

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN LA PLANTA DE  
CHANCADO DE LA MINA PIERINA**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO MECÁNICO**

**PRESENTADO POR:**

**JIMMY ALCIDES GARCÍA SAAVEDRA**

**PROMOCIÓN**

**2002 - II**

**LIMA – PERÚ**

**2007**

***Dedico este trabajo a:***

***A mi esposa Karol y a mi hija Grecia,  
de quienes tuve que sacrificar algo  
del tiempo que paso con ellas para  
poder realizar este informe pero que  
sin su apoyo y comprensión no lo  
hubiera logrado.***

**MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN LA PLANTA DE CHANCADO DE LA MINA  
PIERINA.**

## INDICE

### CAPÍTULO I

#### 1. INTRODUCCIÓN

|     |  |   |
|-----|--|---|
| 1.1 | Objetivos  | 2 |
| 1.2 | Alcances   | 2 |
| 1.3 | Limitaciones                                     | 2 |
| 1.4 | Introducción al Mantenimiento                    | 3 |
| 1.5 | Descripción General de la Empresa y sus procesos | 4 |

### CAPÍTULO II

#### 2. FUNDAMENTO TEORICO DEL MANTENIMIENTO

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 2.1   | La historia del mantenimiento                            | 8  |
| 2.2   | La evolución del mantenimiento                           | 10 |
| 2.3   | Tipos de mantenimiento                                   | 12 |
| 2.3.1 | Según el estado del Activo                               | 12 |
| 2.3.2 | Según las actividades realizadas                         | 13 |
| 2.3.3 | Según su ejecución en el tiempo                          | 15 |
| 2.4   | Generalidades del mantenimiento Predictivo               | 15 |
| 2.5   | Ventajas más importantes del mantenimiento predictivo    | 16 |
| 2.6   | El Mantenimiento Predictivo. Situación Actual            | 17 |
| 2.7   | Técnicas aplicadas al Mantenimiento Predictivo           | 23 |
| 2.7.1 | Análisis Vibracional                                     | 23 |
| 2.7.2 | Análisis de Aceite                                       | 32 |
| 2.7.3 | Termografía  | 38 |
| 2.7.4 | Otras técnicas del mantenimiento predictivo              | 42 |
| 2.8   | Normas técnicas aplicadas en el mantenimiento predictivo | 44 |

**CAPÍTULO III****3. IMPLEMENTACIÓN DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO**

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 3.1   | Estado del mantenimiento antes de la implementación del Mantenimiento Predictivo | 46 |
| 3.1.1 | Actividades de Mantenimiento   | 46 |
| 3.1.2 | Costo del Mantenimiento  | 48 |
| 3.2   | Propuesta para la implementación del Programa de Mantenimiento Predictivo        | 37 |
| 3.2.1 | Efectividad del Mantenimiento Predictivo   | 48 |
| 3.2.2 | Pasos para la implementación Efectiva del Mantenimiento Predictivo               | 49 |

**CAPÍTULO IV****4. DESARROLLO DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO**

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 4.1 | Análisis de criticidad de los equipos                     | 53 |
| 4.2 | Parámetros factibles a monitorear.                        | 55 |
| 4.3 | Selección de Técnica y método de Mantenimiento Predictivo | 55 |
| 4.4 | Justificación Económica                                   | 58 |
| 4.5 | Estableciendo Rutas para el Mantenimiento Predictivo      | 64 |
| 4.6 | Capacitación en las técnicas de mantenimiento Predictivo  | 64 |
| 4.7 | Inicio Oficial del Programa de Mantenimiento Predictivo   | 65 |
| 4.8 | Reportes de Control y seguimiento                         | 67 |

**CAPÍTULO V****5. RESULTADOS DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO** 68**CAPÍTULO VI****7. ANALISIS DE COSTO** 72**CONCLUSIONES** 76**BIBLIOGRAFIA** 78**ANEXOS** 79

## PROLOGO

El presente informe detalla la manera en la que se propuso y se desarrollo la implementación del programa de mantenimiento Predictivo en la planta de chancado de la Mina Pierina, justificándose esta propuesta en la situación actual en la que se encontraba el mantenimiento de esta planta.

En el primer capítulo se describe el objetivo y los alcances que se tiene con este informe, y además se da una pequeña introducción al concepto de mantenimiento que se esta manejando actualmente, seguido de la descripción general de la Mina y de sus procesos.

En el segundo capítulo se detalla la historia del mantenimiento, considerando su evolución y diferentes términos que se utilizan en la actualidad en las áreas de mantenimiento de las Empresas; también se describe las diferentes técnicas de mantenimiento predictivo que se utilizan en el mercado, indicando la importancia de aplicar normas técnicas y se explica con mayor detalle el concepto de este tipo de mantenimiento.

En el tercer y cuarto capítulo se detalla el plan propuesto para la implementación del programa de mantenimiento predictivo, dándose las pautas que se necesitan para una implementación efectiva y se describe todo el desarrollo de la implementación del programa de mantenimiento predictivo en la planta de chancado de la mina Pierina.

En los dos últimos capítulos se indican los resultados y los análisis de costo del proceso de implementación.

## **CAPITULO I INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Objetivo.**

El objetivo del presente informe es poder brindar al lector una guía practica para la implementación de un programa de mantenimiento predictivo, que facilite este proceso por medio del caso real que se esta dando en este informe, es decir, la implementación del programa de mantenimiento predictivo en la planta de Chancado en la mina Pierina.

### **1.2. Alcances**

Los procesos y procedimientos que se están indicando podrán ser aplicados para poder implementar un programa de mantenimiento predictivo en una planta de proceso industrial, sea dentro del sector minero, industria de alimentos, cementeras, etc. ya que estos métodos son generales y basados en mantenimiento a equipos que trabajan necesariamente para la producción en serie.

### **1.3. Limitaciones**

Estos procesos y procedimientos no pueden ser aplicados al 100% en mantenimiento a maquinaria pesada o automotriz, ya que para el monitoreo de condición con algunas técnicas, se necesita que estos equipos se detengan, pero pueden dar pautas generales en las que se puede acoplar a los sistemas automáticos del monitoreo de condición en línea de estos equipos.

#### **1.4. Introducción al mantenimiento**

Bajo el enfoque moderno de mantenimiento, considero que no es “el mal necesario de la Planta”, sino que, por el contrario, gracias a la ejecución de las acciones oportunas y bien planeadas de mantenimiento, es posible garantizar la existencia misma de la planta, de sus líneas de producción y el cumplimiento con los volúmenes de producción y niveles de ventas. Entonces, en realidad el mantenimiento es una buena medida que garantiza la producción. Además, gracias a la actividad de mantenimiento, podemos cumplir con los programas de calidad, por ejemplo, el JIT (entregas justo a tiempo), programas de calidad Seis Sigma, cumplimiento con Normas ISO, QS-9000, integración de programas TPM. También garantiza en parte importante, la elevada seguridad del personal.

En el pasado (y para muchos desafortunadamente, es presente aún), las practicas de mantenimiento correctivo no planeado, o también llamado “emergencia”, llevan al mal uso de los recursos de la empresa, tanto materiales como humanos. Las empresas que pretendan ser competitivas a nivel mundial y mantenerse en el mercado, deberán adoptar una visión distinta y moderna del mantenimiento, por lo que ya no podrán seguir con este tipo de prácticas obsoletas. Por otra parte, la practica de mantenimiento basado en tiempo o “preventivo”, han demostrado que puede reducir los tiempos de parada no planificados, reducir la cantidad de fallas imprevistas e incrementar la confiabilidad en la operación, pero tiene un gran inconveniente; su costo es muy elevado. Revisar, ajustar o reparar máquinas cuando “aún no lo requieren” o cuando es “demasiado tarde”, se deriva en gastos excesivos y en muchas ocasiones innecesarios. Por eso se indica que, “si la máquina no esta descompuesta no la repares”. En cambio, el mantenimiento basado en condiciones, también llamado “predictivo”, se lleva a cabo midiendo periódicamente algunas variables físicas de cada máquina, con el uso de los



transductores apropiados. Lo anterior se realiza durante la operación normal de los equipos y bajo sus condiciones de velocidad y cargas nominales. De forma analógica, se realiza el estudio de los “signos vitales”, cuya evaluación permite identificar las condiciones “reales” de operación y confiabilidad de la máquina. Con la evaluación de la condición de la maquinaria pretendemos hacer el “mantenimiento correcto en el momento correcto”; ni más ni menos del requerido, ni antes ni después de ser realmente necesario. Ahora, deseamos realmente reducir los costos de mantenimiento, pero, sin sacrificar la confiabilidad de la operación.

### **1.5. Descripción General de la Empresa y sus Procesos.**

Minera Barrick Misquichilca S.A. (MBM) es una empresa peruana constituida de acuerdo a lo que establecen las leyes de nuestro país. Una de sus primeras acciones fue la adquisición, en el año 1996, de aproximadamente 10,000 hectáreas de tierras donde se calcula una reserva de 7,2 millones de onzas de oro y 56 millones de onzas de plata, ubicadas en el distrito huaracino de Jangas, a más de 4100 m.s.n.m., con un área de operación actual de 1650 hectáreas y en la cual se tuvo que invertir un billón de dólares aproximadamente.



**Fig. 1.1** Tajo abierto de Mina Pierina.

**Proceso de Minado:**

Teniendo en cuenta que Pierina es una mina de tajo abierto (es decir se explota desde la superficie sin la existencia de túneles) las operaciones se desarrollan en un área de 950 metros de ancho por 1,400 metros de largo. La mina se construye con bancos (especie de andenes) de 10 metros de alto, las perforadoras realizan taladros de 10.5 metros de profundidad, donde se coloca el anfo (mezcla de nitrato de amonio y petróleo) para iniciar el proceso de voladura, luego el suelo queda removido y el material es recogido por los cargadores frontales y transportado por los volquetes hasta el área de chancado. Diariamente se mueven un promedio de 98,000 toneladas entre mineral y desmante.

**Proceso de Chancado:**

El mineral traído del tajo, es acarreado en volquetes hasta la estación de chancado, donde la roca debe de ser reducida en una primera etapa hasta menos de 6 pulgadas; luego de lo cual es trasladada por intermedio de una faja hasta la segunda etapa de chancado donde se reduce a menos de 1.5 pulgadas.

Una vez que se ha concluido con el proceso de reducción del mineral, el mismo recorre una distancia de 2.4 kms a través de una faja que puede transportar hasta 2,000 TM por hora; luego es depositado en una tolva de finos con una capacidad para almacenar hasta 3,500 TM de carga y posteriormente es retirado y trasladado a la siguiente etapa del proceso.



**Fig. 1.2** Mineral que esta siendo trasladado al Pad de Lixiviación

### **Proceso de Lixiviación:**

El mineral que previamente ha sido recogido por volquetes de 150 TM es transportado hasta la cancha de lixiviación, zona especialmente acondicionada para la protección del suelo mediante materiales aislantes, donde es colocado en pilas y luego se le aplica la solución lixivante de cianuro de sodio, disuelto en agua, que va a separar el oro y la plata contenidos en el mineral. Esta solución recogida mediante un sistema de bombeo se impulsa a través de tuberías hacia la planta de recuperación.



**Fig. 1.3** Pad de Lixiviación.

La solución que contiene oro y plata que viene desde las pilas de mineral es decantada y filtrada, obteniéndose un líquido transparente al que se le extrae el oxígeno mediante una torre de vacío. Se le añade polvo de zinc para lograr la precipitación de los metales valiosos, luego esta solución es bombeada hacia los filtros prensa donde queda atrapado el metal precipitado.

**Fundición:**

Periódicamente se extrae de los filtros prensa el precipitado que luego es secado en las retortas, de donde se obtiene mercurio como un subproducto. Una vez seco es mezclado con fundentes y el precipitado es cargado en hornos donde es fundido obteniéndose así barras de oro y plata en forma de bullión doré (compuestas de 25% de oro y 75% de plata) las mismas que son empacadas para su embarque.

## CAPITULO II FUNDAMENTO TEÓRICO DEL MANTENIMIENTO

### 2.1 La Historia del mantenimiento.

La historia de mantenimiento acompaña el desarrollo Técnico-Industrial de la humanidad. Al final del siglo XIX, con la mecanización de las industrias, surgió la necesidad de las primeras reparaciones.



**Fig. 2.1** Programas de producción en la 1ra Guerra Mundial

Hasta 1914, el mantenimiento tenía importancia secundaria y era ejecutado por el mismo personal de operación o producción. Con el advenimiento de la primera guerra mundial y de la implantación de la producción en serie que fue instituida por la compañía Ford-Motor Company, fabricante de vehículos, las fabricas pasaron ha establecer programas mínimos de producción, ver figura 2.1. y, en consecuencia,

sentir la necesidad de crear equipos de que pudieran efectuar el mantenimiento de las maquinas de la línea de producción en el menor tiempo posible.

Así surgió un órgano subordinado a la operación, cuyo objetivo básico era la ejecución del mantenimiento, hoy conocida como mantenimiento correctivo. Esa situación se mantuvo hasta la década del año 30, cuando en función de la segunda guerra mundial, y de la necesidad de aumentar la rapidez de la producción, la alta administración industrial se preocupó, no solo en corregir fallas, sino evitar que estos ocurriesen, y el personal técnico de mantenimiento, pasó a desarrollar el proceso del mantenimiento preventivo, de las averías que, juntamente con la corrosión, completaban el cuadro general de mantenimiento como de la operación o producción.



**Fig. 2.2** La aviación comercial en 1950

Por el año de 1950, con el desarrollo de la industria para atender a los esfuerzos de la post-guerra, la evolución de la aviación comercial, ver figura 2.2, y de la industria electrónica, los gerentes de mantenimiento observan que, en muchos casos, el tiempo de para de la producción, para diagnosticar las fallas, eran mayor, que la ejecución de la reparación; esto da lugar a seleccionar un equipo de especialistas para componer un órgano de asesoramiento a la producción que se llamó «Ingeniería de Mantenimiento» y recibió los cargos de planear y controlar el mantenimiento preventivo y analizar causas y efectos de las averías.

A partir de 1966 con el fortalecimiento de las asociaciones nacionales de mantenimiento, creadas al final del periodo anterior, y la sofisticación de los instrumentos de protección y medición, la ingeniería de mantenimiento, pasa a desarrollar criterios de predicción o previsión de fallas, visando la optimización de la actuación de los equipos de ejecución de mantenimiento.



**Fig. 2.3.** Mantenimiento predictivo en la industria

Esos criterios, conocidos como mantenimiento PREDICTIVO O PREVISIVO, ver figura 2.3, fueron asociados a métodos de planeamiento y control de mantenimiento. Como así también hay otros tipos de mantenimiento, de precisión, mantenimiento clase mundial (proactivo) y hoy mejora continua.

## **2.2 La evolución del mantenimiento.**

Históricamente el mantenimiento ha evolucionado a través del tiempo, Moubray (1997) explica en su texto que desde el punto de vista práctico del mantenimiento, se diferencia enfoques de mejoras prácticas aplicadas cada una en épocas determinadas. Para una mejor comprensión de la evolución y desarrollo del mantenimiento desde sus inicios y hasta nuestros días, Moubray distingue tres generaciones a saber:

**PRIMERA GENERACIÓN:** Cubre el periodo hasta el final de la segunda guerra mundial, en esta época las industrias tenían pocas máquinas, eran muy simples,

fáciles de reparar y normalmente sobredimensionadas. Los volúmenes de producción eran bajos, por lo que los tiempos de parada no eran importantes. La prevención de fallas en los equipos no era de alta prioridad gerencial, y sólo se aplicaba el mantenimiento reactivo o de reparación.

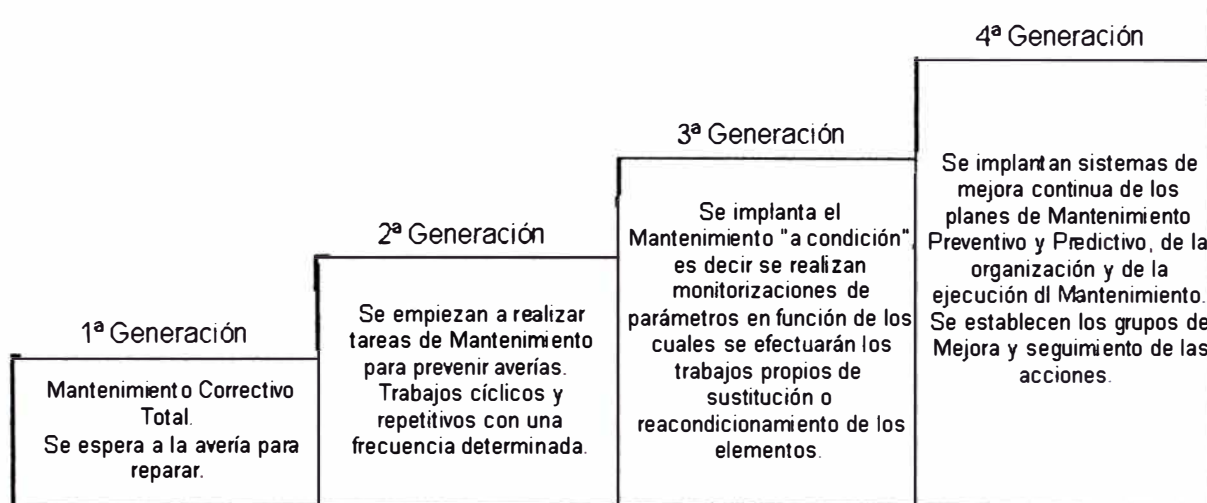
**SEGUNDA GENERACIÓN:** Nació como consecuencia de la guerra, se incorporaron maquinarias más complejas, y el tiempo improductivo comenzó a preocupar, ya que se dejaba de percibir ganancias por efectos de demanda, de allí la idea de que los fallos de la maquinaria se podían y debían prevenir, idea que tomaría el nombre de mantenimiento preventivo. Además se comenzaron a implementar sistemas de control y planificación del mantenimiento, o sea las revisiones a intervalos fijos.

**TERCERA GENERACION:** Se inicia a mediados de la década de los setenta donde los cambios, a raíz del avance tecnológico y de nuevas investigaciones, se aceleran. Aumentan la mecanización y la automatización en la industria, se operan con volúmenes de producción más altos, se le da importancia a los tiempos de parada debido a los costos por pérdidas de producción, alcanzan mayor complejidad las maquinarias y aumenta nuestra dependencia de ellas, se exige productos y servicios de calidad, considerando aspectos de seguridad y medio ambiente y se consolida el desarrollo del mantenimiento preventivo y se da inicio a las técnicas de mantenimiento Predictivo.

Finalmente considero que se debe hablar también de una **CUARTA GENERACIÓN**, abarcando los temas de mejora continua, ya que se empiezan a implementar estos sistemas en los planes de mantenimiento preventivo y predictivo, encaminados tanto en aumentar la disponibilidad y eficacia de los equipos productivos como a reducir los costos de mantenimiento.

El siguiente gráfico ilustra la evolución del mantenimiento:





**Fig. 2.4** Evolución del mantenimiento

## 2.3 Tipos de Mantenimiento

Durante mi experiencia en algunas empresas en el área de mantenimiento, siempre he escuchado diferentes términos de identificar los tipos de mantenimiento; personalmente considero que se debe estandarizar estos términos para cada empresa, a fin de evitar confusiones y a la vez poder manejar la misma descripción en las órdenes de trabajo.

### 2.3.1 Según el estado del Activo.

**Mantenimiento Operacional:** Se define como la acción de mantenimiento aplicada a un equipo o sistema a fin de mantener su continuidad operacional, el mismo es ejecutado en la mayoría de los casos con el activo en servicio sin afectar su operación natural.

La programación y planificación de este tipo de mantenimiento es completamente dinámica, la aplicación de los planes de mantenimiento rutinario se efectúa durante todo el año con programas diarios que dependen de las necesidades que presente un equipo sobre las condiciones particulares de operación, en este sentido el

objetivo de la acción del mantenimiento es garantizar la operabilidad del equipo para las condiciones mínimas requeridas en cuanto a eficiencia, seguridad e integridad.

**Mantenimiento Mayor:** Es un mantenimiento aplicado a un equipo o instalación donde su alcance en cuanto a la cantidad de trabajos incluidos, el tiempo de ejecución, nivel de inversión o costo del mantenimiento y requerimientos de planificación y programación son de elevada magnitud, dado que la razón de este tipo de mantenimiento reside en la restitución general de las condiciones de servicio del activo, bien desde el punto de vista de diseño o para satisfacer un periodo de tiempo considerable con la mínima probabilidad de falla o interrupción del servicio y dentro de los niveles de desempeño o eficiencia requeridos.

La diferencia entre ambos tipos de mantenimiento se basa en los tiempos de ejecución, los requerimientos de inversión, la magnitud y alcance de los trabajos, ya que el mantenimiento operacional se realiza durante la operación normal de los activos, y el mantenimiento mayor se aplica con el activo fuera de servicio. Por otra parte, la frecuencia con que se aplica el mismo es sumamente alta con respecto a la frecuencia de las actividades del mantenimiento operacional, la misma oscila entre cuatro y quince años dependiendo del grado de severidad del ambiente en que está expuesto el componente, la complejidad del proceso operacional, disponibilidad corporativa de las instalaciones, estrategias del mercado, nivel tecnológico de componentes y materiales, políticas de inversiones y disponibilidad presupuestaria.

### **2.3.2 Según las actividades realizadas.**

**Mantenimiento Preventivo:** Es aquel que consiste en un grupo de tareas planificadas, que se ejecutan periódicamente, con el objetivo de garantizar que los

activos cumplan con las funciones requeridas durante su ciclo de vida útil dentro del contexto operacional donde se ubican, alargar sus ciclos de vida y mejorar la eficiencia de los procesos. En la medida en que optimizamos las frecuencias de la realización de las actividades de mantenimiento logramos aumentar las mejoras operacionales de los procesos.

**Mantenimiento Correctivo:** También determinado como mantenimiento reactivo, es aquel trabajo que involucra una cantidad determinada de tareas de reparación no programadas con el objetivo de restaurar la función de un activo una vez producido un paro imprevisto. Las causas que pueden originar un paro imprevisto se deben a desperfectos no detectados durante las inspecciones predictivas, a errores operacionales, a la ausencia de tareas de mantenimiento, y a requerimientos de producción que generan políticas como la de “repare cuando falle”.

Existen desventajas cuando dejamos trabajar una máquina hasta la condición de reparar cuando falle, ya que generalmente los costos por impacto total son mayores que si hubiera inspeccionado y realizado las tareas de mantenimiento adecuadas que mitigaran o eliminaran las fallas.

