vamos a enfocar en tomar los datos específicamente de las Bombas. Este informe es llenado por cada Jefe de Turno encargado de la Producción tanto para los 2 Molinos y revisado por el Intendente de Producción.

Como se muestra en la figura 7 podemos observar que la tendencia de los tiempos perdidos en el Molino 1 y 2 después de la implementación del Sistema de Mantenimiento Predictivo ha ido disminuyendo en comparación con lo que ocurría antes del año 2003.

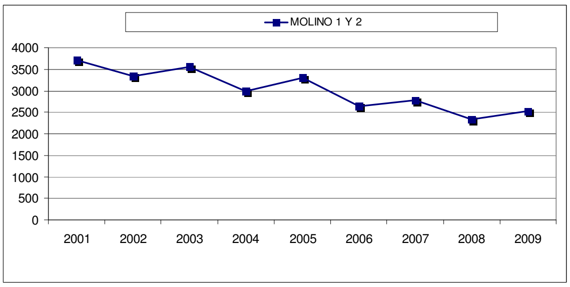



**Figura 7.** Tiempos Improductivos desde el 2001 hasta el 2009

Los datos que se ilustran en la figura 8, nos muestra cuales son las causas de peso dentro de este porcentaje de paras no planeadas; el 80 % se encuentra concentrado entre:

- Armónicos eléctricos
- Daños en los rodamientos
- Desalineamiento
- Holgura mecánica
- Desbalanceo
- Armónicos de paso de alabes

El otro 20% lo componen causas tales como flexibilidad en base de motor, problemas con el impulsor, entre otros.
Con los resultados expuestos en el diagrama de Pareto se busca determinar cuales son las principales causas de las paradas No programadas que se presentan en el Sistema de Bombeo y que conllevan al aumento de los tiempos improductivos

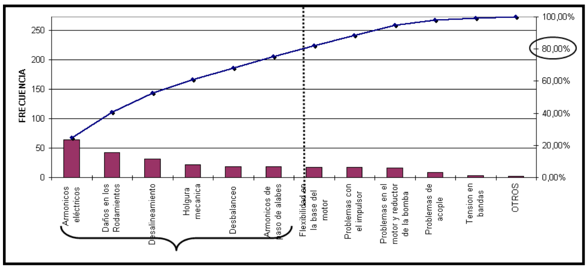



**Figura 8.** Causa de paradas NO PROGRAMADAS

## 4.1. Análisis estadístico de los problemas generados por la vibración en el Sistema de Bombeo

El análisis de vibraciones en el Sistema de Bombeo se basa en el hecho de que en muchos casos es posible relacionar las frecuencias de vibración con el problema específico con el que nos hemos encontrado, mientras que la amplitud de la misma da una indicación de la severidad del problema.

En la Tabla 2 se presenta un listado de las frecuencias comúnmente encontradas en espectros de vibración de los equipos, junto con las causas probables de los problemas asociados a las mismas.

**Tabla 2**. Frecuencia en espectros de causas probables de falla

| FRECUENCIA | CAUSAS PROBABLES DE FALLA |
|---|---|
| 1 X RPM | Desbalanceo, engranajes o poleas descentradas, desalineamiento o eje flexionado, resonancia, problemas eléctricos, fuerzas alternativas. |
| 2 X RPM | Huelgos o juegos mecánicos, desalineamiento, fuerzas alternativas, resonancia. |
| 3 X RPM | Desalineamiento, combinación de huelgos mecánicos axiales excesivos con desalineamiento |
| Menor a 1 X RPM | Remolino de aceite (oil whirl) en cojinetes o rotores |
| Frecuencia de Línea | Problemas eléctricos |
| Armónicos de RPM | Engranajes dañados, fuerzas aerodinámicas, fuerzas hidráulicas, huelgos o juegos mecánicos, fuerzas alternativas |
| Alta frecuencia (No armónicos) | Cojinetes antifricción en mal estado |

Como puede apreciarse en esta tabla, existen numerosos problemas mecánicos y eléctricos que pueden originar espectros de frecuencia similares. En estos casos es necesario obtener información adicional, ya sea a través de la medición de las vibraciones en distintas direcciones, como así también analizando los espectros obtenidos en distintas condiciones de operación de la máquina o analizando transitorios como los de arranque y detención de la máquina o relaciones de fase entre puntos de medición. [3]

Un análisis estadístico de las ocurrencias de los distintos problemas ocurridos en el Sistema de Bombeo indica que:

- Un 24,52 % de los problemas se debe a Armónicos Eléctricos
- 16,09% debido a daño en Rodamientos
- 11,88% debido a Rodamientos, etc

El análisis estadístico completo se muestra en la TABLA 3, donde se ilustra con detalle la frecuencia de las causas probables de falla en el Sistema de Bombeo