**Mantenimiento Predictivo:** Es un mantenimiento planificado y programado que se fundamenta en el análisis técnico, programas de inspección, y reparación de equipos, el cual se adelanta al suceso de las fallas, es decir, es un mantenimiento que detecta las fallas potenciales con el sistema en funcionamiento. Con los avances tecnológicos se hace más fácil detectar las fallas, ya que se cuentan con sistemas de vibraciones mecánicas, análisis de aceite, análisis de termografía infrarrojo, análisis de ultrasonido, monitoreos de condición, entre otras.

**Mantenimiento Proactivo:** Es aquel que engloba un conjunto de tareas de mantenimiento preventivo y predictivo, que tiene por objeto lograr que los activos cumplan con las funciones requeridas dentro del contexto operacional donde se

ubican, disminuir las acciones de mantenimiento correctivo, alargar sus ciclos de funcionamiento, obtener mejoras operacionales y aumentar la eficiencia de los procesos.

**Mantenimiento por Averías:** Es el conjunto de acciones necesarias para devolver a un sistema y/o equipo las condiciones normales operativas, luego de la aparición de una falla. Generalmente no se planifica ni se programa, debido a que la falla ocurre de manera imprevista.

### **2.3.3 Según su ejecución en el tiempo.**

**Mantenimiento Rutinario:** Esta relacionado a las tareas regulares o de carácter diario.

**Mantenimiento Programado:** Esta relacionado a los recurrentes y periódicos de valor sustancial.

**Parada de Planta:** Esta relacionado al trabajo realizado durante paradas planificadas.

**Extraordinario:** esta relacionado a trabajos causado por eventos impredecibles.

## **2.4 Generalidades del mantenimiento Predictivo.**

Aunque la tecnología del mantenimiento predictivo puede ser muy compleja, el concepto básico es bastante simple:

La mayoría de los equipos industriales, no fallan de repente. Esta falla se produce gradualmente, sobre un periodo de semanas o meses, e incluso este proceso gradual de la falla indica señales de peligro a lo largo de todo el proceso.

Estas señales de peligro, como por ejemplo el cambio en condiciones de temperatura, vibración o sonido, pueden ser detectados por las tecnologías del Mantenimiento Predictivo. Como resultado, el Mantenimiento Predictivo entrega el

tiempo necesario que se necesita para planificar, programar y realizar reparaciones antes de que el equipo falle, evitando las paradas mayores y los costos por parada de equipo. La figura 2.5 ilustra este concepto.

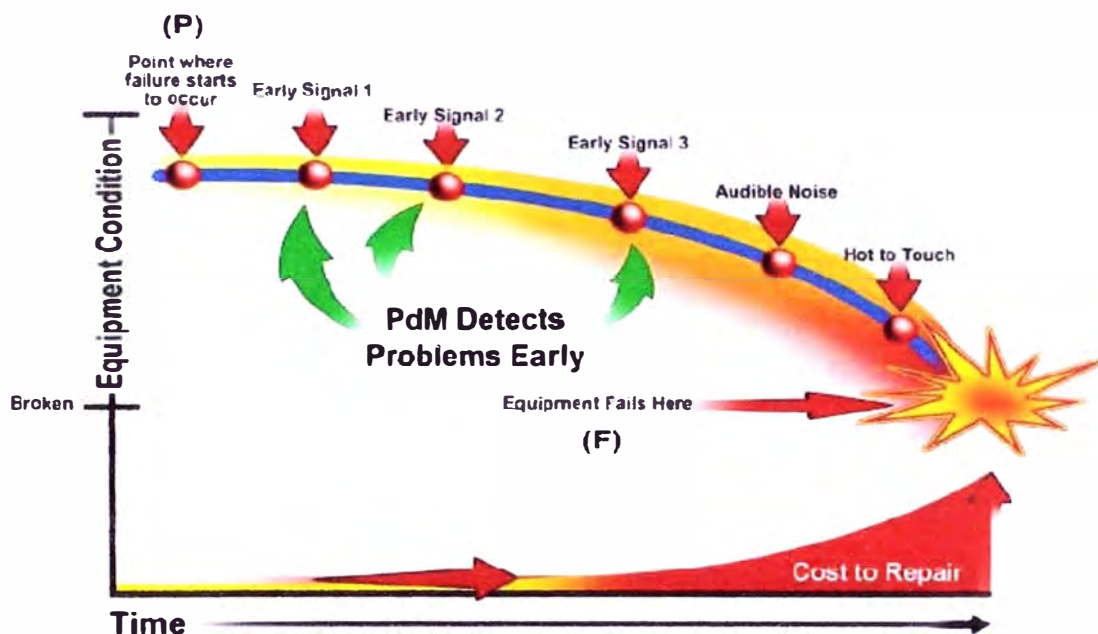


Fig. 2.5 Concepto básico del mantenimiento predictivo.

Estudios demuestran que planificar la reparación de un trabajo toma poco tiempo en comparación al tiempo que tomará la reparación de un trabajo imprevisto. **El trabajo previsto es siempre más eficiente que el trabajo imprevisto.**

## 2.5 Ventajas más importantes del mantenimiento Predictivo.

Dentro de las ventajas más importantes de este tipo de mantenimiento, podemos mencionar:

- Las fallas se detectan en sus etapas más iniciales por lo que se cuenta con suficiente tiempo para hacer la planeación y la programación de las acciones correctivas (mantenimiento correctivo) en paros programados y bajo condiciones controladas que minimicen los tiempos muertos y el efecto

negativo sobre la producción y que además garanticen una mejor calidad de reparaciones.

- Las técnicas de detección del mantenimiento predictivo son en su mayor parte técnicas “on-condition” que significa que las inspecciones se pueden realizar con la maquinaria en operación a su velocidad máxima.
- Reduce los tiempos de parada.
- Permite seguir la evolución de un defecto en el tiempo.
- Optimiza la gestión del personal de mantenimiento.
- La verificación del estado de la maquinaria, tanto realizada de forma periódica como de forma accidental, permite confeccionar un archivo histórico del comportamiento mecánico.
- Conocer con exactitud el tiempo límite de actuación que no implique el desarrollo de un fallo imprevisto. Toma de decisiones sobre la planta de una línea de máquinas en momentos críticos.
- Confección de formas internas de funcionamiento o compra de nuevos equipos.
- Permitir el conocimiento del historial de actuaciones, para ser utilizada por el mantenimiento correctivo.
- Facilita el análisis de las averías.
- Permite el análisis estadístico del sistema.

## **2.6 El Mantenimiento Predictivo. Situación Actual.**

El concepto de mantenimiento predictivo mantenimiento basado en condiciones, comienza a ser aplicado por la industria a principios de la década de los Ochenta. Aparecen los primeros equipos portátiles tipo “colector de datos” con memoria interna para la medición periódica en planta, y con interfaces de conexión a las

primeras PC's disponibles. Pero, solamente hasta entrados los años 90's, se observa que el mantenimiento predictivo comienza a jugar un papel importante dentro de la industria. Las direcciones comienzan a identificar la ventaja y necesidad de invertir en un programa de mantenimiento predictivo.

En la actualidad, aún muchas empresas no cuentan con un programa de mantenimiento predictivo. Algunas empresas tienen avances, aplican una o dos técnicas predictivas, y en muchos casos de forma externa.

Es conocido que a través del uso de técnicas como: Análisis de Vibraciones, Termografía Infrarroja, Ultrasonido, Tribología para los aceites hidráulicos y lubricantes, Análisis de corrientes en Motores, así como otras técnicas menos conocidas aún, pero igualmente útiles, se determinan las condiciones de operación de los equipos, en otras palabras podemos "hacer transparentes" las máquinas y conocer su condición real de operación, ver figura 2.6



**Fig. 2.6** Algunas técnicas del mantenimiento Predictivo

Entonces el objetivo central del mantenimiento predictivo es: **proveer información sobre la condición de cada máquina o equipo, suficiente, precisa, y oportuna para la toma de decisiones.**

Para llegar al objetivo anterior, según la norma **ISO 13374-1** (*Condition Monitoring and diagnostics of machines – Data processing, communication and presentation*), se llevarán a cabo los siguientes seis pasos:

- Adquisición de datos
- Manipulación de los datos
- Detección de la condición
- Determinación de la condición de “salud”.
- Prognosis o pronóstico de condición
- Generación de Avisos.

Considero que la falta de observancia de cualquiera de estos pasos, hará que no se alcance satisfactoriamente el objetivo planteado.

Debido al elevado costo de implantación de un programa de mantenimiento predictivo, existen algunas alternativas que deben ser consideradas:

- a) Subcontratación. Esta opción ha sido adoptada por muchas empresas. En la actualidad se puede contratar una empresa especializada y dedicada al mantenimiento predictivo. De esta manera, se pueden observar los resultados, la aplicación y los beneficios de cada técnica de diagnóstico predictivo. El inconveniente de la subcontratación es su disponibilidad limitada, tal vez cuando se requiera una medición, el proveedor no este disponible. Por otra parte, una ventaja importante es, que los proveedores con el afán de mantenerse competitivos en el mercado, siempre procuran contar con la instrumentación más moderna y actualizada.
- b) Compra de Equipos. Esta es una decisión que se debe pensar muy bien antes de proceder. Debido al elevado costo para la adquisición de los



equipos de diagnóstico, esta no debe ser una compra aislada, debe ser contemplada dentro de un proyecto completo y detallado de implantación del mantenimiento predictivo (con todos los pasos bien detallados). Las estimaciones de costo – beneficio (*ROI return of investment*) deben ser parte del proyecto, incluyendo tiempo de recuperación de la inversión (Payback). Un inconveniente que se presenta comúnmente es la falta de personal calificado para operar adecuadamente los equipos.

- c) Algo intermedio. Se puede considerar la posibilidad de comprar algunos de los equipos de diagnóstico (los que tengan mayor frecuencia de uso, o mayor aplicabilidad) y complementar con la subcontratación los servicios más especializados (de menor frecuencia de ejecución y mayor complejidad) o que precisen la adquisición de equipo muy costoso. Por ejemplo, es factible que el usuario haga la parte de colección de datos en campo, los envíe por Internet al consultor, y este haga la interpretación de los datos con los reportes de diagnóstico.

Es necesario realizar un análisis financiero con estimaciones de ahorros de cada diagnóstico, y su acción correctiva. De estos reportes, se generará la fuente de los ingresos para la compra o renovación de los equipos, o para ampliar la cobertura del programa de monitoreo con otras técnicas o en otras áreas.

Si no se cuenta con la información financiera adecuada que refleje los beneficios generados por el programa, siempre se tendrá la idea de que el programa de mantenimiento predictivo es costoso. En la práctica, hay quien considera que el “predictivo es muy caro” y que no tiene recursos suficientes para su implantación. Sin embargo cuando hay fallas imprevistas que afectan directamente a la producción (y que pudieron ser evitadas), entonces si hay todos los recursos necesarios para reparar o restablecer la operación. Entonces, si hay recursos, pero

siguen siendo para reparar, no para prevenir, como se mencionó antes, se debe hacer siempre un análisis costo-beneficio de los resultados generados por mantenimiento predictivo, y estoy seguro y la experiencia lo ha mostrado, que pueden ser mayores a 10 veces lo invertido. La rentabilidad del Mantenimiento Predictivo bien llevado, es muy alta.

A pesar de los beneficios mencionados, en la mayoría de las empresas que cuentan con avances al respecto, los programas existentes deben ser modernizados, actualizados y expandidos a otras áreas y equipos.

Existen algunas deficiencias entre las que puedo mencionar:

- Mediciones solamente en maquinaria crítica. La maquinaria y equipo, importantes y secundarios, en ocasiones no son cubiertos por el programa de monitoreo.
- Demasiado espaciamiento entre las mediciones, lo que genera “huecos” en la información y las tendencias.
- Falta de personal calificado.
- El personal encargado para generar los diagnósticos es insuficiente.
- Equipamiento obsoleto, en ocasiones, pesado, lento y de análisis totalmente dependiente del usuario.
- Falta de áreas de trabajo adecuadas.
- Métodos de adquisición de los datos inapropiados, información poco confiable y no representativa de la condición real del equipo o maquinaria.
- Falta de apoyo de otros grupos de trabajo de mantenimiento y de producción. Todavía vivimos con el concepto de: “es más importante producir que prevenir”.
- Diagnóstico tardío. Detección de los problemas pero en estado avanzado, el costo de reparación es alto.

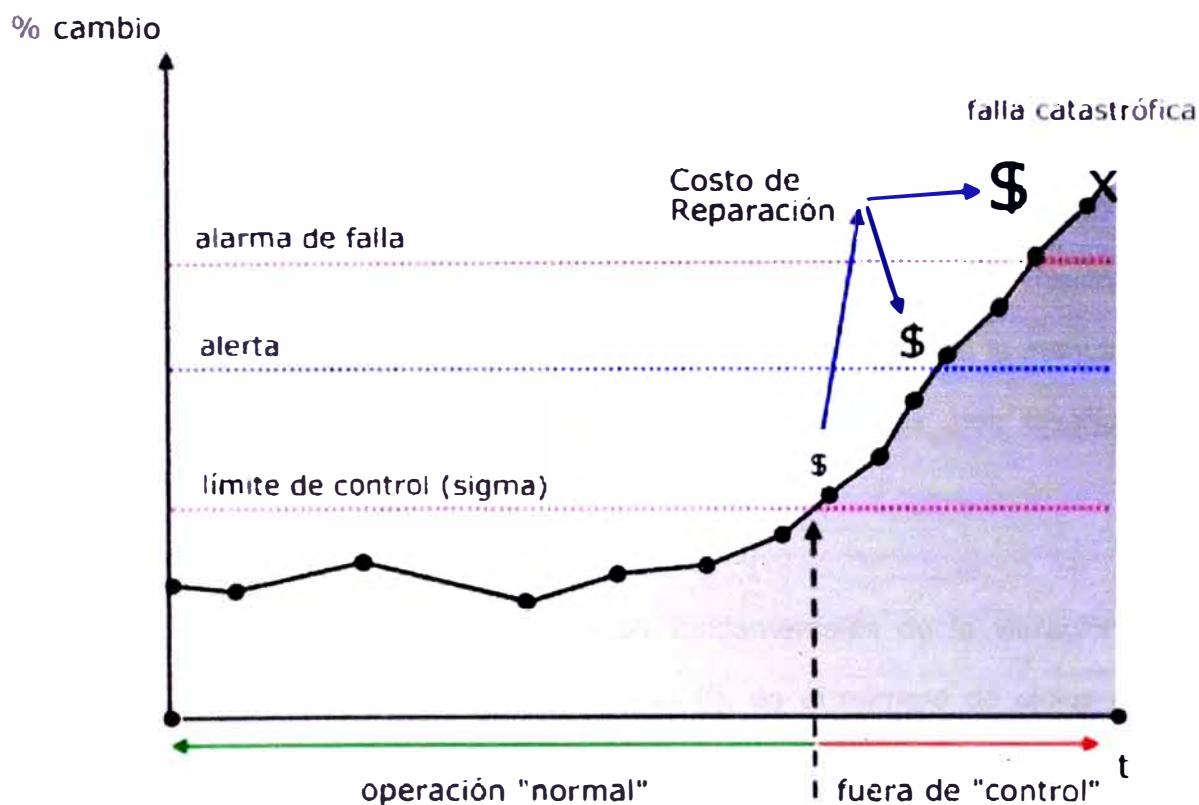
- Muchos datos y poco análisis.

Por lo tanto considero los siguientes retos, que se debe plantear todo departamento de mantenimiento predictivo:

- Incrementar la productividad en el departamento de mantenimiento predictivo, “hacer más con menos” o “hacer más con lo mismo”, en términos de predictivo: generar “más diagnósticos en menos tiempo”, cubrir “más equipos dentro del programa de monitoreo”.
- Generar diagnósticos cada vez más acertados.
- Certificar al personal técnico para realizar mejor su trabajo. La capacitación continua y el desarrollo de nuevas habilidades, debe ser parte del programa de mantenimiento predictivo.
- Adicionar nuevas técnicas de diagnóstico que permitan “completar la foto de la máquina”. Una sola técnica de diagnóstico puede ser insuficiente para evitar una falla.
- Convertir los datos colectados en información valiosa útil para la toma de decisiones.
- Automatizar los procesos de diagnóstico, la generación de reportes, colección de datos y transferencia de la información a los responsables.
- Utilización intensiva de los medios informáticos o computacionales para la transferencia de datos y reportes.

Es importante notar que los problemas encontrados en su fase incipiente, o temprana, son más fácilmente corregidos y el costo asociado es menor. Mientras más tarde se detecte y se corrija el problema, el costo será mayor. En ocasiones las alarmas de los sistemas de diagnóstico, detectan los problemas demasiado tarde. Se debe cuidar que el sistema de monitoreo utilizado, cuente con suficiente

sensibilidad para detectar los cambios en el comportamiento o en las variables medidas, para detectar los problemas en la fase incipiente. Lo anterior nos lleva al objetivo de mantener los equipos operando confiablemente, pero a un costo de mantenimiento más bajo. (Ver figura 2.7).



**Fig. 2.7** El costo de mantenimiento se incrementa, de acuerdo al retraso en la identificación del problema y su corrección.

## 2.7 Técnicas aplicadas al Mantenimiento Predictivo.

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

### 2.7.1 Análisis Vibracional.

Las vibraciones tradicionalmente han sido asociadas generalmente a fallas en las máquinas (desgaste, mal funcionamiento, ruido y daños estructurales). En los

últimos años las vibraciones se relacionan a: Ahorro de millones de dólares por paradas de planta. El control de los cambios de niveles de vibración de las máquinas ha llegado a ser parte importante de muchos programas de mantenimiento.

**La naturaleza física de la vibración:** Las máquinas y estructuras vibran en respuesta a una o más fuerzas pulsantes que a menudo son llamadas fuerzas excitadoras. Por ejemplo el desbalance y el desalineamiento; todo el proceso es de causa efecto. La magnitud de la vibración, no sólo depende de la fuerza sino también de las propiedades del sistema y ambos de la velocidad de la máquina. La vibración puede ser utilizada para identificar los defectos por diseño, por fabricación, por instalación o por desgaste.

**Movimiento Vibratorio:** Las características fundamentales de la vibración son; Frecuencia, Amplitud y Fase. La Frecuencia ( $f$ ), es el número de ciclos en un determinado periodo de tiempo, se expresa en; Ciclos por segundo (Hertz), Ciclos por minuto (CPM), o múltiplos de la velocidad de operación de la máquina (Ordenes) si la vibración es inducida por una fuerza a la velocidad de giro de la máquina. Periodo ( $T$ ), es el tiempo requerido para completar un ciclo de vibración y es la inversa de la frecuencia; el ciclo es el movimiento del objeto de su posición neutral hacia el punto límite más alto y su carrera opuesta hasta el límite más bajo, para retornar a su posición neutral. La amplitud ( $A$ ); es el desplazamiento máximo de la vibración, puede ser expresada en múltiples formas, tales como: Pico: Se mide desde el punto neutral hasta la cresta. Pico-Pico: Se mide desde la cresta inferior hasta la superior. Rms: Raíz cuadrática media, para una onda sinusoidal es igual a ( $rms = 0.707$  pico-pico), esta fórmula no es válida para ondas complejas de

múltiples frecuencias; porque, en las vibraciones que no son armónicas, generalmente las amplitudes positivas no son iguales a las negativas. Angulo de fase de la vibración ( $\Phi$ ); es la relación en tiempo, medido en grados entre dos vibraciones a la misma frecuencia. El ángulo de fase puede ser utilizado para balancear. El movimiento que se repite en intervalos de tiempo iguales se llama movimiento periódico. Algunos movimientos vibratorios de máquinas son armónicos; por ejemplo, la vibración de una máquina por masa desbalanceada. Sin embargo muchas máquinas tienen múltiples frecuencias componentes en su patrón de movimiento complejo que resulta en una forma de onda periódica que no es armónica.

**Medición de las Vibraciones:** Las mediciones son utilizadas para cuantificar la vibración (ver tabla 2.1).

**TABLA N° 2.1.**

| <b>Medición</b> | <b>Unidades</b>           | <b>Descripción</b>   |
|-----------------|---------------------------|--|
| Desplazamiento  | Micras p-p, Mils p-p<br>p | Movimiento de la máquina o estructura y esta relacionado con el esfuerzo.    |
| Velocidad       | mm/seg, pulg/seg          | Rapidez del cambio de desplazamiento y esta relacionado a la fatiga.         |
| Aceleración     | g's                       | Esta relacionado con las fuerzas presentes en los componentes de la máquina. |

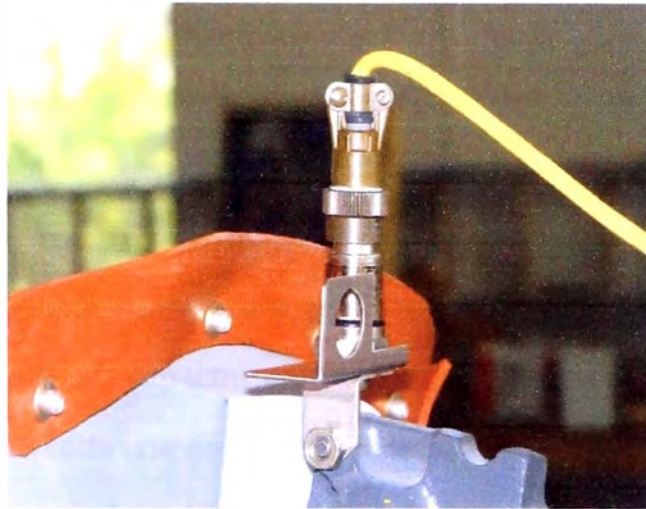
**Desplazamiento.** Es la medida dominante a bajas frecuencias (inferiores a 1200 CPM) y esta relacionado a los esfuerzos de flexión de sus elementos y se expresa en mils pico a pico, también es comúnmente utilizado para determinar el movimiento relativo entre el eje y su cojinete o entre la carcasa de la máquina y su eje, en este caso es usado a la frecuencia de operación y ordenes.

**Velocidad.** Es la rapidez del cambio de desplazamiento y esta relacionado a la fatiga del material, la velocidad se utiliza para evaluar la severidad de las vibraciones en las máquinas en el rango de frecuencias desde 600 cpm (10 Hz) hasta 60000 cpm (1000 Hz).

**Aceleración.** Es la medida dominante a altas frecuencias (superiores a 60000 cpm) y esta relacionado a las fuerzas presentes en los componentes de la máquina, tales como los engranajes y es utilizado para evaluar la condición de la máquina cuando la frecuencia excede a 1000 Hz (60000 cpm).

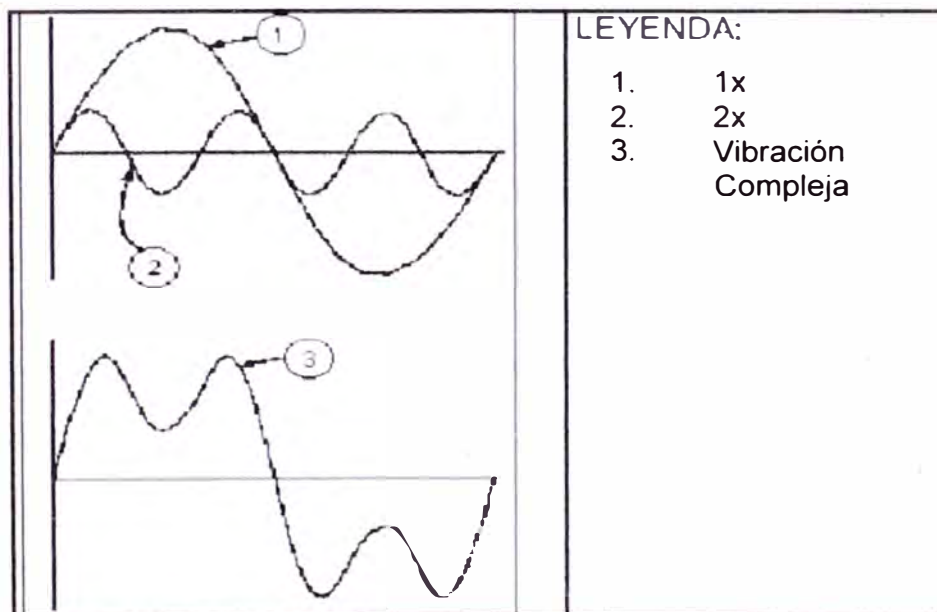
La vibración mecánica se mide con un transductor, ver figura 2.8., (también llamado *pick up* o sensor) que convierte el movimiento vibratorio en una señal eléctrica, las unidades de la señal eléctrica son los voltios (V) o los milivoltios (mV); la señal medida en voltios es enviada a un medidor, osciloscopio o analizador. La amplitud se calcula dividiendo la magnitud del voltaje por un factor de escala en mV/mil, mV/pulg/seg, mV/g, mV/grado, o alguna otra porción de mV/(unidad de ingeniería) que relaciona al transductor usado.

Un movimiento periódico complejo puede ser descompuesto en movimientos armónicos simples; la vibración periódica total mostrada en la figura 2.9 puede ser representada por la suma de dos ondas sinusoidales pertenecientes a las armónicas de vibración 1X y 2X.



**Fig. 2.8** Transductor

El movimiento periódico complejo tiene una forma única cuando las dos ondas componentes están en fase; si el ángulo de fase cambia, la amplitud resultante cambiará, la suma escalar de las amplitudes individuales de las armónicas generalmente no es igual a la amplitud resultante, solamente serán iguales cuando hay un desfase entre armónicas de  $45^\circ$  o  $225^\circ$ .

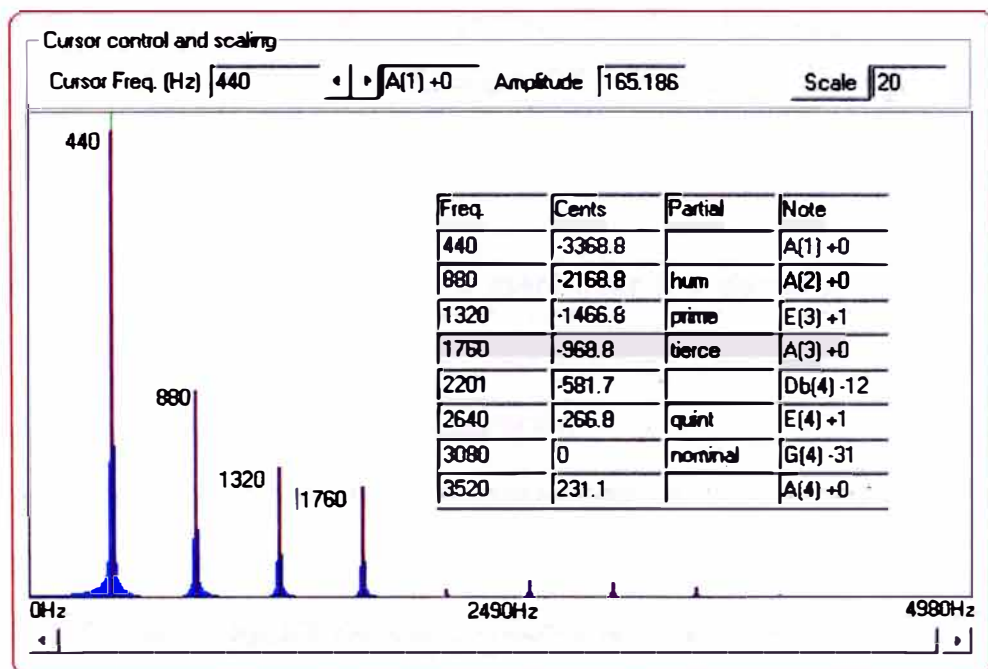


**Fig. 2.9** Vibración Periódica



Otros ángulos de desfase resultarán en una amplitud menor que la suma escalar de los componentes (Ver figura 2.9).

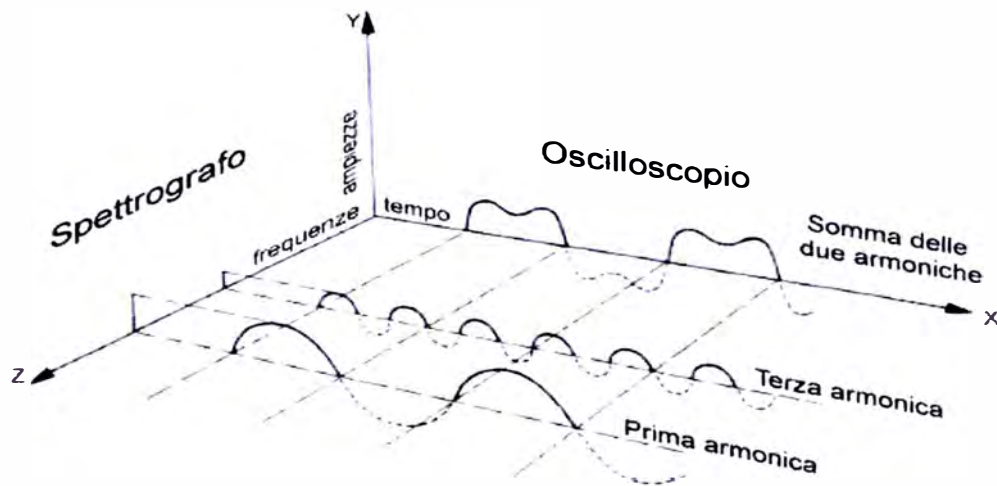
El espectro de frecuencias de la figura 2.10 muestra las amplitudes de los componentes armónicos de una onda compleja que han sido obtenidos por medio de un analizador de espectros. La descomposición de la forma de onda compleja en sus frecuencias componentes se muestran en la figura 2.11, la onda compleja no se puede obtener a partir del espectro de frecuencias a menos que se conozca los ángulos de fase entre cada una de las armónicas.



**Fig. 2.10** Espectro de frecuencia.

Un analizador FFT utiliza un bloque de los datos adquiridos durante un periodo de tiempo y relacionados a un rango de frecuencia seleccionados previamente para ser procesados. Una computadora digital que contiene un algoritmo (un procesamiento matemático definido). Lleva a cabo el análisis de FFT. El analizador de FFT muestra los componentes de vibración en ventanas (bins) o líneas (típicamente 400),

igualmente espaciadas por un rango de frecuencias, estas ventanas pueden ser consideradas como una serie de filtros.



**Fig. 2.11** Análisis de la forma de Onda.

**El propósito del análisis vibracional es identificar los defectos y evaluar la condición de la máquina,** las frecuencias son utilizadas para relacionar las fallas mecánicas con las fuerzas que causan la vibración.

Sin embargo es importante identificar las frecuencias de los componentes de las máquinas antes de ejecutar el análisis vibracional. Las fuerzas son a menudo el resultado de defectos, desgaste de sus componentes o son debido al diseño del equipo problemas de la instalación como el desalineamiento, patas cojas, soldaduras etc. La tabla 2.2 muestra una lista de frecuencias de fuerzas comúnmente asociadas con las máquinas; por que la fuente de vibración esta relacionada de alguna manera a la velocidad de operación, es importante identificar la velocidad de operación antes de proceder con el análisis de las vibraciones.

**TABLA N° 2.2** Algunas frecuencias de excitación asociadas a máquinas

| <b>Fuente</b>                       | <b>Frecuencias (múltiplos de las RPM)</b>          |
|-------------------------------------|--|
| <b>Fallas Inducidas</b>             |  |
| Desbalance de las masas             | 1x (una por RPM)                                   |
| Desalineamiento                     | 1x, 2x   |
| Eje deflexionado                    | 1x   |
| Soltura Mecánica                    | Armónicas impares de 1x                            |
| Distorsión de carcasa o cimentación | 1x   |
| Rodamientos                         | Frecuencias de fallas, no son armónicas de las RPM |
| Mecanismos de Impacto               | Múltiples frecuencias dependen de la forma de onda |
| <b>Inducido por el diseño</b>       |  |
| Juntas Universales                  | 2x   |
| Ejes asimétricos                    | 2x   |
| Engrane (n dientes)                 | Nx   |
| Acople (m mordazas)                 | Mx   |
| Giro de aceite                      | 0.43x a 0.47x                                      |
| Alabes e impulsores (z)             | Zx   |
| Maquinas reciprocantes              | 1/2 & múltiples armónicas RPM, dependen del diseño |

**Frecuencias Naturales, Forma Modal, y Velocidades críticas.** Las frecuencias naturales son determinadas por el diseño de la máquina o del componente, son propiedades del sistema y dependen de la distribución de la masa y rigidez.

Cada sistema tiene varias frecuencias naturales y no son múltiplos de la primera frecuencia natural (excepto casos raros de componentes simples).

Las frecuencias Naturales no son importantes en el diagnostico de fallas de la máquina menos que exista una fuerza de excitación que exista cuya frecuencia este cerca de la frecuencia natural, si es igual entonces hay resonancia y el nivel de vibración se elevará por que la máquina absorbe la energía fácilmente a sus

frecuencias naturales en el rango de frecuencias de las fuerzas de excitación son de interés en el análisis de las vibraciones de máquinas.

La forma modal de un sistema esta asociado a sus frecuencias naturales, la forma asumida por un sistema al vibrar a su frecuencia natural se llama forma modal. Una forma modal no proporciona la información sobre los movimientos absolutos del sistema pero sí sobre la deflexión en cualquier punto que se seleccione, esta deflexión es determinada con respecto a un punto fijo en el sistema normalmente en el extremo del eje. El movimiento absoluto puede determinarse solamente cuando la amortiguación y las fuerzas de vibración son conocidas. El modo de movimiento de los rotores rígidos es gobernado por la flexibilidad de los cojinetes y el punto donde la deflexión es cero se le llama nodo, obviamente los sensores nunca deben ser instalados en un nodo.

En conclusión, el análisis vibracional es una herramienta muy eficaz para la detección de posibles fallas que ocurrirán en un equipo de la planta; para esto es muy importante la correcta programación de los monitoreos de condiciones y la capacitación del personal encargado del mantenimiento predictivo, para tener una alta confiabilidad en el diagnóstico de fallas. Cabe resaltar que en el mercado hay una serie de marcas y modelos de equipos que permiten la recolección de datos para el análisis vibracional, y que incluso, permiten un diagnóstico inicial del estado del equipo; pero recomiendo que la decisión de la compra de un equipo colector de datos este acompañado de una evaluación técnica económica que debe ser realizada por personal capacitado.

En el anexo A se muestra la tabla de Charlotte, que sirve como una guía inicial para la determinación de inicio de falla en los equipos mediante el análisis vibracional.

### **2.7.2 Análisis de Aceites.**

Los análisis de laboratorio de aceite usado o refrigerante permitirá tener herramientas precisas que conduzcan a garantizar su confiabilidad y disponibilidad y a la solución global de problemas que pueden llegar a ser críticos. El análisis clásico de un aceite industrial (viscosidad, contenido de agua, número ácido total, conteo de partículas y contenido de metales en ppm) que se realice en forma aislada y sin ninguna periodicidad, no es suficiente para tomar decisiones.

#### **Definición del Petróleo.**

- El petróleo es un compuesto de origen orgánico, más denso que el agua y de un olor fuerte y característico.
- El petróleo (comúnmente conocido como "oro negro") es una mezcla compleja no homogénea de hidrocarburos (compuestos principalmente por hidrógeno y carbono).
- Este por lo general es el resultado de restos fósiles. Puede presentar gran variación en diversos parámetros como color, densidad, gravedad, viscosidad, capacidad calórica, etc. (desde amarillentos y líquidos negros y viscosos).
- Estas variaciones son debidas a las diversas proporciones presentes de diferentes hidrocarburos.
- Es un recurso natural no renovable, y actualmente también es la principal fuente de energía en los países desarrollados.

#### **Parámetros iniciales del petróleo.**

- Densidad Energética.- Cualquier fracción líquida de petróleo que supera los 10,000 Kcal/Kg. (el carbón solo llega a 7500 Kcal/Kg).

- **Número API.**- El petróleo es clasificado en liviano, mediano, pesado y extrapesado, de acuerdo a su medición de gravedad API. La gravedad API, de sus siglas en inglés American Petroleum Institute, es una medida de densidad que describe que tan pesado o liviano es el petróleo comparándolo con el agua. Si los grados API son mayores a 10, es más liviano que el agua, y por lo tanto flotaría en esta.

$$\text{Gravedad API} = (141.5 / (\text{GE a } 60^{\circ}\text{F})) - 131.5$$

GE = Gravedad Específica = Densidad = Gr/cm<sup>3</sup> Temperatura: 60°F~15°C

Ejemplo: Un crudo pesado con gravedad Específico de 1 (esta es la densidad del agua pura a 60°F) tendrá 10 grados API.

## **Lubricantes**

Un lubricante es un subproducto del petróleo. El lubricante es una sustancia sólida, semisólida o líquida en origen animal, vegetal, mineral o Sintética que se utilizan para reducir el rozamiento entre piezas y mecanismos en movimiento.

Clasificación:

Según su estado

- Sólidos: Grafito y Sulfuro de Molibdeno.
- Semisólidos: Grasas
- Líquidos: Aceites

## **Fundamentos de Lubricación**

**Lubricación:** Es la reducción de la fricción y desgaste entre dos superficies que están en movimiento relativo, debido a la aplicación de un lubricante.

**Lubricante:** Es un aceite o grasa colocado entre dos superficies en movimiento relativo que reduce la fricción y desgaste entre ambas partes.

**Tribología:** Es la ciencia que estudia íntegramente la relación que existe entre dos superficies en movimiento.

### **¿Que es la fricción?**

Es la fuerza de resistencia que encuentra un objeto al ponerse en contacto y desplazarse sobre otra superficie.

- La fricción estática es la fuerza de resistencia al movimiento entre dos superficies en contacto que no están en movimiento.
- La fricción dinámica es la fuerza de resistencia de dos superficies que están en movimiento. La fuerza de fricción dinámica es siempre menor a la fuerza de fricción estática.

**Superficie de contacto:** Las asperezas de contacto representan una parte de la superficie. La fuerza de fricción no tiene relación con el área total de la superficie pero es proporcional a la carga de la superficie.

**Fricción Sólida por deslizamiento:** Se produce cuando una superficie se desliza sobre otra superficie.

**Fricción Sólida por rodadura:** Se produce cuando una superficie rueda sobre otra superficie.

**Fricción Fluida:** La fricción de un fluido es la acción interna de las moléculas que se produce en el líquido en movimiento. La fricción líquida es siempre menor que la fricción sólida. Una buena lubricación reemplaza la fricción sólida por la fricción líquida.

## **Viscosidad.**

La viscosidad del lubricante es la propiedad más importante para la mayoría de equipos y componentes en la industria. La viscosidad es la resistencia de un líquido a fluir.

Los factores que afectan a la viscosidad son:

Temperatura:

- La viscosidad se incrementa cuando baja la temperatura y disminuye cuando sube la temperatura.

Carga:

- La película Lubricante se reduce cuando la carga se incrementa.

Velocidad:

- La película del lubricante se reduce cuando la velocidad aumenta.

Ratio de Corte:

- La viscosidad del aceite se reduce cuando el ratio de corte (corte de película del aceite) se incrementa.

Presión:

- La viscosidad del aceite se incrementa cuando la presión del aceite Aumenta.

**Viscosidad Absoluta:** Se utiliza cuando se requiere conocer el comportamiento del lubricante bajo condiciones definidas de flujo y también para conocer su comportamiento de corte por cizalladura; en la medición de la viscosidad absoluta el efecto de la gravedad no afecta la medición. La unidad de Medición es el Centi Poise (C.P.)

**Viscosidad Cinemática:** El tiempo requerido para que una cantidad fija de aceite atraviese un tubo capilar bajo la Fuerza de Gravedad. La unidad de viscosidad cinemática es el stoke o el centistoke cSt. (1/100 del stoke).



La viscosidad cinemática se mide a temperaturas de 40°C y 100°C

### **Desgaste**

Es la pérdida de material de una superficie debido a la fricción sólida entre dos superficies de contacto.

Los efectos del desgaste son: daño en la superficie sólida, menor eficiencia operativa, pérdida de potencia del motor, menor duración del equipo y probabilidad de falla catastrófica.

### **Estrategias de un análisis de aceite.**

El análisis de aceite es un extenso campo que comprende cientos de pruebas individuales, que proporcionan beneficios significativos mediante la valoración de una o más propiedades de un lubricante o máquina.

Con el análisis de aceite se desea obtener:

- Evaluar aceites nuevos.
- Evaluar aceites usados.
  - Si tiene las propiedades adecuadas.
  - Si está contaminado con agua.
  - Que tipo de metales hay.
  - Si está diluido.
  - Si hay ácidos.
- Evaluar hasta donde puede llegar el aceite.
- Evaluar si hay mezclas, etc.

A través de un análisis de aceite completo se puede obtener:

**Propiedades del Fluido:** se evalúan parámetros relacionados a la condición propia del aceite, es decir, se evalúan las propiedades físicas, químicas, aditivos, etc.

Contaminantes: los contaminantes pueden provenir desde:

El mismo aceite nuevo, del medio ambiente, del mismo componente internamente.

La contaminación compromete la confiabilidad de la máquina.

Análisis de las partículas de desgaste: aquí se evalúa el efecto de desgaste de los componentes internos de la máquina evaluando si hay condiciones anormales o críticas que ameriten tomar una acción inmediata.

Las pruebas de análisis en campo son fundamentales cuando hablamos de equipos críticos que pueden: causar daños a las personas como turbinas a vapor o gas o sistemas hidráulicos de alta presión y/o temperatura; causar daños al medio ambiente como aceites de transformadores; causar parada de la planta y pérdida de la producción como motores principales de barcos pesqueros o motores de generación de energía eléctrica a gran escala.

Es aquí en donde se justifica el monitoreo permanente en campo de parámetros tan significativos como: viscosidad, contaminación con agua o con Partículas, estas pruebas son rápidas y fáciles de aplicar por el personal de mantenimiento.

El 50% del éxito de un laboratorio de análisis de fluidos es la completa y rápida administración de los datos e información que genera producto de los análisis de fluidos.

Considero necesario mencionar para conocimiento general los equipos más importantes que puede tener un laboratorio de análisis de aceite:

- Equipo de análisis infrarrojo (Hollín, oxidación, nitración, sulfatación, glicol, agua, combustible y aditivo ZDDP).
- Equipo de análisis de viscosidad.
- Equipo de plasma para detectar metales.
- Equipo contador de partículas.

- Índice ferromagnético PQ (equipo automático para determinar cuantitativamente partículas ferromagnéticas)
- Equipo para medir el nivel de Acidez y Basicidad (AN y BN). (medida de concentración de ácidos en el aceite y la habilidad del aceite para neutralizar ácidos.)
- Equipos para medir la contaminación con combustible (Equipo Flash Point). Mínima temperatura en la cual un combustible produce suficiente gas para hacer ignición ante la presencia de una llama.
- Equipos para medir la contaminación con agua.
- Equipos para medir la oxidación.

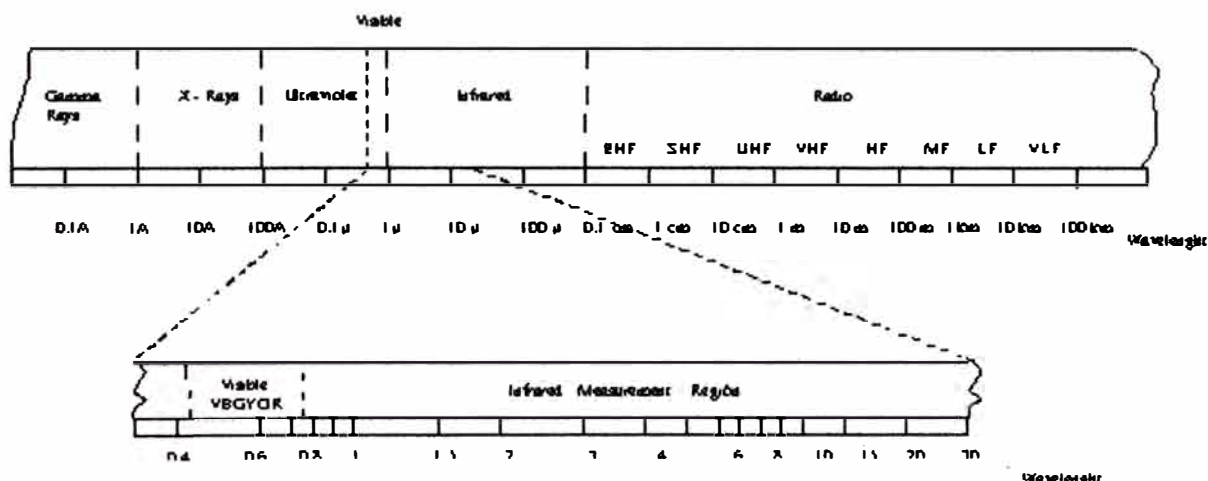
### **2.7.3 Termografía.**

La temperatura y el comportamiento térmico de la maquinaria es un factor crítico en el mantenimiento industrial. La medición de temperatura por no contacto usando sensores infrarrojos ha llegado a ser una alternativa creciente sobre otros métodos convencionales. La Termografía o imágenes térmicas infrarrojas se utilizan como un método eficaz de ensayo no destructivo y forma parte del mantenimiento predictivo. El mantenimiento predictivo y control térmico por imágenes es posible con la ayuda de sofisticadas cámaras de detección de infrarrojos, de la computadora y la utilización de innovados software y hardware.

Al utilizar razonablemente esta tecnología de punta su costo es recuperado en corto plazo, puesto que facilita a los Gerentes de Mantenimiento tomar las decisiones más adecuadas, reduciendo considerablemente los altos costos del mantenimiento correctivo y garantizando alta confiabilidad a las instalaciones. La aplicación de esta técnica reduce la exposición a riesgos y constituye un buen argumento de reducción de costos de pólizas de seguros.