**Tabla 3**. Frecuencia de causas probables de Falla en el Sistema de Bombeo

| DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA | FRECUENCIA | PORCENTAJE |
|---|---|---|
| Armónicos eléctricos | 64 | 24,52% |
| Daños en los Rodamientos | 42 | 16,09% |
| Desalineamiento | 31 | 11,88% |
| Holgura mecánica | 22 | 8,43% |
| Desbalanceo | 19 | 7,28% |
| Armónicos de paso de alabes | 19 | 7,28% |
| Flexibilidad en la base del motor | 17 | 6,51% |
| Problemas con el impulsor | 17 | 6,51% |
| Problemas en el motor y reductor de la bomba | 16 | 6,13% |
| Problemas de acople | 9 | 3,45% |
| Tensión en bandas | 3 | 1,15% |
| Chumaceras, lubricación, eje del porta brazo, desgastes internos en bombas, aspas del rotor del ventilador, daño en los empaques y problemas por cavitación | 2 | 0,77% |
| | | |
| TOTAL | 261 | 100,00% |

## 4.2. Incremento en la disponibilidad del Sistema de Bombeo

Antes de la Implementación del Sistema de Análisis de Vibración; es decir antes del año 2003, la disponibilidad calculada de los equipos críticos del Sistema de Bombeo en la industria Papelera era del 99,70%. Tras implementar en el año 2003 el Sistema de Análisis de Vibraciones como Técnica Predictiva, la disponibilidad de estos equipos se encuentra en promedio arriba del 99,85% como se muestra en la figura 9.

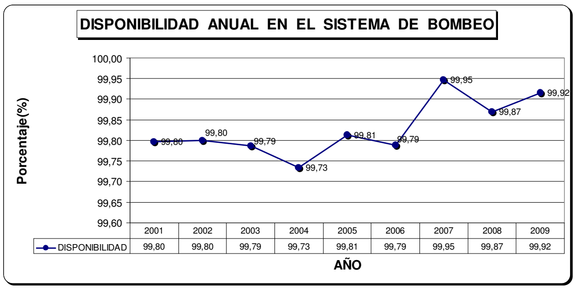



**Figura 9.** Disponibilidad anual en el Sistema de Bombeo

Estos resultados nos dan una idea como la Disponibilidad del Sistema de Bombeo se ha mantenido en los últimos años haciendo que los equipos sean más confiables y eficientes.

## 4.3. Análisis cuantitativo de la criticidad de los equipos

### 4.3.1. Criterios para determinar la criticidad de equipos

Los criterios que van a ser expuestos a continuación están sujetos a dos factores muy importantes, la frecuencia del fallo y la consecuencia de su aparición.

- **Seguridad:** Efecto del fallo sobre personas y entorno.
- **Calidad:** Efecto del fallo sobre la calidad del producto.
- **Operaciones:** Efecto del fallo sobre la producción.
- **Mantenimiento:** Tiempo y costo de reparación. [2]

Estos criterios y su cuantificación están sujetos a ser ajustados para diferentes empresas, pero de manera general se los determinó de la siguiente manera:

**Tabla 4**. Criterios de criticidad y su cuantificación

| CRITERIOS PARA DETERMINAR CRITICIDAD | CUANTF. |
|---|---|
| **Frecuencia de fallas:** | |
| Pobre mayor a 4 fallos/año | 4 |
| Promedio 2-4 fallas/año | 3 |
| Buena 1 - 2 fallas/año | 2 |
| Excelente menos de 1 fallas/año | 1 |
| **Impacto Operacional:** | |
| Perdida de todo el despacho | 10 |
| Parada del sistema o subsistema | 7 |
| Impacta en niveles de inventario o calidad | 4 |
| No genera ningún efecto significativo | 1 |
| **Flexibilidad Operacional:** | |
| No existe opción de producción y no hay función de repuesto | 4 |
| Hay opción de repuesto compartido | 2 |
| Función de repuesto disponible | 1 |
| **Costo de Mtto.** | |
| Mayor o igual a $ 20000 | 2 |
| Inferior a $ 20000 | 1 |
| **Impacto en Seguridad Ambiente Higiene (SAH)** | |
| Afecta la seguridad humano tanto externa como interna | 8 |
| Afecta el ambiente | 7 |
| Afecta las instalaciones causando daños severos | 5 |
| Provoca daños menores | 3 |
| No provoca ningún tipo de daños | 1 |

Para realizar el análisis de criticidad utilizaremos los siguientes criterios, los cuales nos van a servir para poder evaluar la siguiente fórmula:

***CRITICIDAD TOTAL = FRECUENCIA X CONSECUENCIA***

Luego de realizar todo el proceso se determino la criticidad de los equipos del Sistema de Bombeo dando como resultado los siguientes datos.

**Tabla 5**. Ejemplo de cálculo de criticidad total en Bomba

| PROCESO | CONSECUENCIAS | FRECUENCIA |
|---|---|---|
| PREPARACIÓN DE PASTA MOLINO 1 | 12 | 3 |
| MAQUINA DE PAPEL MOLINO 1 | 18 | 3 |
| PREPARACIÓN DE PASTA MOLINO 2 | 15 | 2 |
| MAQUINA DE PAPEL MOLINO 2 | 17 | 2 |

Los resultados obtenidos en esta matriz son el resultado de las opiniones y análisis de los datos históricos de las fallas por parte del equipo natural de trabajo, es por ello que es muy importante si no se tiene datos históricos de las fallas de las máquinas, que el equipo sea conformado con personal de las diferentes áreas y de todos los niveles esto con el fin de no dejar escapar equipos o componentes críticos.