### Radiación de infrarrojos.

Todo cuerpo sobre el cero absoluto de temperatura ( $-273^{\circ}\text{C}$ ), irradia una energía con una longitud de onda que se encuentra en el infrarrojo ( $0,76 - 1.000 \mu$ ), del espectro electromagnético. El espectro visible se extiende desde longitudes de onda de  $0,4 \mu$  para la luz ultravioleta hasta alrededor de  $0,75 \mu$ , para la luz roja. Para los propósitos prácticos de medición de temperatura el espectro infrarrojo se extiende de  $0,75 \mu$  hasta alrededor de  $20 \mu$ . Ver fig. 2.12



**Fig. 2.12** Espectro Electromagnético.

El sistema ojos – cerebro no es sensible a la radiación infrarroja emitida por un objeto, pero una cámara termográfica es capaz de sentir la energía con sensores infrarrojos que pueden ver estas invisibles longitudes de onda. Esto nos permite medir la energía radiante auto emitida por objetos y por lo tanto determinar la temperatura de la superficie remotamente y sin contacto. La radiación infrarroja es la señal de entrada que la cámara termográfica necesita para generar una imagen de un espectro de colores correspondiente a la temperatura.

Leyes básicas de la radiación infrarroja.

Las leyes de la física permiten convertir la medición de la radiación infrarroja en medición de temperatura, esto se logra midiendo la radiación auto emitida en la porción del infrarrojo del espectro electromagnético desde la superficie del objeto y convirtiendo estas mediciones en señales eléctricas.

Dos leyes físicas definen el comportamiento radiante:

1.- Ley de Stephan Boltzman:  $W = \varepsilon \sigma T^4$

2.- Ley de desplazamiento de Wien:  $\lambda_{m} = b/T$

Donde:

W.- Flujo radiante emitido por unidad de área (Watts/cm<sup>2</sup>)

$\varepsilon$  .- Emisividad

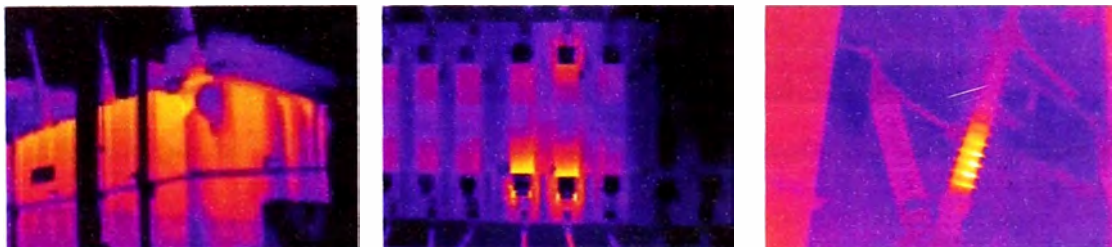
$\sigma$  .- Constante de Stephan Boltzman =  $5,673 \times 10^{-12}$  Watts ° K cm<sup>-2</sup>

T.- Temperatura absoluta del objeto (°K)

$\lambda_{m}$ . - Longitud de onda de radiación máxima ( $\mu$ )

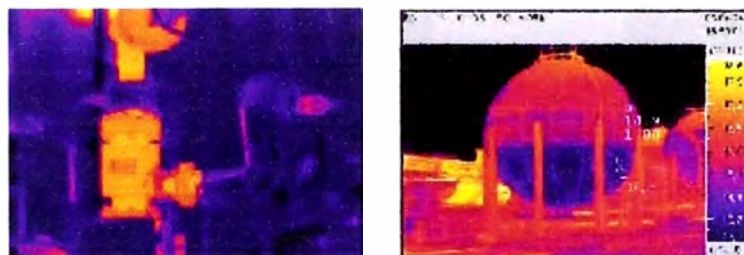
b.- Constante de desplazamiento de Wien =  $2.897 \mu$  °K

Algunas de las aplicaciones de la termografía en el campo eléctrico son: estado de conexiones, bornes y aisladores, estudio e histórico de transformadores, estado de bobinados de motores / generadores, Armónicos, inducciones, desequilibrio de fases, etc.



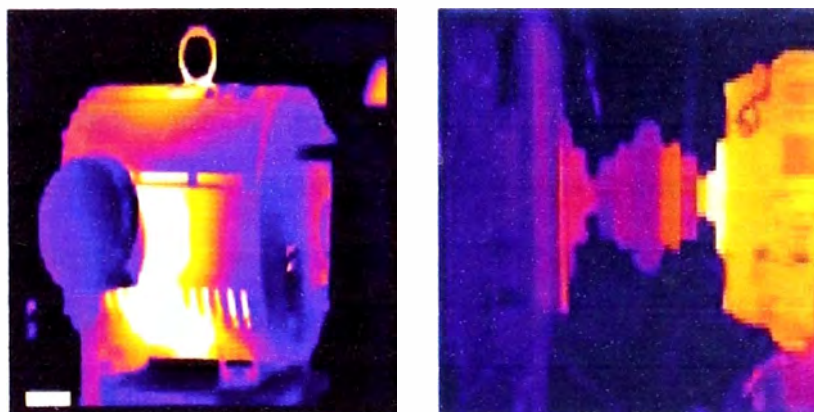
**Fig. 2.13** Imágenes infrarrojas para estudio térmico de Transformadores, estado de conexiones y fusibles y estado de aisladores eléctricos.

Algunos casos típicos para los que se aplica la termografía en plantas de Procesos son: estado y estudio de válvulas, detección de tuberías subterráneas, nivel de líquido de tanques (y sólido), estudio de refractarios, estudio de pérdidas térmicas, fugas de vapor, pérdidas de vacío, etc.



**Fig. 2.14** Imágenes infrarrojas para pérdidas en válvulas y estudio en tanques.

Las principales aplicaciones de la termografía en sistemas mecánicos son: estudio de motores y generadores, estudio de rodamientos y poleas, estado de cojinetes sistemas de transmisión y cajas de cambios, malos alineamientos, etc.



**Fig. 2.15** Imágenes infrarrojas de estudio térmico de máquinas y verificación de alineamiento

En la figura 2.16 se muestra el esquema de funcionamiento de una cámara infrarroja, para conocimiento general de este equipo.

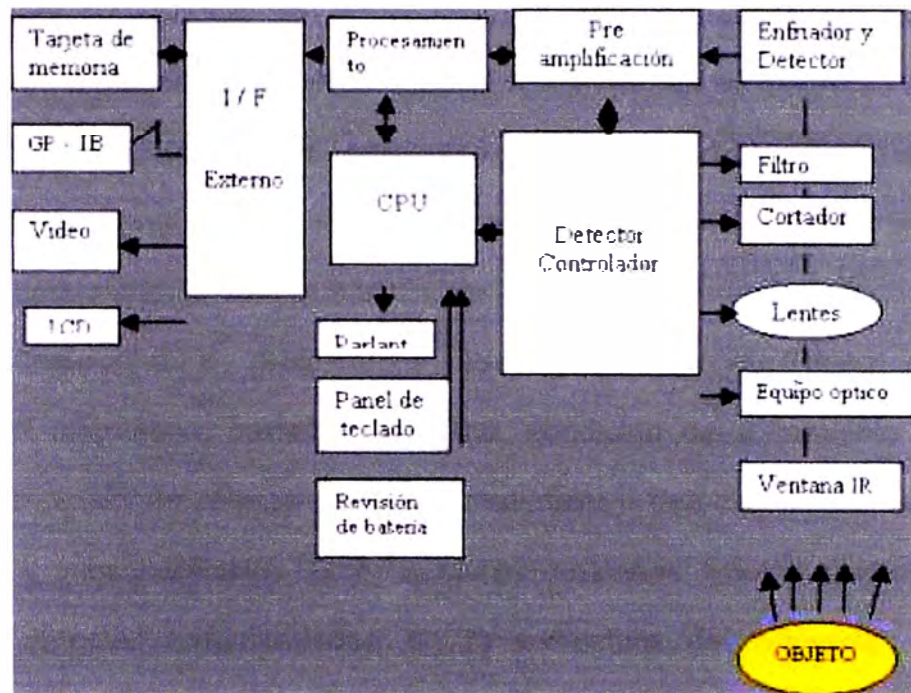


Fig. 2.16 Esquema de funcionamiento de una cámara I.R.

#### 2.7.4 Otras técnicas del mantenimiento predictivo.

Existen otras técnicas que se pueden utilizar dentro de un programa de mantenimiento predictivo, como por ejemplo: el Ultrasonido, que se puede utilizar para la detección de fallas que originan ondas de sonido con frecuencias por encima del umbral de audición humano, el cual es 20000 ciclos por segundo (20 Khz.), y se puede aplicar en monitoreo de rodamientos, lubricación acústica detección de fugas en líneas de aire a presión inspección de trampas de vapor, cavitación en bombas, monitoreo de compresores recíprocos, fugas en intercambiadores de calor y condensadores, etc. Pero la técnica de ultrasonido tiene otro campo de acción, claro que con un diferente equipo, para la medición de espesores en tanques, planchas, tuberías etc. también para detectar problemas en la estructura del material.

Otra técnica es la corriente de Eddy, que está basada en los principios de la inducción electromagnética y es utilizada para identificar o diferenciar entre una

amplia variedad de condiciones físicas, estructurales y metalúrgicas en partes metálicas ferromagnéticas y no ferromagnéticas, y en partes no metálicas que sean eléctricamente conductoras. Las corrientes de Eddy son creadas usando la inducción electromagnética, este método no requiere contacto eléctrico directo con la parte que esta siendo inspeccionada. Este método se puede aplicar en: Medir o identificar condiciones o propiedades tales como, conductividad eléctrica, permeabilidad magnética, tamaño de grano, condición de tratamiento térmico, dureza y dimensiones físicas de los materiales; detectar discontinuidades superficiales y subsuperficiales, como costuras, traslapes, grietas, porosidades e inclusiones; detectar irregularidades en la estructura del material; medir el espesores de un recubrimiento no conductor sobre un metal conductor, o el espesor de un recubrimiento metálico no magnético sobre un metal magnético.

El análisis de circuito del motor (MCA), es una técnica que permite al analista la oportunidad de considerar la resistencia sencilla(R), la resistencia compleja (Z Impedancia), la inductancia (L), el ángulo de la fase (Potencia de factor), la condición de aislamiento a tierra (Megohms) y otra pruebas, para determinar la condición de bobinados de motor. Estas lecturas se obtienen mejor, para seguridad y fiabilidad, con el equipo inactivo.

Dentro de un programa de mantenimiento predictivo se puede considerar también la inspección por Líquidos Penetrantes que es empleada para detectar e indicar discontinuidades que afloran a la superficie de los materiales examinados. En términos generales, esta prueba consiste en aplicar un líquido coloreado o fluorescente a la superficie a examinar, el cual penetra en las discontinuidades del material debido al fenómeno de capilaridad. Después de cierto tiempo, se remueve el exceso de penetrante y se aplica un revelador, el cual generalmente es un polvo blanco, que absorbe el líquido que ha penetrado en las discontinuidades y sobre la



capa de revelador se delinea el contorno de ésta. Actualmente existen 18 posibles variantes de inspección empleando este método; cada una de ellas ha sido desarrollada para una aplicación y sensibilidad específica. Así por ejemplo, si se requiere detectar discontinuidades con un tamaño de aproximadamente medio milímetro (0.012" aprox.), debe emplearse un penetrante fluorescente, removible por post-emulsificación y un revelador seco. Por otra parte, si lo que se necesita es detectar discontinuidades mayores a 2.5 mm (0.100" aprox.), conviene emplear un penetrante contrastante, lavable con agua y un revelador en suspensión acuosa.

Así como las técnicas mencionadas anteriormente, existen más técnicas de monitoreo de condición y/o ensayos no destructivo que pueden ser consideradas dentro de un programa de mantenimiento predictivo, y es responsabilidad del analista o implementador evaluar que técnica es la necesaria para la planta a la cual se esta implementando este tipo de mantenimiento.

## **2.8 Normas técnicas aplicadas en el mantenimiento predictivo.**

Las normas técnicas son un punto bastante importante dentro de la aplicación de la ingeniería, y sirve como una guía para algunas técnicas de mantenimiento predictivo. El implementador debe revisar que normas técnicas se pueden aplicar a las técnicas que piensa incluir dentro de su programa de mantenimiento predictivo, esto se debe realizar claro esta dentro de sus posibilidades económicas, y complementar con las condiciones de operación que se presenta en la planta.

Por ejemplo, para el caso de monitoreo de Bombas se puede revisar las Normas API (American Petroleum Institute), en donde se encuentran temas relacionados a su mantenimiento, montaje y/o operación, así como también podemos encontrar temas de bastante interés para el estudio de los lubricantes.

Las Normas ASME (The American Society of Mechanical Engineers), también toca temas relacionados a Bombas, motores, reductores, fajas transportadoras, etc. además indica información importante acerca de monitoreo de condición de equipos y pruebas no destructivas.

En las normas ISO (International Organization for Standardization), específicamente en la norma ISO 10816, se tienen criterios que pueden utilizarse para el análisis Vibracional, ver el anexo A. Para el caso del análisis de aceites se tiene la norma ISO 4406 en donde se establece los límites para el conteo de partículas.

En las Normas AWS (American Welding Society), se pueden encontrar normas acerca de la inspección de trabajos de soldadura.

En conclusión, se considera necesario que se revise las normas técnicas que puedan ser utilizadas para la implementación del programa de mantenimiento predictivo, y se recomienda revisar en internet las páginas de cada Norma técnica y buscar si tiene temas relacionados a la técnica que se esta pensando implementar.

Se adjunta las páginas de internet de las principales Normas técnicas:

<http://www.sae.org/servlets/index> (SAE, Society of Automotive Engineers).

<http://www.asme.org/> (ASME, American Society of Mechanical Engineers).

<http://www.aws.org/> (AWS, American Welding Society).

<http://www.ansi.org/> (ANSI, American National Standards Institute)

## **CAPITULO III**

### **IMPLEMENTACIÓN DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO.**

Para poder plantear la implementación del mantenimiento predictivo, es necesario analizar el estado en el que se encuentra el área de Mantenimiento; de esta manera se tendrá un punto de partida que nos permitirá realizar la comparación de los resultados obtenidos frente a los datos que se tenían antes de la implementación del mantenimiento predictivo. Después de este análisis se podrá indicar el plan que se propone para la implementación del mantenimiento Predictivo.

#### **3.1. Estado del mantenimiento antes de la implementación del Mantenimiento Predictivo.**

##### **3.1.1 Actividades de Mantenimiento.**

El Organigrama del área de mantenimiento se presentaba de la siguiente manera (VER ANEXO B).

Como se puede observar, inicialmente no se consideraba la participación de personal dedicado a actividades de mantenimiento predictivo en el área de procesos, pero a diferencia de esta área, en mantenimiento Mina, ya se tenía designado personal para las actividades del mantenimiento Predictivo.

Para aplicar y/o implementar un nuevo programa de mantenimiento, es necesario conocer toda la planta a fondo, es decir tener los conocimientos e ideas claras de la importancia que representa cada equipo de la planta en la producción; el Layout de la planta de chancado es un buen inicio para poder representar de una forma clara

y directa la ubicación de los equipos y a la vez poder determinar su importancia en la producción; el Layout de la planta de chancado se indica también en el anexo B.

Dentro de los equipos importantes de la planta de chancado, se encuentran:

La Chancadora Primaria, Las Chancadoras Secundarias, Las Zarandas, las Fajas transportadoras, Los MCC (cuarto de control de motores).

El mantenimiento en la Planta de Chancado se enfocaba netamente a actividades de mantenimiento Preventivo y Correctivo, con paradas de planta programadas en una **frecuencia semanal**, la duración de estas paradas era en promedio de 6 horas, en donde se realizaban cambios de componentes importantes, reforzamiento de planchas de desgaste, e inspecciones del estado de la planta. En algunas ocasiones se realizaba monitoreos de análisis vibracional a algún equipo, esto a solicitud del área de mantenimiento, y era realizado por personal de Planeamiento o personal de Mantenimiento, que habían llevado un curso de capacitación en el análisis vibracional de equipos.

Las actividades que se consideraban dentro del mantenimiento preventivo se listan en el anexo C. Como se puede observar se cuenta con programas de inspecciones anuales y con programas de cambio de componentes importantes.

Pero un indicador clave del estado de mantenimiento en los últimos años es la **disponibilidad**, y como se puede observar en el anexo D, la disponibilidad de la planta desde el año 2000 hasta el 2002 tuvo un incremento importante; y esto se debe a la implementación del mantenimiento preventivo (inspecciones planeadas, y programas de cambios de componentes importantes); pero a partir del 2003 hasta el 2005, la disponibilidad se mantuvo entre un rango promedio, lo cual indicaba que las técnicas de mantenimiento, que hasta en ese entonces se estaban aplicando, llegaron a un límite que no se podía superar a menos que se diera el siguiente paso hacia el mantenimiento predictivo.

En este mismo anexo se puede apreciar el MTBS del año 2005, que representa un factor importante para la confiabilidad, y que se debe considerar como objetivo, el incremento de este valor mediante las mejoras en el mantenimiento, entre las que se encuentra la implementación del mantenimiento predictivo.

### **3.1.2 Costo del Mantenimiento.**

En el año 2005, los costos del mantenimiento que se dieron en la planta de chancado se pueden observar en el Anexo E.

Como se puede apreciar en la gráfica, los costos por mantenimiento de los equipos en ese año se dieron por encima de lo presupuestado.

## **3.2 Propuesta para la Implementación del Programa de Mantenimiento Predictivo.**

Conocidos los antecedentes del mantenimiento y los equipos que tiene la planta de chancado, se puede desarrollar la propuesta para aplicar el mantenimiento predictivo.

### **3.2.1 Efectividad del Mantenimiento Predictivo.**

Para que un programa de mantenimiento predictivo se considere efectivo, este debe incrementar la confiabilidad (Reliability) y el desempeño operacional de la maquinaria, mientras que al mismo tiempo se reducen costos de producción incluyéndose los costos de mantenimiento.

Para diseñar e implementar un programa de mantenimiento predictivo efectivo es necesario determinar en que equipos, máquinas o procesos se justifica la implementación del programa tanto técnica como económicamente. Para lograr esto se requiere:

**Primero:** conocer los diferentes modos de falla y los efectos negativos que causan sobre la maquinaria.

**Segundo:** conocer las ventajas y limitaciones de las diferentes técnicas de mantenimiento predictivo para así seleccionar la técnica más aplicable y justificable económicamente.

**Tercero:** contar con un equipo de técnicos altamente competentes en las técnicas de mantenimiento predictivo.

**Cuarto:** cambiar la cultura de mantenimiento reactivo a cultura de mantenimiento predictivo.

### **3.2.2 Pasos para la implementación Efectiva del Mantenimiento Predictivo.**

A continuación se mencionará los lineamientos que se proponen para la implementación del mantenimiento predictivo en la planta de chancado:

#### **a) Definir quién tendrá la responsabilidad de llevar a cabo el mantenimiento predictivo.**

En este punto, se debe de coordinar con la superintendencia y/o Jefatura, la responsabilidad del mantenimiento Predictivo; esta persona definirá las necesidades del departamento, dependiendo del resultado que se obtenga del estudio de las técnicas de monitoreo y de criticidad de los equipos en la planta.

#### **b) Seleccionar el Equipo crítico, (análisis de criticidad).**

Esta selección se realizará utilizando el cuadro del anexo F, en cada equipo de la planta de chancado.

#### **c) Determinar los parámetros factibles a monitorear.**

A cada equipo de la planta de chancado, que se ha realizado el análisis de criticidad, se le debe evaluar que parámetros son factibles para un monitoreo de su condición, para esto es necesario seleccionar las partes de cada equipo que puedan ser controladas en sus parámetros de: vibración, temperatura, rodamientos,

ultrasonido, electricidad, lubricación, rozamiento, humedad, corrosión, etc. Cada uno de ellos se mide con un instrumento específico, y para su interpretación existen parámetros “máximos” (valor más alto admisible) y “mínimos” (valor más bajo aceptable) dentro de cuyos rangos debe encontrarse las mediciones a ser efectuadas.

**d) Seleccionar la técnica y el método de mantenimiento Predictivo.**

Muchas compañías inician un programa de mantenimiento predictivo escogiendo una de las tecnologías más comunes, el análisis vibracional. Luego capacitan a su personal en esta técnica, realizan pruebas en algunos equipos, e inician la aplicación de este monitoreo a sus equipos críticos. Al parecer este sería un camino sencillo y poco arriesgado para iniciar el mantenimiento predictivo, pero esto es incorrecto.

| Equipment Type Versus Technology Application(s) | MECHANICAL |            |          |              | ELECTRICAL |             |          |            | STATIONARY        |                      |                       |              |
|---|------------|------------|----------|--------------|------------|-------------|----------|------------|-------------------|----------------------|-----------------------|--------------|
|   | Vibration  | Ultrasound | Infrared | Oil Analysis | MCA Online | MCA Offline | Infrared | Ultrasound | Visual Inspection | Ultrasonic Thickness | Dye Penetrant Testing | Eddy Current |
| Chiller   | X          | X          | X        |              | X          | X           |          | X          | X                 |                      |                       | X            |
| Centrifugal Pump                                | X          | X          | X        | X            | X          | X           | X        |            | X                 | X                    | X                     |              |
| Air Compressor                                  | X          | X          | X        | X            | X          | X           | X        | X          | X                 |                      |                       |              |
| Tank  |            |            | X        |              |            |             |          |            | X                 | X                    |                       |              |
| Evaporator                                      |            |            | X        |              |            |             | X        |            | X                 |                      |                       |              |

Fig. 3.1 Cuadro que se utilizará para relacionar las técnicas de monitoreo con los equipos.

La mayoría de los equipos presentan señales de emergencia que se pueden detectar antes de la falla (cualquier cambio en temperatura, vibración o sonido). El problema está en que una o dos tecnologías de monitoreo, no pueden detectar las mayorías de estas señales y por lo tanto con una sola técnica de monitoreo y

análisis, se perderán más señales de las que se detecte. Es decir, el camino hacia un acertado sistema de monitoreo, es hacerlo altamente sensible a los diferentes modos de falla que puedan tener los equipos de la planta. Lo que es importante recordar es que los modos de falla y la criticidad de los equipos, determinan cual tecnología es necesario aplicar. El cuadro que se utilizará para poder determinar la técnica de monitoreo se muestra en la figura 3.1.

**e) Elaborar la justificación económica del programa de mantenimiento predictivo.**

Esto se realizará después de determinarse las técnicas a utilizarse y los equipos que se van a monitorear.

**f) Elaborar los procedimientos detallados de las rutinas de mantenimiento Predictivo.**

Los procedimientos se realizarán, considerando los equipos y las técnicas de monitoreo a realizarse.

**g) Capacitar y entrenar al personal en la metodología y técnicas de mantenimiento.**

Se debe considerar este punto dentro de la justificación económica del programa de mantenimiento predictivo.

**h) Dar inicio Oficial al programa de mantenimiento Predictivo.**

La duración de la implementación del programa del mantenimiento predictivo, va a depender básicamente de la cantidad de equipos a analizar y del tamaño de la planta. En nuestro caso el estudio de la planta de chancado de la mina Pierina, necesita un periodo de implementación de 4 meses, considerando 2 meses en abarcar los puntos de la a) hasta la f) y 2 meses, para realizar la capacitación al personal, la toma de los primeros datos, y los seguimientos de control a estos primeros datos.



**i) Realizar el seguimiento e informes de control.**

Como lo mencioné en el paso anterior, el seguimiento a los primeros datos es muy importante, para poder determinar los valores mínimos y máximos de los parámetros que estamos controlando. Pero el seguimiento y control debe ser continuo a partir desde los primeros datos, para poder mantener el historial de las condiciones en las que se encuentran los equipos.

## **CAPÍTULO IV**

### **DESARROLLO DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO.**

El desarrollo del programa de mantenimiento predictivo, se enfoca principalmente a cumplir con todos los puntos indicados anteriormente para una eficaz implementación de este tipo de mantenimiento, pero un punto importante para el desarrollo del programa es **asegurar el compromiso de la alta Gerencia** en donde a la vez se designe un coordinador o líder encargado de reportar el avance de la implementación del programa.

Inicialmente, se determinó que la persona encargada para el desarrollo del programa de mantenimiento predictivo sea un profesional con conocimientos de ingeniería, con experiencia en el mantenimiento de la planta, y con los conocimientos básicos del mantenimiento predictivo, esta persona debería tener el apoyo de un practicante en los inicios de la implementación del programa, y con los primeros resultados reportar las necesidades de recursos humanos y materiales (equipos de oficina y mantenimiento predictivo), que son necesarios para cumplir con el monitoreo de condición de toda la planta de chancado.

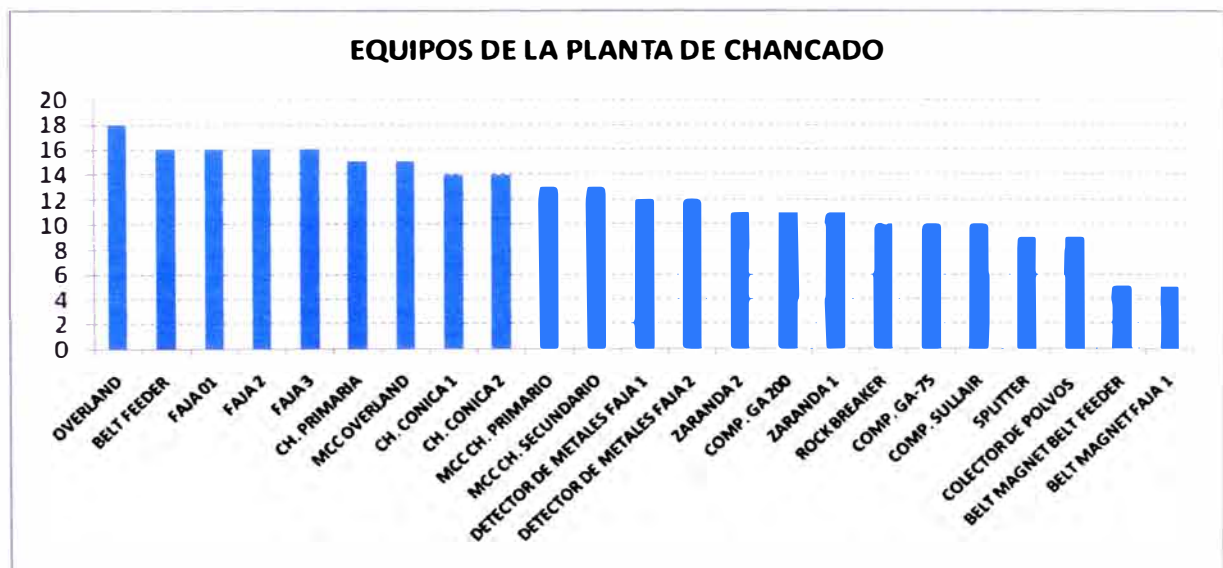
#### **4.1 Análisis de criticidad de los equipos**

Se realizó el análisis de criticidad de los equipos más importantes de la planta de chancado y para los resultados, se partió de la siguiente escala de referencia:

**TABLA N° 4.1 Escala de Referencia**

| ESCALA DE REFERENCIA |            |         |
|----------------------|------------|---------|
| A                    | CRITICA    | 16 a 20 |
| B                    | IMPORTANTE | 11 a 15 |
| C                    | REGULAR    | 06 a 10 |
| D                    | OPCIONAL   | 00 a 05 |

Obteniéndose los siguientes resultados:



**Fig 4.1** Escala de referencia para determinar la criticidad de los equipos

Como se puede observar en la figura 4.1, se ha podido identificar a los equipos de la planta que son críticos y a los equipos que son importantes, con lo que se puede aplicar el siguiente paso de desarrollo de la implementación. La tabla completa del análisis de criticidad de los equipos se puede observar en el anexo G.

## 4.2 Parámetros factibles a monitorear.

Para cada equipo que ha sido definido como crítico e importante es necesario determinar todos los parámetros factibles para su monitoreo de condición, esto se puede observar en el Anexo H, en donde se ha determinado como uno de los parámetros más factibles a la temperatura (ver figura 4.2).

Cada equipo debe ser evaluado minuciosamente apoyándose con los manuales de operación y mantenimiento. Es importante también los conocimientos básicos del mantenimiento mecánico y eléctrico de los equipos a los que se esta estudiando, por lo que es importante también el apoyo para consultas con personal técnico de mantenimiento.

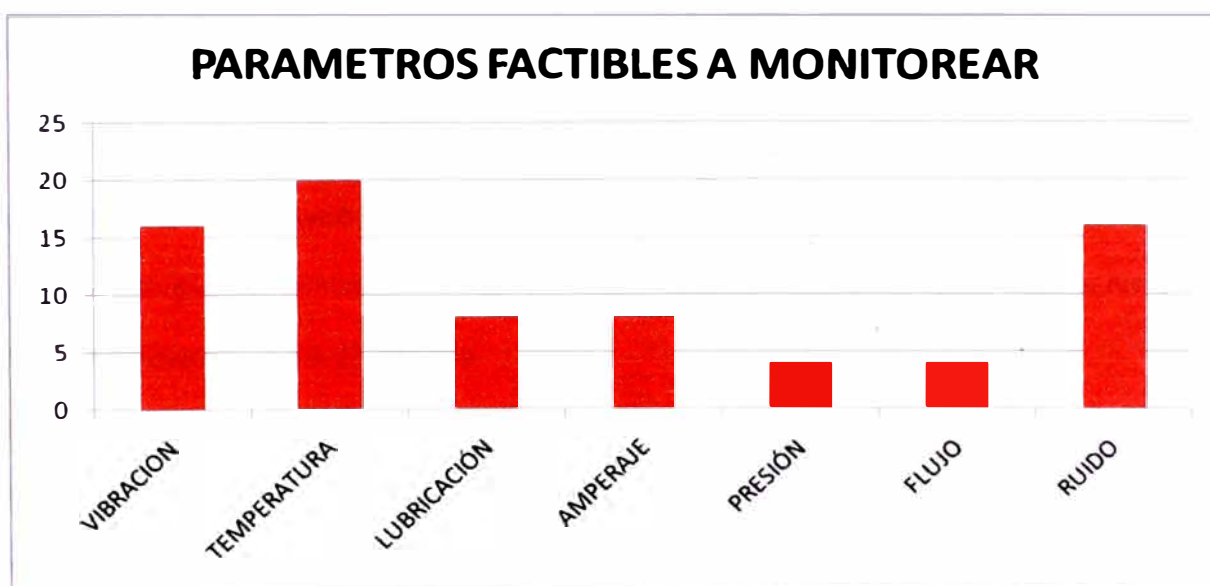


Fig. 4.2 Parámetros factibles para monitorear.

## 4.3 Selección de técnica y método de Mantenimiento Predictivo.

Inicialmente se procede a analizar los equipos más críticos e importantes de la planta, apoyándonos con los parámetros más factibles a monitorear, y como resultado se obtuvo la relación que se puede observar en la fig. 4.3.

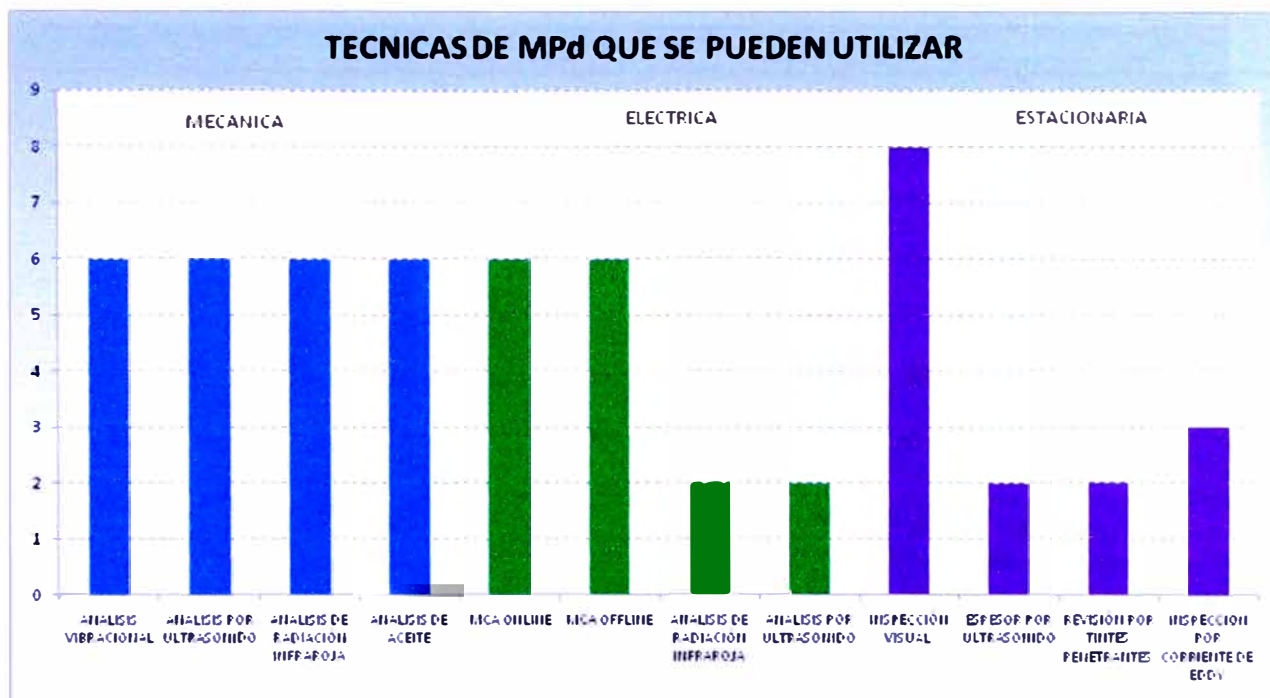
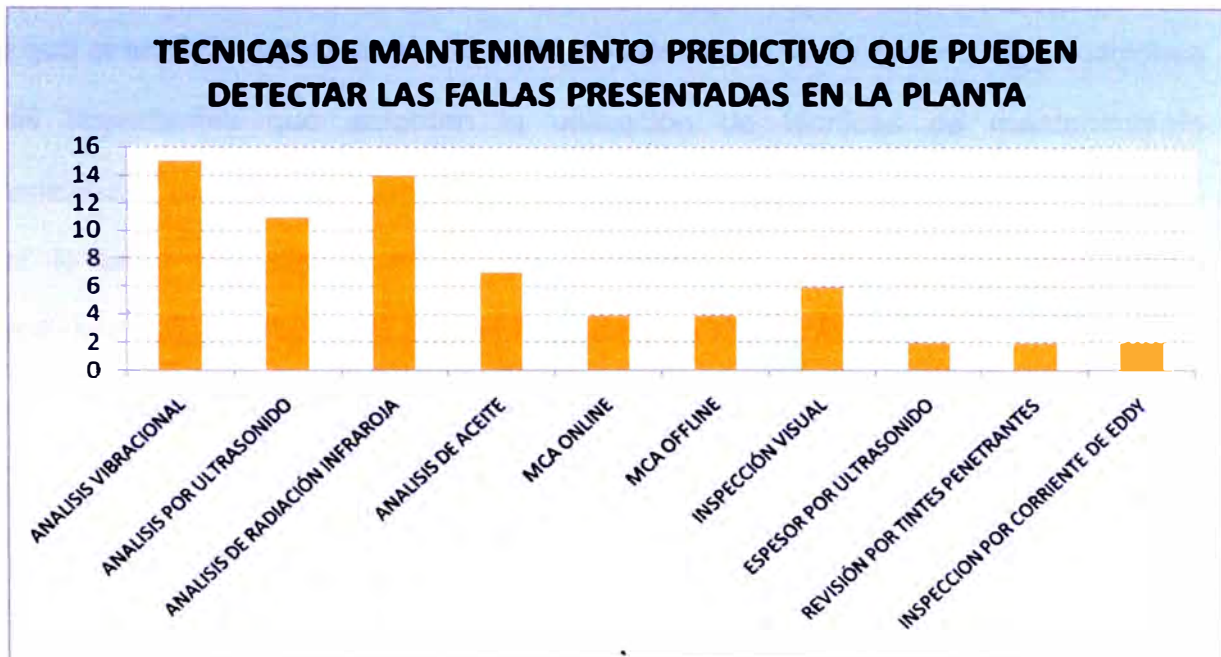


Fig. 4.3. Técnicas de MPd que se pueden utilizar para la planta de Chancado

La tabla completa de donde se obtuvo la fig 4.3, se puede observar en el anexo I.

Para este análisis se utilizó las técnicas predictivas más comunes en el mercado; si se desea se puede adicionar otras técnicas que el implementador conozca y considere necesario para el análisis.

A partir de estos resultados, podemos indicar que ya se conoce básicamente las técnicas que podemos implementar para nuestro mantenimiento Predictivo en la Planta; y como se puede observar en la figura, la inspección visual es una técnica que abarca a todos los equipos analizados. Pero es necesario para la justificación de las técnicas seleccionadas, realizar un análisis del modo de falla de los equipos; ya que se debe disponer de las OT's u ordenes de trabajo en donde se tiene el historial de falla y mantenimiento de estos equipos. En caso de no disponer de esta información será necesario coordinar una reunión con personal de mantenimiento y establecer estos modos de falla y frecuencias.



**Fig. 4.4** Técnicas predictivas evaluadas de acuerdo a modos de falla de los equipos.

Se procedió a listar **las fallas más importantes** que se han presentado en la planta de chancado y se indicó la frecuencia con la que se han estado dando, esta información se obtuvo de la relación de Ordenes de Trabajo de todos los equipos que están involucrados en el análisis.

Luego se procedió a relacionar las fallas que se han presentado con las técnicas predictivas que pueden detectarlas, y así obtener las técnicas que siendo consideradas en nuestro programa de mantenimiento predictivo será un programa altamente sensible a los diferentes modos de falla que puedan tener los equipos de la planta.

La lista de las fallas más importantes con su relación con las técnicas predictivas se pueden observar en el anexo J, y el resultado de esta relación se observa en la figura 4.4. A diferencia de los resultados de la figura 4.3, en donde la base del análisis era solamente los parámetros factibles a monitorear de los equipos, en la

figura 4.4, ya no se considera como una técnica importante a la inspección Visual, ya que al analizar detalladamente los modos de fallas, se ha encontrado situaciones más importantes que ameritan la utilización de técnicas de mantenimiento predictivo.

Por lo tanto de acuerdo al análisis realizado, las técnicas de mantenimiento Predictivo que se propondrá para el Programa de Mantenimiento son:

- Análisis Vibracional
- Análisis de radiación infrarroja (Termografía)
- Análisis por Ultrasonido.
- Análisis de Aceites.

Así mismo se propondrá tener como responsabilidad la inspección visual de los equipos durante las paradas de Planta Programada (revisión de estado de componentes de desgaste).

Por supuesto que las demás técnicas no están excluidas; definitivamente más adelante, cuando el programa de Mantenimiento Predictivo este completamente implementado, tendrá que llevarse a cabo una mejora continua en donde se analizará nuevamente la posibilidad de considerar nuevas técnicas de mantenimiento predictivo.

#### **4.4 Justificación Económica.**

Para la justificación económica de las técnicas de Mantenimiento Predictivo es necesario definir varios puntos que participan directamente con esta parte del Informe:

- Cuanto es el costo por Hora de parada de planta.
- Es necesario definir para las técnicas de mantenimiento predictivo si se va ha establecer la implantación de este programa por Subcontratación, o se va

ha comprar equipos para que el programa de mantenimiento lo realicemos nosotros, o se va ha realizar algo intermedio, es decir se compra algunos equipos, los de mayor frecuencia de uso, se toma los datos y para el análisis de datos nos apoyamos con una contratista.

- Se debe definir la cantidad de personal que participará en el Programa de mantenimiento Predictivo, así como también la ubicación que tendrá la oficina de este departamento. Si es necesario implementar una oficina, y proporcionar los implementos de cómputo.

Para el caso de la Mina Pierina y la implementación del Programa de Mantenimiento Predictivo en su planta de Chancado, estos puntos han sido definidos de la siguiente manera:

- El costo de una Hora por parada de planta es de \$.8000. Valor proporcionado por el área de producción.
- Para el programa de mantenimiento Predictivo, se ha decidido, que será necesario la compra de equipos para algunas técnicas y en otros casos se va ha subcontratar el servicio de otras empresas; básicamente esto se ha decidido, por los siguientes motivos: se necesita que los análisis de ciertos parámetros, para verificar el estado del equipo, a parte de que se realicen en forma programada, se puedan realizar en cualquier momento, ya que en varias ocasiones se puede alterar algunas condiciones de operación de los equipos por mala operación o por problemas con el mineral. Entonces de ocurrir un evento, como atoros, mineral sobredimensionado, metales en el mineral etc. se pueda monitorear continuamente nuestros equipos sin depender de la disponibilidad de otra empresa. Por lo tanto para el Análisis Vibracional, Ultrasonido y Termografía, se va ha proponer la compra de los equipos. En el caso del análisis de aceite, la Mina cuenta actualmente con



un Laboratorio de análisis de Lubricantes, perteneciente a la empresa que nos vende los aceites para los equipos de maquinaria pesada, en el contrato con esta empresa, se establece que esta empresa provee un laboratorio para analizar el estado de los aceites lubricantes de la maquinaria Pesada, y se va a proponer incluir en los análisis de este laboratorio, los equipos de la planta de chancado.

- En cuanto al personal que va a participar en el departamento de mantenimiento predictivo, se va a solicitar lo siguiente:

Un Analista Predictivo (encargado de los análisis de datos),

2 inspectores (encargados de la Toma de datos, pueden ser personal de mantenimiento eléctrico y mecánico).

Un practicante egresado de ingeniería Mecánica o eléctrica, para el apoyo del área.

En la tabla 4.2 se presenta el cuadro de inversión de equipos, de acuerdo a cotizaciones realizadas con anterioridad. Con este cuadro se podrá realizar la justificación económica de la utilización de cada técnica de mantenimiento Predictivo propuesta.

**TABLA Nº 4.2** Cuadro de Inversión de Equipos e instrumental.

| EQUIPO   | COSTO    | VIDA<br>UTIL<br>(AÑOS) | DEPRECIACIÓN<br>ANUAL |
|--|----------|------------------------|-----------------------|
| ANALIZADOR DE VIBRACIONES MICROLOG CMVA 55                 | \$25,000 | 6                      | \$4,167               |
| EQUIPO DE ANALISIS DE ULTRASONIDO SDT 170                  | \$9,000  | 6                      | \$1,500               |
| RAYTEK MT6 INFRARED THERMOMETER                            | \$300.00 | 2                      | \$150                 |
| CAMARA TERMOGRÁFICA  | \$30,000 | 6                      | \$5,000               |
| CAPACITACIÓN   | \$2,000  |                        | \$2,000               |
| <b>TOTAL (\$ USD) ANUAL</b>                                |          |                        | <b>\$12,817</b>       |
| Costo por servicio mensual de análisis de aceite Lab Shell |          |                        | \$308.00              |

Para poder Justificar las técnicas de mantenimiento predictivo propuestas, se debe utilizar el historial de mantenimientos correctivos de la planta, analizando las fallas que pueden ser detectadas por el Programa de Mantenimiento predictivo y los costos que estas han representado en el transcurso de un año.

En el anexo K, se ha listado las fallas que se han presentado en las fajas transportadoras y en los MCC, durante el año 2005; se ha determinado también el costo que representan estas fallas, considerando costo por Mantenimiento (Repuestos y mano de Obra) y el Costo por parada de planta (pérdida de producción).