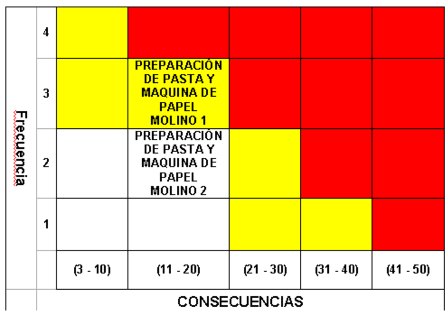



**Figura 10.** Ejemplo de Matriz de Riesgo

Dentro de este ejemplo de aplicación, el proceso de mayor criticidad resultó ser las de Preparación de Pasta y Maquina de Papel del Molino 1.

## 5. Conclusiones.

A lo largo del desarrollo de la presente tesis podemos resaltar las siguientes conclusiones.

- Como resultado de la implementación de este proyecto se han determinado nuevos indicadores para ir tomando en cuenta a futuro como son la disponibilidad, la criticidad, severidad vibratoria, FMCA (Análisis de Modo de falla, efecto y criticidad), etc. Llevando un control de estos indicadores disminuiremos los tiempos improductivos y mejoraremos la productividad.

- Fue necesario establecer que la etapa crítica del proceso productivo fue la del proceso de Preparación de Pasta y Maquina de Papel del Molino 1, para así saber a cuáles equipos se debió orientar este estudio y de esta manera precautelar la entrega a tiempo de las órdenes de producción, con una excelente calidad y controlando el buen funcionamiento de los mismos.

- Con la implementación del Sistema de Mantenimiento Predictivo representó para Papelera Nacional S.A. que la disponibilidad de los equipos críticos del Sistema de Bombeo se mantenga en un $99,8\ ^{+}_{-}0,1\%$. Estos índices hacen que se traduzca en beneficios financieros importantes para la empresa.

- A través del estudio de los tiempos improductivos por fallas imprevistas se determino que el 80% pertenecen a fallas eléctricas (Armónicos Eléctricos) y fallas en los rodamientos por problemas de desbalanceo y desalineamiento.

- Es necesario mantener registros confiables de los diversos mantenimientos que se ejecutan a los equipos, ya que de esta manera se puede mejorar los resultados de los mantenimientos predictivos con el Sistema de Vibración.

## 6. Recomendaciones

- Establecer políticas de Mantenimiento aprobadas por los directivos de la empresa, las mismas que deberán ser difundidas y compartidas por todos los trabajadores de la empresa.

- Traería muchos beneficios establecer un programa de capacitación administrativa y técnica para todo el personal del Departamento de Mantenimiento Predictivo, que incluya las iniciativas más importantes de la Gestión de Mantenimiento de Clase Mundial y las herramientas específicas del Mantenimiento Predictivo, para que los conceptos queden totalmente claros y se consolide la cultura predictiva en la empresa.

- Se debería incentivar a todos los técnicos del Departamento de Mantenimiento Predictivo al manejo del Software de Vibración para que las rutas de tomas de vibraciones no solo la haga una persona sino sea un trabajo en conjunto donde todos los integrantes del departamento sean los que trabajen en lograr los objetivos que es disminuir los tiempos improductivos.

- Seria recomendable que en el futuro se realicen mucho mas pruebas para que las tendencias que se encontraron en el análisis preliminar de los espectros obtenidos de vibración, puedan tener un respaldo estadístico.

- Se recomienda que al tomar los datos de vibración el acelerómetro lo coloquen en una superficie plana ya que al estar moviéndose la lectura no es cien por ciento real.

- Finalmente, se recomienda cuidar de que el cable coaxial de conexión entre el acelerómetro y el analizador repose sobre una superficie aunque esta vibre, ya que al dejarlo colgando puede afectar las mediciones. Otras recomendaciones sobre el uso y el manejo del Instrumento se encuentra en el catalogo Técnico.

## 7. Referencia.

[1] C. Viteri, Utilización del Software de monitoreo de análisis de vibraciones como técnica predictiva en el Sistema de Bombeo de la Industria Papelera. Tesis, Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2011.

[2] ALVARO PESANTEZ HUERTA , Elaboración de un plan de mantenimiento Predictivo y Preventivo en funcion de la criticidad de los equipos del Proceso productivo de una empresa empacadora de camaron , Tesis, Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2007.

[3] GLENN D. WHITE, Introducción a Vibración de Maquinas, versión 1.75 / 1995 DLI Engineering Corp.

[4] SKF CONDITION MONITORING, “Material proporcionado por PAPELERA NACIONAL S.A. sobre Mantenimiento Predictivo, Guayaquil 2003