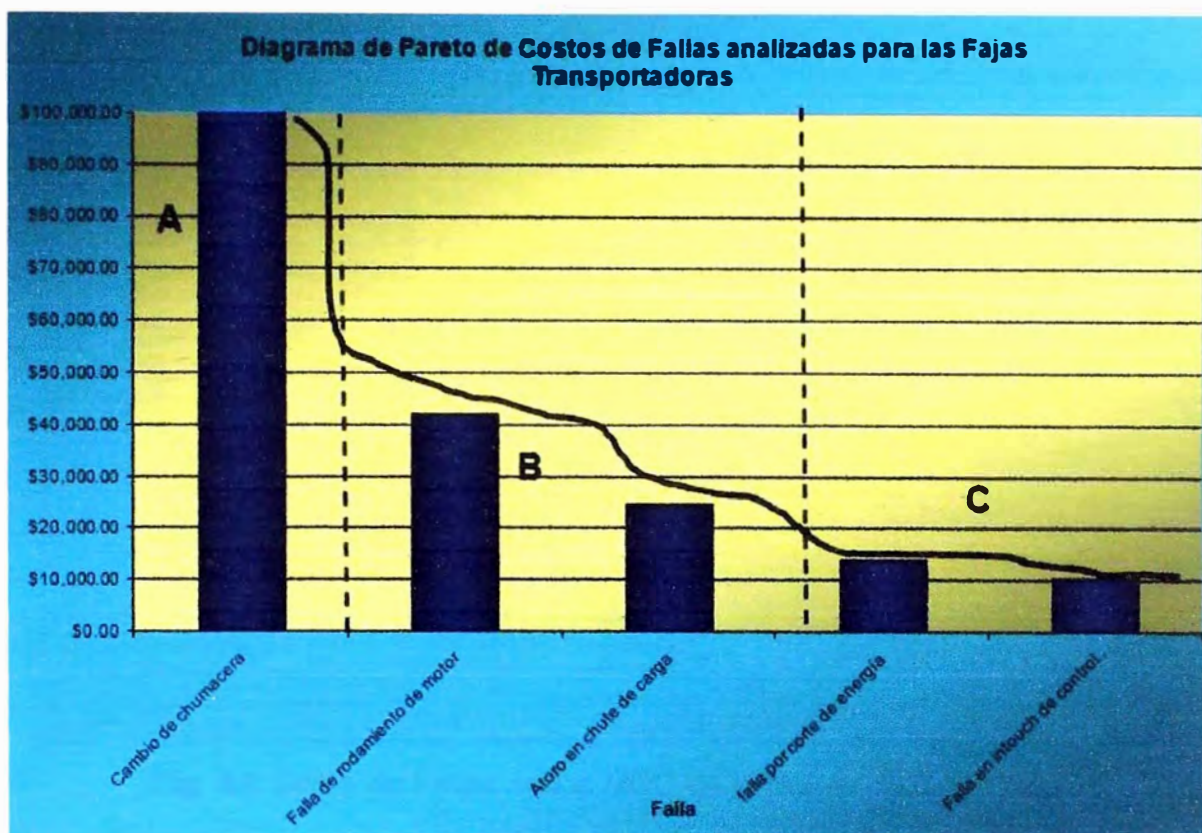
En la Tabla 4.3, se indican los costos de mano de obra de personal de mantenimiento, costo que se ha utilizado para determinar el costo total que representan las fallas.

En la figura 4.5, se grafica una curva en donde se clasifican las fallas presentadas en las fajas en tres categorías (A, B y C).

Como se puede observar, se ha identificado a la Falla en las chumaceras como categoría A, lo que significa que este tipo de falla debe ser considerado para nuestra justificación económica.

**TABLA N° 4.3** Costo de Mano de Obra del personal de mantto.

| <b>PERSONAL</b>             | <b>COSTO M.O. / HORA</b> | <b>SUELDO</b> |
|-----------------------------|--------------------------|---------------|
| Supervisor de mantenimiento | \$6.67                   | \$1,600.00    |
| Líder Mecánico              | \$4.17                   | \$1,000.00    |
| Líder Eléctrico             | \$4.17                   | \$1,000.00    |
| Técnico mecánico            | \$3.25                   | \$780.00      |
| Técnico electricista        | \$3.25                   | \$780.00      |



**Fig. 4.5** Costo de Fallas en Fajas transportadoras

Las técnicas de mantenimiento predictivo que pueden detectar con mayor precisión este modo de falla son el **Análisis Vibracional** y el **Análisis Por Ultrasonido**, y la compra de los equipos para estas técnicas suman **\$34000**.

Se ha identificado que en el año 2005, se ha tenido un costo de falla de **\$101992.52**, por lo tanto se puede observar que la inversión de la compra de equipos para monitorear las condiciones de las chumaceras de fajas y minimizar este costo de falla, es menor, con lo que se estaría logrando un gran ahorro en la producción.

En la figura 4.6 se muestran los costos que se generaron por fallas en los MCC de la planta de chancado, y en esta ocasión el costo más alto se presentó por cambio de multilin, que se originó por corto circuito en el sistema; esta falla se presentó en dos ocasiones.

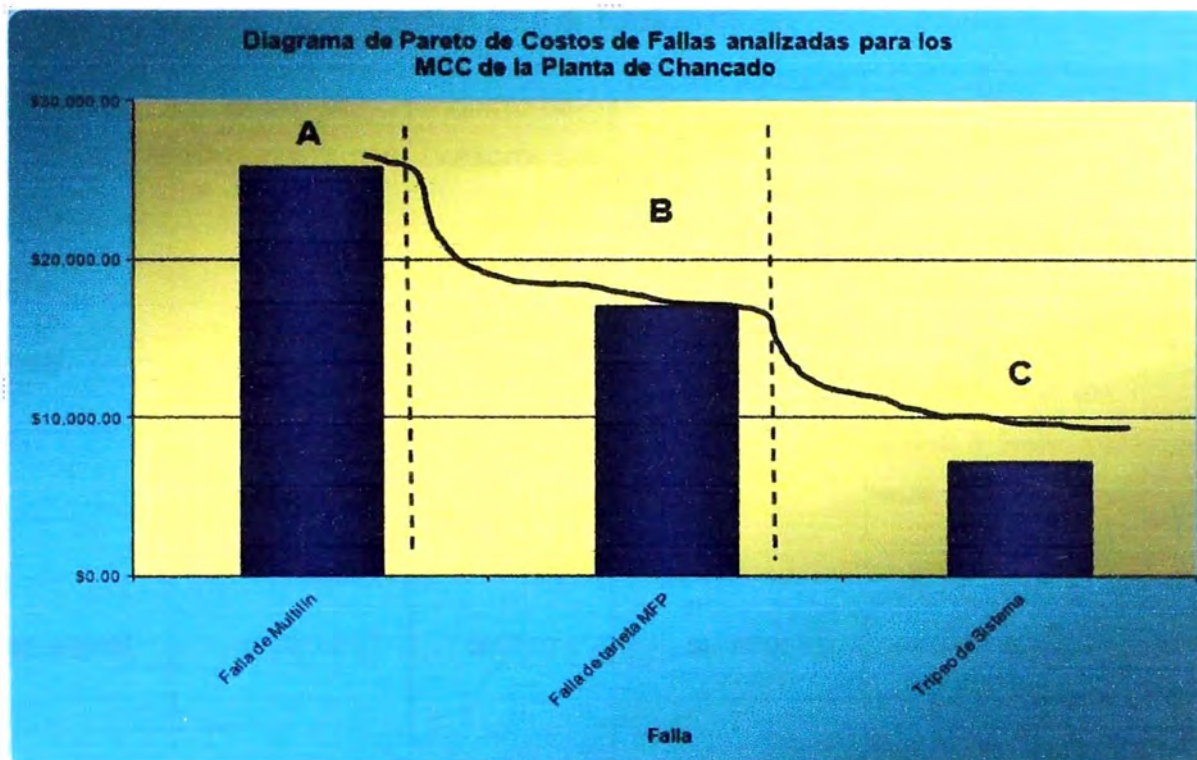


Fig. 5.6 Costo de Fallas en los MCC de la Planta de Chancado

Utilizando la técnica de inspección por Termografía, se invierte **\$30000** para el monitoreo de esta falla, cuyo costo representa **\$25921.34**.

Para el caso del Análisis de aceite, según el contrato que ya se tiene con el laboratorio Shell, el costo mensual por el análisis de aceite de nuestros equipos es de **\$308.00** y la justificación económica se enfoca principalmente al ahorro que generará extender el tiempo de cambio de aceite a los equipos, por ejemplo en el caso de la Ch. cónica el cambio de aceite se realiza cada 3 meses y se invierte en este cambio 6 cilindros de Aceite Shell Omala 68 cuyo costo es de **\$170.00** por cilindro; implementando el análisis de aceite se espera lograr la disminución del cambio de aceite, y monitorear el estado interno de algunos de nuestros equipos.

En resumen, el cuadro 4.4 representa la justificación de la implementación de los costos de estas técnicas.

TABLA N° 4.4 Resumen.

| TECNICA              | COSTO DE IMPLEMENTACIÓN | COSTO DE CAPACITACIÓN | COSTO DE FALLAS MÁS IMPORTANTES | COMENTARIO   |
|----------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------------------|--|
| ANÁLISIS VIBRACIONAL | \$25,000.00             | \$1,200.00            | \$101,992.52                    | Costo de implementación es únicamente en un año  |
| ULTRASONIDO          | \$9,000.00              | \$450.00              | \$101,992.52                    | Costo de implementación es únicamente en un año  |
| ANÁLISIS DE ACEITE   | \$3,600.00              | \$600.00              | \$6,120.00                      | El costo de implementación es anual. Sólo la falla se esta considerando en las chancadoras cónicas; si se analiza el consumo de aceite en las cajas reductoras de las fajas transportadoras el costo de falla se incrementa considerablemente. |
| TERMOGRAFÍA          | \$30,000.00             | \$900.00              | \$25,921.34                     | Costo de implementación es únicamente en un año  |
|                      |                         |                       |                                 |  |

#### 4.5 Estableciendo Rutas para el Mantenimiento Predictivo.

Luego de proponer las técnicas de mantenimiento predictivo e indicar sus justificaciones, se debe continuar mostrando el flujo de realización de actividades del departamento de mantenimiento predictivo, los cronogramas de monitoreo de condición de los equipos, y las rutas de monitoreo según los modos de falla que se ha detectado en los equipos. Esto se muestra en el Anexo L.

#### 4.6 Capacitación en las técnicas de mantenimiento Predictivo.

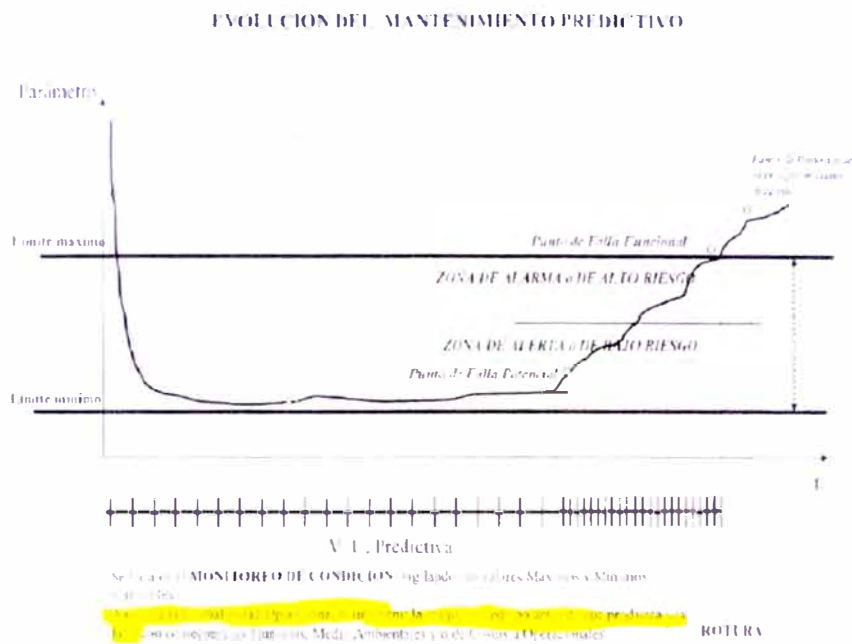
Para dar inicio al tema de capacitación, es necesario tener la respuesta de parte de la Jefatura y superintendencia, acerca de las técnicas propuestas para utilizar en el

departamento de mantenimiento Predictivo y del personal que va ha participar en este departamento. Para el caso de la Mina Pierina, La Jefatura y Superintendencia ha decidido implementar todas las técnicas que se propuso en un inicio, debido a la justificación económica, análisis de falla y rutas establecidas (que equipos se va ha cuidar), pero en el caso de la inspección termográfica, ha sugerido que inicialmente se implemente con una empresa externa y su decisión acerca de este tema se debe principalmente a que ya se había realizado el Presupuesto de gasto por equipos y herramientas para el área de mantenimiento para el año 2006, y en este presupuesto no se ha considerado la compra de la cámara termográfica; el otro punto por el cual se tomo esta decisión, es que se prefirió tener un tiempo a prueba esta técnica para poder demostrar los beneficios antes de la compra de la cámara. Una vez que se tenía claro las necesidades en capacitación para el departamento de mantenimiento predictivo, se solicitó al área respectiva la coordinación con diferentes instituciones dedicadas a capacitar en técnicas de mantenimiento predictivo, y se revisó las propuestas, para luego dar nuestros comentarios acerca de cual de los cursos era técnicamente el mejor, obviamente después tuvo que ser evaluado por la jefatura en cuanto al tema de costos, para posteriormente iniciar con la capacitación del personal.

#### **4.7 Inicio Oficial del Programa de Mantenimiento Predictivo.**

Para dar fecha al inicio oficial del departamento de mantenimiento predictivo, es necesario coordinar con el área de Capacitación y Logística las fechas en las que se van ha dar los cursos de capacitación, y las fechas en las que van ha llegar los equipos comprados. Una vez conocida la fecha en la que se va ha contar con los equipos, y con el personal ya capacitado se debe considerar un tiempo de prueba

para verificar el correcto funcionamiento de los equipos y la elaboración de los reportes que se van a presentar para poder informar el estado de cada equipo.



**Fig. 4.7 Niveles de alarma de un parámetro**

En el caso de la mina Pierina, conocida las fechas indicadas anteriormente, se consideró 3 semanas de Pruebas para la verificación de los equipos y elaboración de los Formatos de Reportes, así mismo en estas 3 semanas se establecieron las alarmas o límites que deben tener cada equipo de acuerdo a los parámetros monitoreados. Para el caso del análisis de aceite se estableció los límites de PPM para algunos equipos de acuerdo a las recomendaciones del fabricante, y en algunos casos de acuerdo a recomendaciones por normas técnicas.

En la tabla 4.5 se muestra los límites de PPM recomendados por el fabricante para las chancadoras cónicas y Primaria.

Estas alarmas se establecieron como se muestra en la figura 4.7. pero estos niveles de alarma serán mejorados conforme se tenga muchos más datos.

El inicio oficial del departamento de mantenimiento predictivo se dio el 15 de febrero.

**TABLA N° 4.5 RECOMENDACIÓN DE FABRICANTE**

| <b>CONTAMINANTES</b> | <b>PROMEDIO</b> | <b>ALTO</b>  |
|----------------------|-----------------|--------------|
| Fierro ppm           | 20              | <b>50</b>    |
| Cromo ppm            | 0.5             | <b>1.5</b>   |
| Plomo (ppm)          | 70              | <b>190</b>   |
| Cobre ppm            | 100             | <b>210</b>   |
| Estaño (ppm)         | 15              | <b>30</b>    |
| Aluminio ppm         | 5               | <b>10</b>    |
| Niquel (ppm)         | 5               | <b>15</b>    |
| Plata (ppm)          | 0               | <b>5</b>     |
| Silicio ppm          | 25              | <b>65</b>    |
| Sodio (ppm)          | 30              | <b>60</b>    |
| AGUA                 | 0.10%           | <b>1.00%</b> |
| TOTAL DE SOLIDOS     | 0.10%           | <b>0.20%</b> |

#### **4.8 Reportes de Control y seguimiento.**

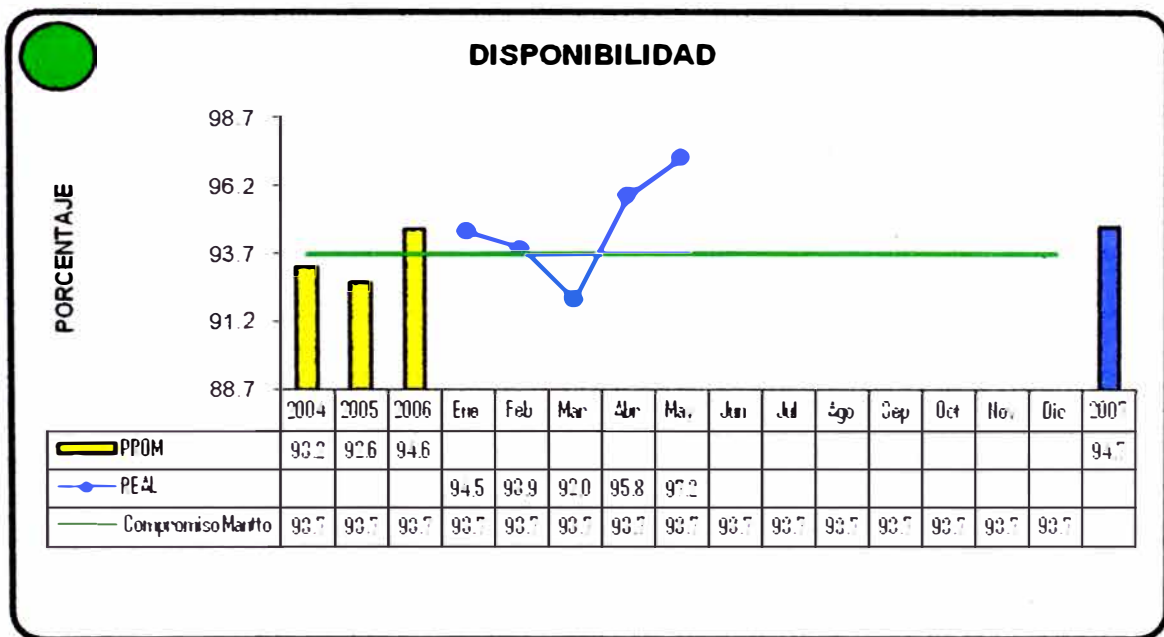
En el anexo M se muestran los reportes que emite el departamento de mantenimiento Predictivo. Se puede observar que se emiten reportes de los equipos en forma global, es decir el resultado del monitoreo de una ruta, así como también reportes independientes de monitoreo de un equipo que ha sido programado fuera de Ruta.



## CAPITULO V

### RESULTADOS DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Un resultado importante que se dio por la implementación del programa de mantenimiento predictivo, fue el aumento de la disponibilidad en los equipos de la Planta de Chancado, como se puede apreciar en la figura 5.1, en donde se indica la disponibilidad del año 2006, que ha incrementado respecto al año 2005, y la disponibilidad hasta el mes de Mayo del año 2007.



**Fig. 5.1 Disponibilidad Mayo 2007**

Se obtuvo también un incremento importante en los valores de MTBS y MTTR que representan el incremento de confiabilidad de los equipos, como se puede apreciar en las figuras 5.2 y 5.3

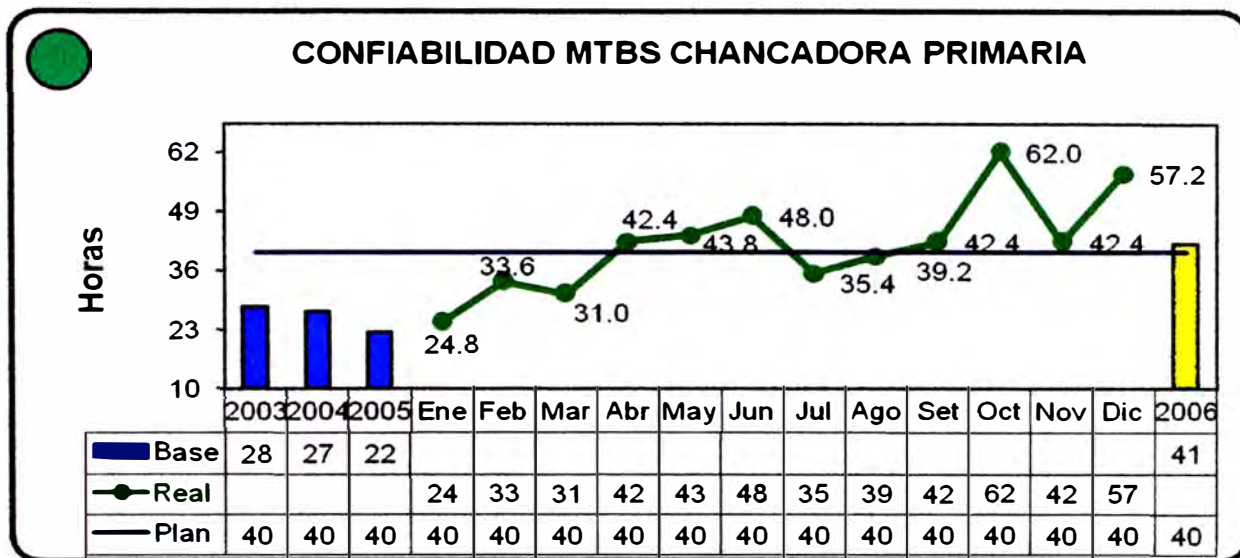


Fig. 5.2 MTBS año 2006

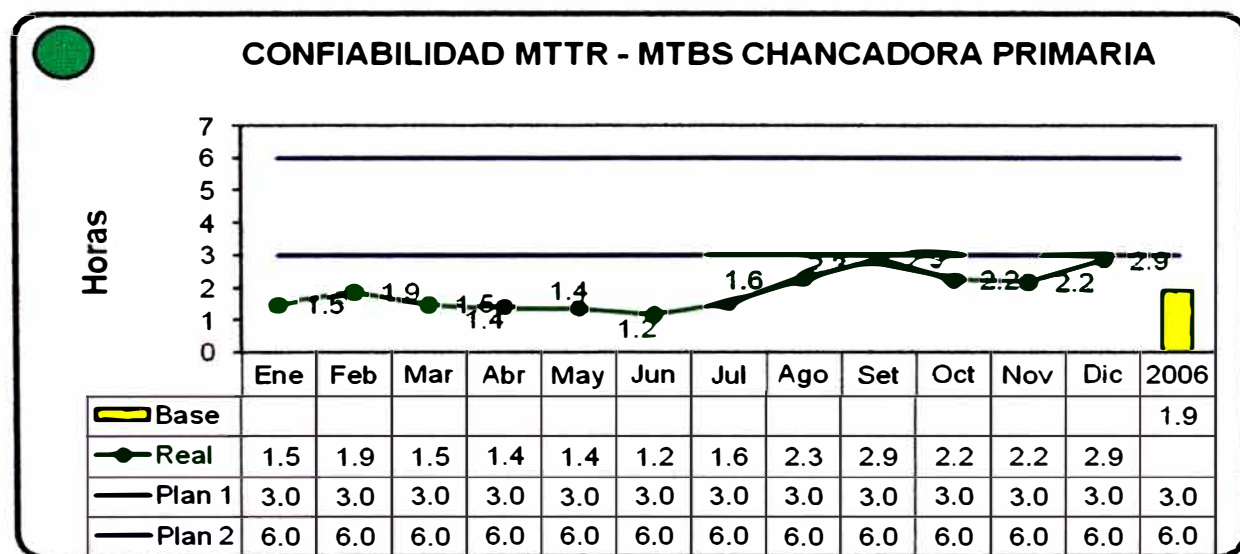


Fig. 5.3 MTTR año 2006

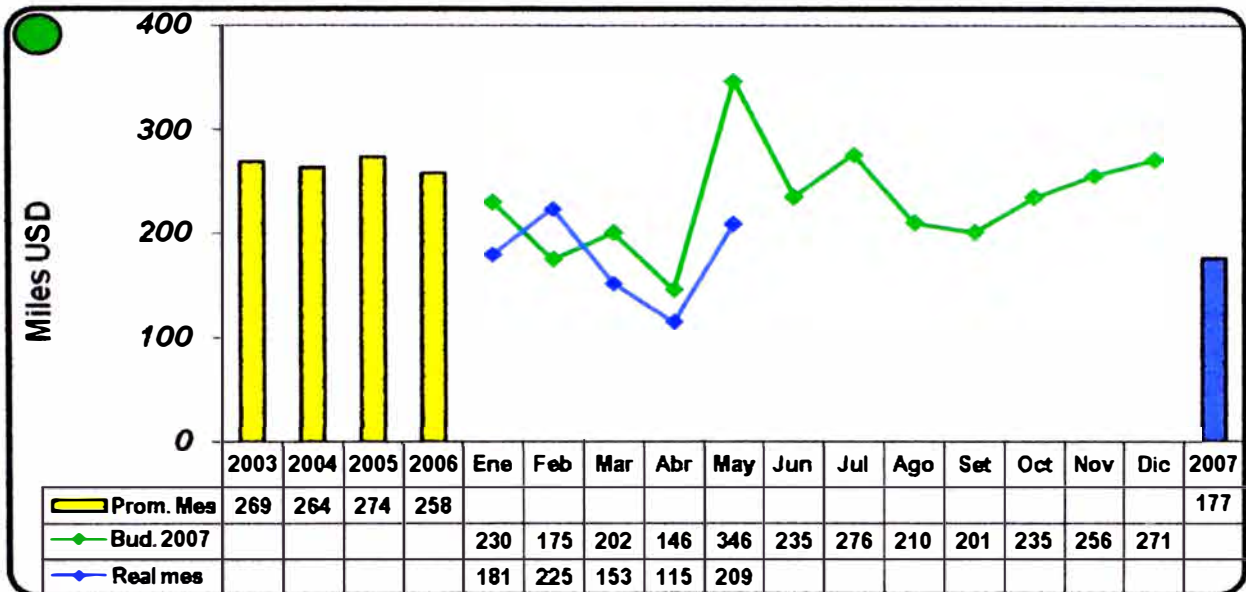
Con la implementación del mantenimiento predictivo, también se observó una mejor planificación de los trabajos de mantenimiento, ya que el seguimiento o monitoreo del estado de los equipos, permite organizar y programar mejor las actividades de mantenimiento, por lo que desde el año 2006, se ha incrementado los trabajos

programados, como se muestra en la figura 5.4 que representa a los resultados del mes de Mayo del 2007.



**Fig 5.4** Mtto no Prog. vs Prog.

En cuanto a los costos del año 2006 y lo que va del 2007, para los valores presupuestados para el área de mantenimiento los resultados han sido bastante favorables por lo que consideramos este logro como un aporte directo del monitoreo de condición de los equipos, ya que los mantenimientos se han dado de tal manera que se ha evitado fallas catastróficas cuyo costo hubiera desajustado los presupuestos para el mantenimiento. En la figura 5.5 se puede observar los costos presupuestados para el mantenimiento de los equipos para el año 2007, y el promedio mensual de este gasto que se ha dado desde el año 2003. Como se puede observar los gastos reales respecto a los presupuestados hasta el mes de Mayo han sido menores en la mayoría de los casos.



**Fig. 6.5** Reporte de Costo hasta el mes de Mayo 2007

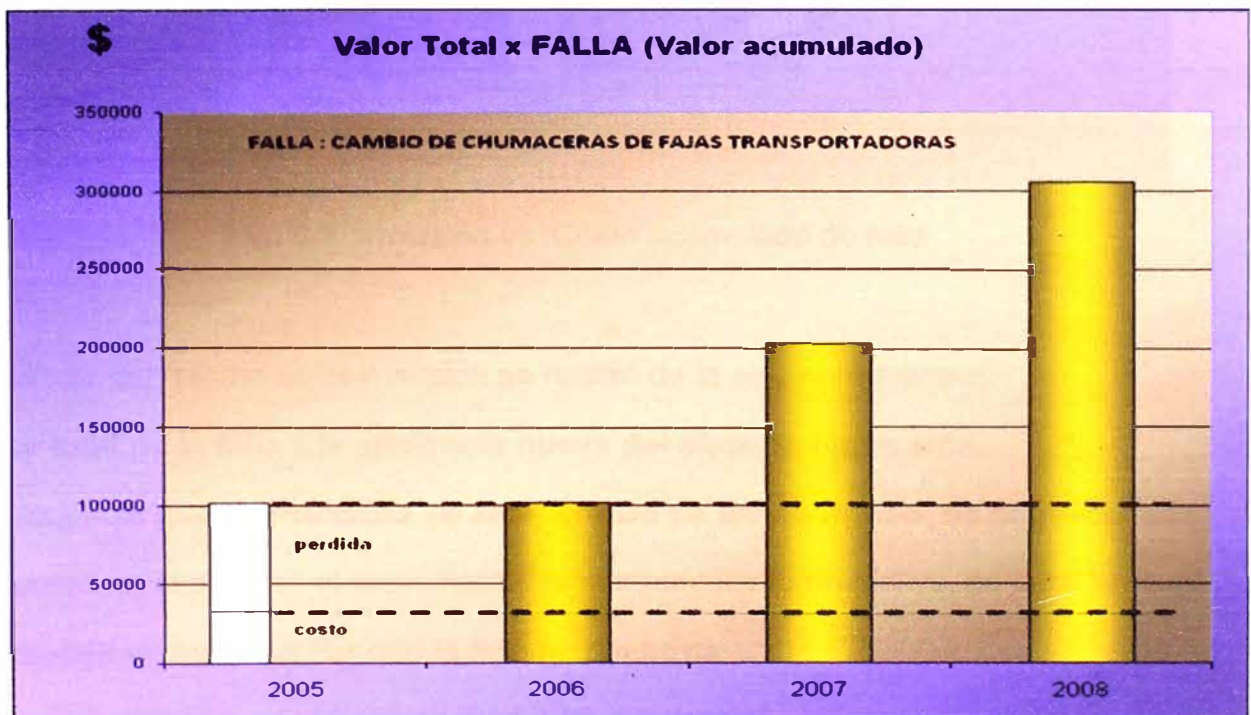
Otro punto importante que se debe considerar como resultado, es el conocimiento de la condición de los equipos, y los datos técnicos de cada uno de ellos, que ha permitido capacitar a todo el personal de mantenimiento en técnicas de cambio de componentes y mantenimientos importantes, con los datos y esquemas que se ha recolectando para el historial de cada equipo (mantenimientos pasados, historial de cambio de componentes, control de OT's, etc).

## CAPITULO VI

### ANALISIS DE COSTO

Se ha realizado el cálculo del factor ROI (retorno de la inversión), para la compra del equipo de monitoreo de vibraciones y ultrasonido, obteniéndose lo siguiente:

En la figura 6.6 se grafica el proceso acumulativo hasta el 2008 de una falla originada en la chumacera de una faja transportadora, lo que representa \$101992.52 (costo por reparación, mano de obra y pérdida de producción).

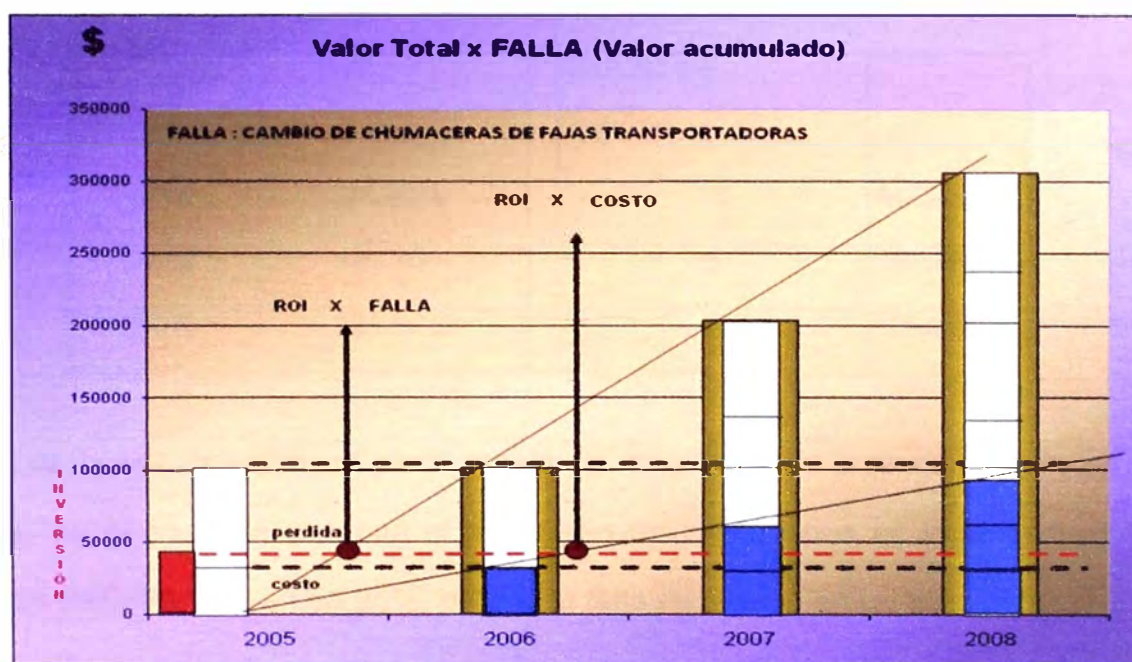


**Fig. 6.6** Costo de falla acumulado

Como siguiente paso se debe comparar la evolución de la inversión en el mismo periodo que se esta analizando la falla; la inversión representa los \$25000 que

cuesta un equipo analizador de vibraciones, más \$9000 que cuesta la compra del equipo de Ultrasonido que en total hacen \$34000.

En la figura 6.7, se representa la comparación del valor acumulado de la inversión frente al costo de la falla.



**Fig. 6.7** Inversión vs. Costo acumulado de falla

El cálculo del retorno de la inversión se realizó de la siguiente manera:

**Valor total de la falla x la eficiencia nueva del sistema / inversión.**

La eficiencia que se menciona en esta fórmula se refiere al valor de eficiencia que se tendrá en el sistema al implementar el mantenimiento predictivo, es decir en que porcentaje se espera evitar que la falla se produzca.

Los resultados que se obtuvieron fueron los siguientes:

TABLA N° 6.1 Cálculo de Factor Roi

|                              |                |                         |              |
|------------------------------|----------------|-------------------------|--------------|
| <b>FALLA</b>                 |                | <b>\$101,992.52</b>     |              |
| <b>COSTO</b>                 |                | <b>\$3,992.52</b>       |              |
| <b>PERDIDA</b>               |                | <b>\$98,000.00</b>      |              |
| <b>INVERSIÓN</b>             |                | <b>\$34,000.00</b>      |              |
| <b>CALCULO DE FACTOR ROI</b> |                |                         |              |
| <b>EFICIENCIA</b>            | <b>ROI</b>     | <b>PLAZO DE RETORNO</b> |              |
| <b>25%</b>                   | <b>74.99%</b>  | <b>16</b>               | <b>MESES</b> |
| <b>50%</b>                   | <b>149.99%</b> | <b>8</b>                | <b>MESES</b> |
| <b>80%</b>                   | <b>239.98%</b> | <b>5</b>                | <b>MESES</b> |

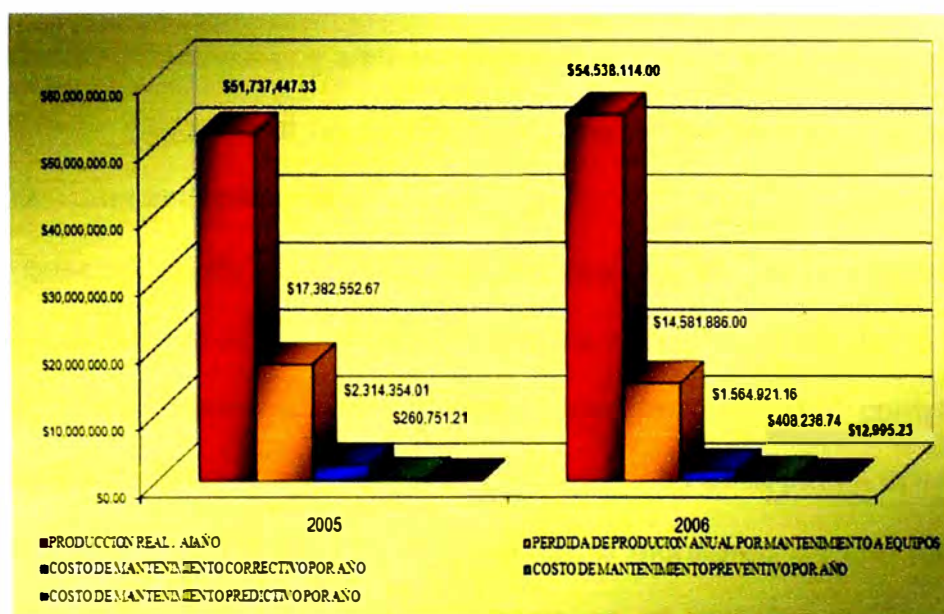
Como se puede observar el plazo mayor de retorno de la inversión se da en 16 meses, en el caso de que con el monitoreo de condiciones se logre reducir las paradas por esta falla en un 25%, pero si la falla se reduce en un 80% el retorno de la inversión se da en 5 meses.

Por Otro lado en el anexo N, se muestra los costos que representan las actividades de mantenimiento predictivo. Para el caso de Termografía, el contrato de inspección de los equipos tiene un costo de \$1200, y esta inspección se realiza 3 veces al año, y para el caso del análisis de aceite el monitoreo de los equipos representa un costo de \$300 mensuales.

Con estos datos y con los datos del mantenimiento y producción del año 2005, se puede establecer el esquema que se muestra en la figura 6.3, en donde se aprecia que del año 2005 al 2006, hubo un incremento en los costos de mantenimiento preventivo y la implementación del predictivo, y lo que es más importante en cuanto a la diferencia de producción en la planta de chancado, en el año 2006 se incrementó este valor en 3 millones de dólares aprox., y esto se explica en este

mismo gráfico, ya que el costo por pérdida de producción disminuyeron también en este mismo valor, debido a las mejoras que se aplicaron en el departamento de mantenimiento.

Es necesario recalcar en este punto que los gastos por capacitación se han considerado únicamente para los cursos sin certificación, pero es importante dar a conocer a la jefatura que es importante considerar los gastos para certificar al personal, ya que el valor agregado que se tendrá en sus actividades de mantenimiento será más alto y de mayor confiabilidad, y en base a esta documentación se podrá hacer reclamos respectivos a disconformidades respecto a reparaciones y/o servicios de mantenimientos de terceros.



**Fig. 6.3** Comparación de costos y producción en los años 2005 y 2006



## CONCLUSIONES

- El mantenimiento Predictivo ha demostrado que puede generar grandes ahorros, si las áreas de mantenimiento y operación, actúan oportunamente para restablecer las condiciones normales de operación de las máquinas y equipos.
- El acceso a la información útil para la toma oportuna de decisiones, será el futuro. El uso intensivo de medios de comunicación modernos como internet, redes computacionales y sistemas de comunicación inalámbrica, jugarán un importante papel en el futuro del desarrollo de los equipos y técnicas para mantenimiento predictivo.
- Se buscará cada vez más, el incremento en la productividad del departamento de mantenimiento predictivo, con la finalidad de generar más reportes con recomendaciones, que reflejen la “fotografía” completa de la condición de cada una de las máquinas o equipos de la planta operativa.
- La aplicación de las normas técnicas en el monitoreo de condición de un equipo, representa una guía importante en el inicio de un programa de mantenimiento predictivo, que deberá posteriormente ser complementado con las condiciones de operación en las que se encuentran los equipos monitoreados.
- Es muy importante tener el conocimiento de los costos y gastos reales de producción, para poder demostrar económicamente que tan factible es el gasto que genera la implementación de una mejora.

- Dentro de las actividades del implementador del programa de mantenimiento predictivo están también el de concientizar a todos los trabajadores que la cultura de mantenimiento predictivo es necesaria y beneficiosa para que una empresa se mantenga competitiva frente al mercado.
- El nivel técnico del personal encargado es fundamental para lograr resultados favorables, por lo que la capacitación en estos temas es muy importante.
- La determinación de que técnicas utilizar es muy importante, ya que puede ocurrir que se adquiera un equipo para el monitoreo de condiciones que no abarque el monitoreo de los modos de falla de los equipos más importantes.
- Debido a una incorrecta frecuencia de medición, un problema puede pasar desapercibido o detectado muy tarde, por lo que es importante establecer las frecuencias dependiendo de cada modo de falla que presentan los equipos.
- El mantenimiento predictivo, debe ser considerado para dictarse como un curso independiente en las carreras de Ingeniería Mecánica y Mecánica Eléctrica, ya que actualmente en muchas empresas, ya se cuenta con esta área y se considera como uno de los departamentos más importantes.

## BIBLIOGRAFÍA

1.- Ing. Victor Ortiz Alvarez, Separatas de curso Gestión del Mantenimiento, Universidad Nacional de ingeniería – Perú 2006.

2.- Allied Reliability Inc, “PdM Secrets Revealed”, Tulsa – 2006.

3.- Ricardo Santamaría Holek, “Tendencias del Mantenimiento Predictivo”, Queretaro, Qro. 76020 México – 2002.

4.- Ing. Edgar Gutierrez Saavedra, “Lubricantes, Análisis de Aceite, Combustible, Refrigeración y Control de la calidad”, Ademinsac – Perú 2007.

5.- Paginas de Internet:

<http://www.confiableidad.net/index.htm>

<http://www.monografias.com/Mantenimiento Predictivo/>

<http://www.termocamara.com/>

<http://www.sieend.com.mx/pnd%20mt.htm>

<http://www.sieend.com.mx/pnd%20pt.htm>


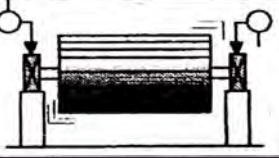

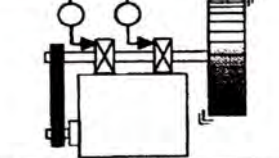
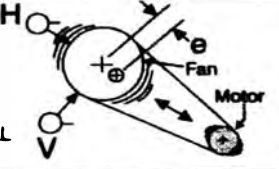
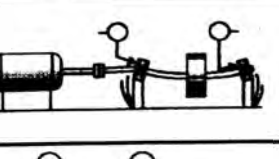
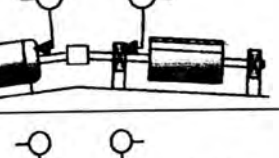
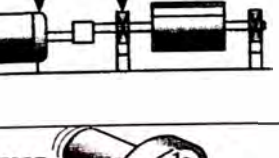

<http://www.mailxmail.com/curso/vida/mantenimientohospitalario/capitulo3.htm>

<http://www.monografias.com/trabajos30/corrientes-eddy/corrientes-eddy.shtml>

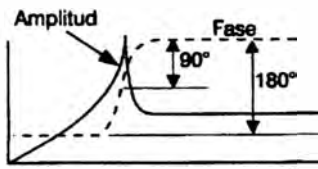
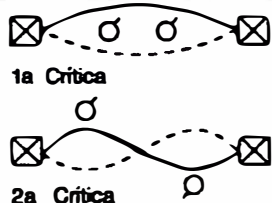
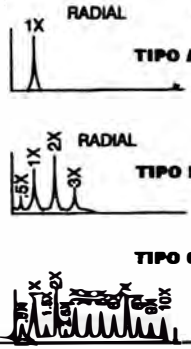

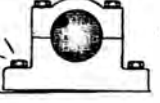


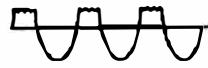
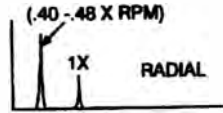



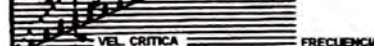
# **ANEXOS**

# **ANEXO A**


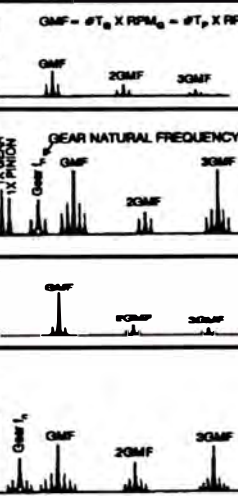
## TABLA I - CARTA ILUSTRADA DE DIAGNOSTICO DE VIBRACIÓN

| FUENTE DEL PROBLEMA  | ESPECTRO TÍPICO              | RELACIÓN DE FASE  | OBSERVACIONES  |
|--|------------------------------|---|--|
| <b>A. Desbalanceo Estático</b>                               | 1X RADIAL                    |    | El Desbalanceo Estático estará en fase y estable. La amplitud debido al desbalance aumentara por el cuadrado de la velocidad incrementada estando por debajo de la primera crítica del rotor (un incremento de velocidad de 3X = una vibración a 9X mayor). 1XRPM siempre estará presente y por lo general domina el espectro. Puede ser corregido colocando un solo peso de corrección de balance en un plano en el Centro de Gravedad del Rotor (CG). Una diferencia de fase aproximadamente de 0° debe existir entre los Horizontales OB&IB, así como entre las Verticales OB&IB. Usualmente también ocurre una diferencia de fase aproximadamente de 90° entre las lecturas de fase Horizontal y Vertical en cada rodamiento del rotor desbalanceado ( $\pm 30^\circ$ ). |
| <b>B. Desbalanceo de Par de Fuerzas</b>                      | 1X RADIAL                    |    | Un Desbalanceo de Par de Fuerzas resulta en un desfase de 180° del movimiento en el mismo eje. 1XRPM siempre esta presente y normalmente domina el espectro. La amplitud varia por el cuadrado de la velocidad incrementada por debajo de la primera velocidad crítica del rotor. Puede causar una alta vibración axial así como radial. La corrección requiere la colocación de los pesos de balanceo en al menos 2 planos. Note que debe existir una diferencia aproximada de 180° entre las Horizontales OB&IB así como entre las Verticales OB&IB. También usualmente ocurre una diferencia aproximada de 90° entre las lecturas Horizontal y vertical en cada rodamiento ( $\pm 30^\circ$ ).  |
| <b>C. Desbalanceo Dinámico</b>                               | 1X RADIAL                    |    | El Desbalanceo Dinámico es el tipo de desbalanceo que se consigue mas comúnmente y es una combinación de Desbalanceo estático y de par de fuerzas. 1XRPM domina el espectro y realmente necesita una corrección en 2 planos. Aquí la diferencia de fase Radial entre los rodamientos externos e internos puede estar en cualquier lugar del rango entre 0° y 180°. Sin embargo, la diferencia de fase Horizontal debe de cuadrar usualmente con la diferencia de fase Vertical, cuando se comparan las mediciones de los rodamientos externos e internos ( $\pm 30^\circ$ ). Si el desbalance predomina una diferencia de fase de 90° resulta entre las lecturas Horizontal y Vertical de cada rodamiento ( $\pm 40^\circ$ ).  |
| <b>D. Desbalanceo de Rotor en Voladizo</b>                   | 1X AXIAL & RADIAL            |  | El Desbalanceo de Rotor en Voladizo causa un alto 1XRPM en las direcciones Axial y Radial. Las lecturas Axiales tienden a estar en fase mientras que las lecturas de fase Radial pueden estar inestables. Sin embargo, las diferencias de fase Horizontal usualmente cuadraran con las diferencias de fase Vertical en el rotor desbalanceado ( $\pm 30^\circ$ ). Los Rotores en Voladizo tienen desbalances Estáticos y de Par de Fuerzas. cada uno de los cuales requiere una corrección. Así, los pesos de corrección casi siempre tendrán que ser colocados en dos planos para contrarrestar ambos desbalances, el estático y el de par de fuerzas.  |
| <b>Rotor Excéntrico</b>                                      | 1X FAN<br>1X MOTOR<br>RADIAL |  | La excentricidad ocurre cuando el centro de rotación esta fuera de la línea de centro geométrico de una patea, engranaje, rodamiento, armadura del motor, etc. La vibración mayor ocurre a 1XRPM del componente excéntrico en una dirección a través de la línea que une el centro de ambos rotores. Comparativamente, las lecturas de fase Horizontales y verticales usualmente difieren 0° ó 180° (cada una de las cuales indica el movimiento en línea recta). El intentar balancear un rotor excéntrico resulta en reducir la vibración en un dirección radial pero incrementarla en la otra (dependiendo de la cantidad de excentricidad).  |
| <b>Eje Doblado</b>   | 1X AXIAL<br>2X               |  | Los problemas de Eje Doblado causan una alta vibración axial con un diferencia de fase axial tendiendo a 180° en el mismo componente de la máquina. La vibración dominante ocurre normalmente a 1X si esta doblado cerca del centro del eje, pero ocurre a 2X si esta doblado cerca del acople. (ser cuidadoso al tomar en cuenta la orientación del transmisor para cada medición axial si usted voltea la dirección de la probeta). Use un indicador de dial para confirmar el doblez de eje.  |
| <b>Desalineación Angular</b>                                 | 1X AXIAL<br>2X<br>3X         |  | La Desalineación Angular se caracteriza por una alta vibración axial, 180° fuera de fase a través del acople típicamente tendrá una vibración axial en 1XRPM y 2XRPM. Sin embargo no es inusual que tanto 1X, 2X ó 3X domine. Estos síntomas también pueden indicar problemas de acople. Una severa desalineación angular puede excitar muchas armónicas de 1XRPM. A diferencia de la soldura mecánica de tipo C, estas múltiples armónicas no tienen típicamente un incremento de ruido en el piso del espectro.  |
| <b>B. Desalineación Paralela</b>                             | 1X RADIAL<br>2X<br>3X        |  | La desalineación paralela posee síntomas de vibración similares a la angular pero muestra una alta vibración radial que se aproxima a 180° fuera de fase a través del acople. 2X es por lo regular mayor que 1X, pero su altura respecto a 1X es por lo general debida a el tipo de acople y construcción de este. Cuando cualquier desalineación, Angular o Radial, se vuelve severa, puede generar tanto picos de gran amplitud a altas armónicas (4X-8X) como también toda una serie de armónicas de alta frecuencia, similares en apariencia a la soldura mecánica. El tipo de acople y el material influyen de gran manera a todo el espectro cuando la desalineación es severa. No presenta por lo general un incremento de ruido en el piso.                          |
| <b>C. Desalineación de Rodamiento Inclinado Sobre el Eje</b> | 1X AXIAL<br>2X<br>3X         |  | Un rodamiento inclinado genera una vibración Axial considerable. Puede causar un movimiento torsional con un cambio de fase aproximado de 180° de arriba a abajo y/o de lado a lado cuando se mide en dirección Axial de la misma carcasa del rodamiento. Intentos de alinear el acople o balancear el rotor no aliviara el problema. Es necesario remover el cojinete e instalarlo correctamente.   |

## TABLA I - CARTA ILUSTRADA DE DIAGNOSTICO DE VIBRACIÓN

| FUENTE DEL PROBLEMA   | ESPECTRO TÍPICO   | RELACIÓN DE FASE  | OBSERVACIONES  |
|---|---|---|--|
| <b>Resonancia</b><br><br> | <p>La resonancia ocurre cuando una frecuencia forzada coincide con una frecuencia natural del sistema, y puede causar una amplificación dramática de las amplitudes, lo que puede resultar en una falla prematura o incluso catastrófica. Esta puede ser una frecuencia natural del rotor, pero a menudo puede ser originada por el bastidor, la cimentación, caja de engranajes e incluso las correas de transmisión. Si un rotor esta o se aproxima a la resonancia puede ser prácticamente imposible balancearlo debido a el enorme cambio de fase que experimenta (90° en resonancia, cerca de 180° cuando la atraviesa). A menudo requiere el cambio de la frecuencia natural a una frecuencia mayor o menor. Generalmente las frecuencias naturales no cambian con un cambio en la velocidad, lo que ayuda a su identificación (exceptuando una máquina con cojinetes de gran tamaño o un rotor que tenga un voladizo significativo).</p> |   |  |
| <b>Soltura Mecánica</b><br> <p>NOTESE EL LEVANTAMIENTO DEL PISO INDICANDO SOLTURA</p>                     | <p><b>TIPO A</b><br/> </p> <p><b>TIPO B</b><br/> </p> <p><b>TIPO C</b><br/> </p>  | <p>La soltura mecánica esta indicada para un espectro de vibración de tipo A, B o C. <b>Tipo A</b> es causada por soltura/debililitamiento estructural del pie de la máquina, la placa base o cimentación, también por una sedimentación deteriorada, soltura de los pernos que sujetan a la base y distorsión del bastidor o base (Ej. pata floja). El análisis de fase puede revelar una diferencia de 90° a 180° entre la medición Vertical de los pernos, pie de máquina, placa base o la base misma. <b>Tipo B</b> es generalmente causada por soltura de los pernos de la bancada, fisuras en la estructura del bastidor o en el pedestal del cojinete. <b>Tipo C</b> es normalmente generada por un ajuste inadecuado entre las partes componentes, que puede causar numerosas armónicas debidas a respuestas no lineales de partes flojas a fuerzas dinámicas del rotor. Causa un truncamiento de la Onda de Tiempo y un ruido elevado en el suelo del espectro. La tipo C es causada con frecuencia por el aflojamiento de un cojinete en su caja, por un espacio excesivo en la camisa o los elementos rodantes del rodamiento, un impulsor o eje flojo, etc. La fase tipo C es con frecuencia inestable y puede variar ampliamente de un arranque al siguiente. La soltura mecánica es a menudo altamente direccional y puede causar lecturas notablemente diferentes si se comparan niveles en incrementos de 30° en dirección radial alrededor de la carcasa del rodamiento. También note que la soltura podrá causar múltiples subarmónicas exactamente a 1/2 o 1/3XRPM (0.5X, 1.5X, 2.5X, etc.).</p> | <p>El Roco del Rotor produce un espectro similar al de la soltura mecánica cuando las partes giratorias entran en contacto con los componentes fijos. La fricción puede ser parcial o en toda la revolución del rotor. Usualmente genera una serie de frecuencias, lo que por lo general excita una o mas resonancias. A menudo existen subarmónicas de fracción entera, de la velocidad de fraccionamiento (1/2, 1/3, 1/4, 1/5... 1/n). Dependiendo de la ubicación de la frecuencias naturales del rotor. La fricción del rotor puede excitar numerosas frecuencias altas (similar al ruido de banda ancha que se produce al pasar una tiza por un pizarrón) puede ser muy grave y de corta duración si es causado por el eje haciendo contacto con el Babbit del cojinete. Una fricción anular total alrededor de toda la revolución del eje puede inducir una "precesión a reversa" con el rotor girando rápidamente a la velocidad crítica en dirección opuesta a la rotación del eje (inherentemente inestable que puede llevar a una falla catastrófica).</p> |
| <b>Cojinetes</b><br><b>A. Problemas por Desgaste o Juego.</b>   | <p><b>RADIAL</b><br/> </p> <p>NOTESE EL LEVANTAMIENTO DEL PISO INDICANDO SOLTURA</p>   | <p>ONDAS DE TIEMPO TRUNCADA DE FORMA PLANA<br/> </p>   | <p>Etapas posteriores del desgaste de cojinete son normalmente puestas en evidencia debido a la presencia de series completas de armónicas de velocidad de funcionamiento (hasta 10 o 20). Cojinetes gastados a menudo permiten altas amplitudes Verticales en comparación con las Horizontales, pero solo mostraran un pico pronunciado a 1XRPM. Los cojinetes con soltura (juego) excesivo pueden permitir que un desbalance y/o desalineación menor cause una alta vibración que sería mucho menor si el juego del cojinete se ajustara a las especificaciones.</p>   |
| <b>B. Inestabilidad por Remolino de Aceite</b>  | <p>(.40 - .48 X RPM)<br/> </p> <p><b>RADIAL</b></p>   |   | <p>La Inestabilidad por Remolino de Aceite ocurre a .40-.48XRPM y a menudo es bastante grave. Se le considera excesiva cuando la amplitud excede el 40% de la holgura del cojinete. El remolino de aceite es una vibración de la película de aceite donde las desviaciones en las condiciones normales de operación (ángulo de disposición y radio de excentricidad) causa que una cuña de aceite "empuje" al eje dentro del cojinete. La fuerza desestabilizadora en dirección de la rotación resulta en un remolino (precesión hacia adelante). El remolino de aceite es inestable ya que incrementa las fuerzas centrífugas que aumentan las fuerzas del remolino. Puede causar que el aceite no soporte al eje, o puede convertirse en inestable cuando la frecuencia del remolino coincide con una frecuencia natural del rotor. Cambios en la viscosidad del aceite, presión de lubricación y carnes previas externas pueden afectar al remolino de aceite</p>   |
| <b>C. Inestabilidad por Latigazo de Aceite</b>  | <p>REMOLINO LATIGAZO<br/> </p> <p>DESBALANCE DE MASA<br/> </p> <p>VEL. CRÍTICA<br/> </p>   | <p>Una cascada espectral mostrando el Remolino convirtiéndose en Latigazo a medida que la velocidad de giro del eje sobrepasa la 2X crítica</p>   | <p>El Latigazo de Aceite puede ocurrir si la máquina opera a o sobre 2X la frecuencia crítica del rotor. Cuando el motor alcanza dos veces la velocidad crítica, el remolino estará muy cercano a la crítica del rotor y podrá causar una vibración excesiva que la película de aceite no sea capaz de soportar. La velocidad del remolino se "congela" a la crítica del rotor. No rebasara este pico aun cuando se eleve mas y mas la velocidad. Produce una vibración subarmónica lateral adelantada precesional a la frecuencia crítica del rotor. Inherentemente inestable que puede llevar a una falla catastrófica.</p>  |

## TABLA I - CARTA ILUSTRADA DE DIAGNOSTICO DE VIBRACIÓN



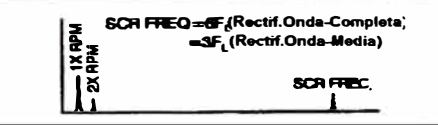
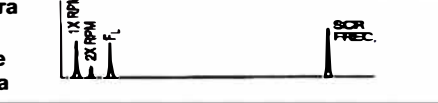
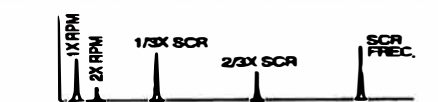


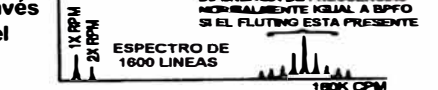
| <b>RODAMIENTOS</b><br><b>(4 Etapas de Falla)</b><br><br>$f_n$ = Frecuencias Naturales de los Componentes de los Rodamientos Instalados Estructura de Soporte<br><br><b>FRECUENCIAS DE DEFECTOS DE RODAMIENTO:</b><br>$BPF = \frac{N_b}{2} (1 + B_c \cos \theta) \times RPM$<br>$BPFO = \frac{N_b}{2} (1 - B_c \cos \theta) \times RPM$<br>$BSF = \frac{P_d}{2} \left[ 1 - \left( \frac{B_c}{P_d} \right)^2 (\cos \theta)^2 \right] \times RPM$<br>$FTF = \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{B_c}{P_d} \cos \theta \right) \times RPM$<br><br><b>Where:</b><br>BPF = Frecuencia de Pista Interna<br>BPFO = Frecuencia de Pista Externa<br>BSF = Frecuencia de Giro de la Bola<br>FTF = Frecuencia de la Jaula<br>$N_b$ = Número de Bolas o Rodillos<br>$B_c$ = Diámetro de Bola o Rodillo (in/mm)<br>$P_d$ = Diámetro Primario<br>$\theta$ = Angulo de Contacto (grados) | <b>ZONA A</b><br><b>ZONA B</b> REGION DE FREC. DE DEFECTO DEL RODAMIENTO<br><b>ZONA C</b> REGION DE FREC. NATURAL DE LOS COMPONENTES DEL RODAM.<br><b>ZONA D</b> PICO DE ENERGIA (gSE/HFD)<br><br><b>ETAPA 1</b><br><br><b>ETAPA 2</b><br><br><b>ETAPA 3</b><br><br><b>ETAPA 4</b><br>VIBRACION DE ALTA FRECUENCIA ALEATORIA<br>gSE / HFD DISMINUYE AL COMENZAR; LUEGO CRECE SIGNIFICATIVAMENTE HACIA EL FINAL | <b>4 Etapas de Fallas de Rodamientos</b><br><br><b>Etapa 1</b> Las indicaciones mas tempranas de que existen problemas con los cojinetes aparecen en las frecuencias ultrasónicas que van desde cerca de 250,000 - 350,000 Hz. luego cuando aumenta el desgaste, usualmente cae aproximadamente a 20,000 - 60,000 Hz (1,200,000 - 3,600,000 CPM). Estas frecuencias son evaluadas mediante el Pico de Energía (gSE), HFD e Impulso de Choque (dB). Por ejemplo, el pico de energía puede aparecer cerca de .25 gSE en la etapa 1 (el valor real depende de la ubicación de la medición y la velocidad de la máquina). Adquiriendo espectros de alta frecuencia confirma si el rodamiento falla o no en etapa 1.<br><b>Etapa 2</b> Ligeros defectos del cojinete comienzan a "hacer sonar" las frecuencias naturales (fn) de los componentes del rodamiento, que ocurren predominantemente en el Rango de 30K-120KCPM. Esas frecuencias naturales pueden también ser resonancias de las estructuras de soporte del rodamiento. Al final de la etapa 2 aparecen frecuencias de banda lateral por encima y por debajo del pico de frecuencia natural. El pico de energía Overall crece (por ejemplo de .25 a .50gSE).<br><b>Etapa 3</b> Aparecen frecuencias y armónicas de defectos en rodamientos. Cuando el desgaste progresa, mas frecuencias armónicas aparecen y el número de bandas laterales aumenta, ambas alrededor de estas y las frecuencias naturales de los componentes del rodamiento. El pico de energía overall sigue incrementando (por ejemplo de .50 a mas de 1gSE). El desgaste es ahora por lo general visible y se puede prolongar a la periferia del rodamiento, particularmente cuando bandas laterales bien formadas acompañan a las armónicas de la frecuencia de defecto de rodamiento. Espectros de alta frecuencia y cubiertos ayudan a confirmar la etapa 3.<br><b>Reemplaza el rodamiento ahora! (Independientemente de las amplitudes de frecuencia de defecto de rodamiento en el espectro de vibraciones).</b><br><b>Etapa 4</b> Hacia la parte final, la amplitud 1XRPM es incluso afectada. Crece y normalmente causa el aumento de numerosas armónicas de velocidad de giro. De hecho los discretos defectos del cojinete y las frecuencias naturales de los componentes comienzan a "desaparecer", y son reemplazados por un "ruido de piso" al azar, de banda ancha y alta frecuencia. Además las amplitudes del ruido de piso de alta frecuencia y el pico de energía y el HFD crece por lo general a amplitudes excesivas. |
|---|--|---|
| <b>FUENTE DEL PROBLEMA</b>  | <b>ESPECTRO TÍPICO</b>   | <b>OBSERVACIONES</b>  |
| <b>Fuerzas Hidráulicas y Aerodinámicas</b><br><br><b>A. Paso de Alabes</b><br><br><b>B. Turbulencia del Flujo</b><br><br><b>C. Cavitación</b>   | $BPF = \#ALABES \times RPM$<br> <p>1X, 2X, BPF, 2BPF, 1X RPM BANDA LATERAL</p> <p>VIBRACION ALEATORIA</p> <p>VIBRACION ALEATORIA DE ALTA FRECUENCIA</p> <p>BPF = FRECUENCIA DE PASO DE ALABES</p> <p>120K CPM</p>   | <p>La Frecuencia de Paso de Alabes (BPF)=N° de Alabes X RPM Esta frecuencia es inherente en bombas, ventiladores y compresores y normalmente no representa problemas. Sin embargo las BPF (y armónicas) de gran amplitud pueden ser generadas en la bomba si el espacio entre los alabes de rotación y los difusores no es igual en todas ellas. También las BPF (o armónicas) pueden coincidir en ocasiones con una frecuencia natural del sistema causando alta vibración. Una BPF alta puede ser generada si el impulsor desgasta los anillos de agarre al eje o si falla la soldadura que sostiene a los alabes del difusor. También, las BPF altas pueden ser causadas por dobleces abruptos en la tubería (o ducto), obstrucciones que interrumpan el flujo, posiciones del Damper, o si el rotor se encuentra excéntrico dentro de la carcasa de la bomba o ventilador.</p> <p>La Turbulencia del Flujo ocurre en sopladores debido a variaciones en la presión o en la velocidad del aire pasando a través del ventilador o de la ductería. Esta interrupción causa turbulencia que genera una vibración a baja frecuencia aleatoria, típicamente en el rango de 50 a 2000 CPM. Si ocurre purga dentro del compresor, puede ocurrir una alta frecuencia de vibración de banda ancha al azar. Excesiva turbulencia puede también excitar la alta frecuencia de banda ancha.</p> <p>La Cavitación genera normalmente una energía de banda ancha de frecuencia muy alta aleatoria, que algunas veces se superpone con las frecuencias armónicas del paso de alabes. Normalmente indica insuficiente presión de succión (falta de alimentación). La cavitación puede ser un tanto destructiva para los elementos internos de la bomba si no es corregida. Puede particularmente erosionar los alabes del impulsor. Cuando este presente, a menudo suena como si pasaran "piedras" a través de la bomba. La cavitación es usualmente causada por insuficiencia en el flujo de entrada. Puede ocurrir en un recorrido y estar ausente en el siguiente (si son realizadas modificaciones en la posición de las válvulas de succión).</p>   |
| <b>Engranajes</b><br><b>A. Espectro Normal</b><br><br><b>B. Desgaste del Diente</b><br><br><b>C. Carga del Diente</b><br><br><b>D. Excentricidad del Engranaje y Juego entre los Dientes</b>  | $GMF = \#T_n \times RPM_n = \#T_p \times RPM_p$<br> <p>1X GEAR, 1X PHOON, GMF, 20GMF, 30GMF, 3.25X GMF</p> <p>GEAR NATURAL FREQUENCY</p> <p>1X GEAR, 1X PHOON, GMF, 20GMF, 30GMF, 3.25X GMF</p> <p>1X GEAR, 1X PHOON, GMF, 20GMF, 30GMF, 3.25X GMF</p> <p>1X GEAR, 1X PHOON, GMF, 20GMF, 30GMF, 3.25X GMF</p>               | <p>El espectro normal muestra las velocidades del Engranaje y el Piñón junto con la Frecuencia de Engrane (GMF) y armónicas muy pequeñas de GMF. Las armónicas de GMF por lo general tienen bandas laterales de velocidad de giro. Todos los picos son de baja amplitud y no se excitan las frecuencias naturales de los engranajes. La <math>F_{MAX}</math> recomendada es a 3.25XGMF (mínima) cuando el número de dientes sea conocido. Si no se conoce el número de dientes, utilice <math>F_{MAX}</math> a 200XRPM en cada eje.</p> <p>Un indicador clave del desgaste uniforme del diente es la excitación de la frecuencia natural del engranaje (<math>f_n</math>), junto con las bandas laterales alrededor espaciadas a la velocidad de giro del engranaje dañado. La Frecuencia de Engrane (GMF) puede o no cambiar en amplitud, aunque bandas laterales de gran amplitud y un número de bandas rodeando a GMF usualmente aparecen cuando el desgaste es notable. Las bandas laterales pueden ser mejor indicador que las mismas frecuencias GMF. También pueden ocurrir grandes amplitudes tanto a 2XGMF como a 3XGMF, aun si la amplitud de GMF es aceptable.</p> <p>Las frecuencias de engrane a menudo son muy sensibles a la carga. Amplitudes altas de GMF no necesariamente indican un problema, particularmente si las frecuencias de banda lateral permanecen a un nivel bajo y no hay frecuencias naturales de engranaje excitadas. Cada análisis debe ser realizado con el sistema operando a carga máxima para una comparación espectral significativa.</p> <p>A menudo bandas laterales de gran amplitud alrededor de las armónicas de GMF sugieren excentricidad del engranaje, juego o ejes no paralelos que permiten que la rotación de un engranaje "module" la velocidad de giro del otro. El engranaje problemático es indicado por el espacio de la frecuencia de banda lateral. También el nivel de 1XRPM del engranaje excéntrico será alto si la excentricidad es el problema dominante. Un juego entre los dientes inadecuado normalmente excita las armónicas de GMF y la frecuencia natural del engranaje, las que generan bandas laterales a 1XRPM. Las amplitudes de GMF generalmente disminuyen con el incremento de la carga si el juego es el problema.</p>  |

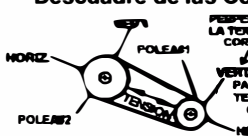
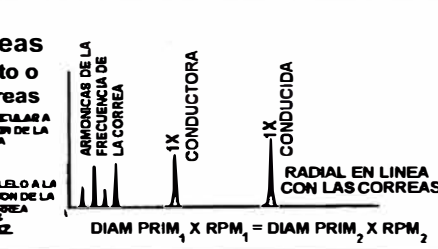

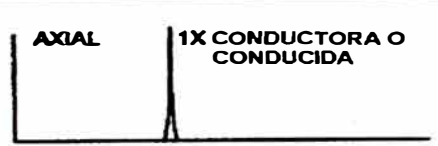

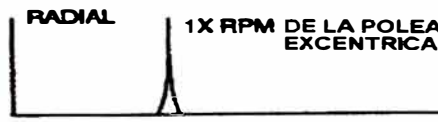


## TABLA I - CARTA ILUSTRADA DE DIAGNOSTICO DE VIBRACIÓN

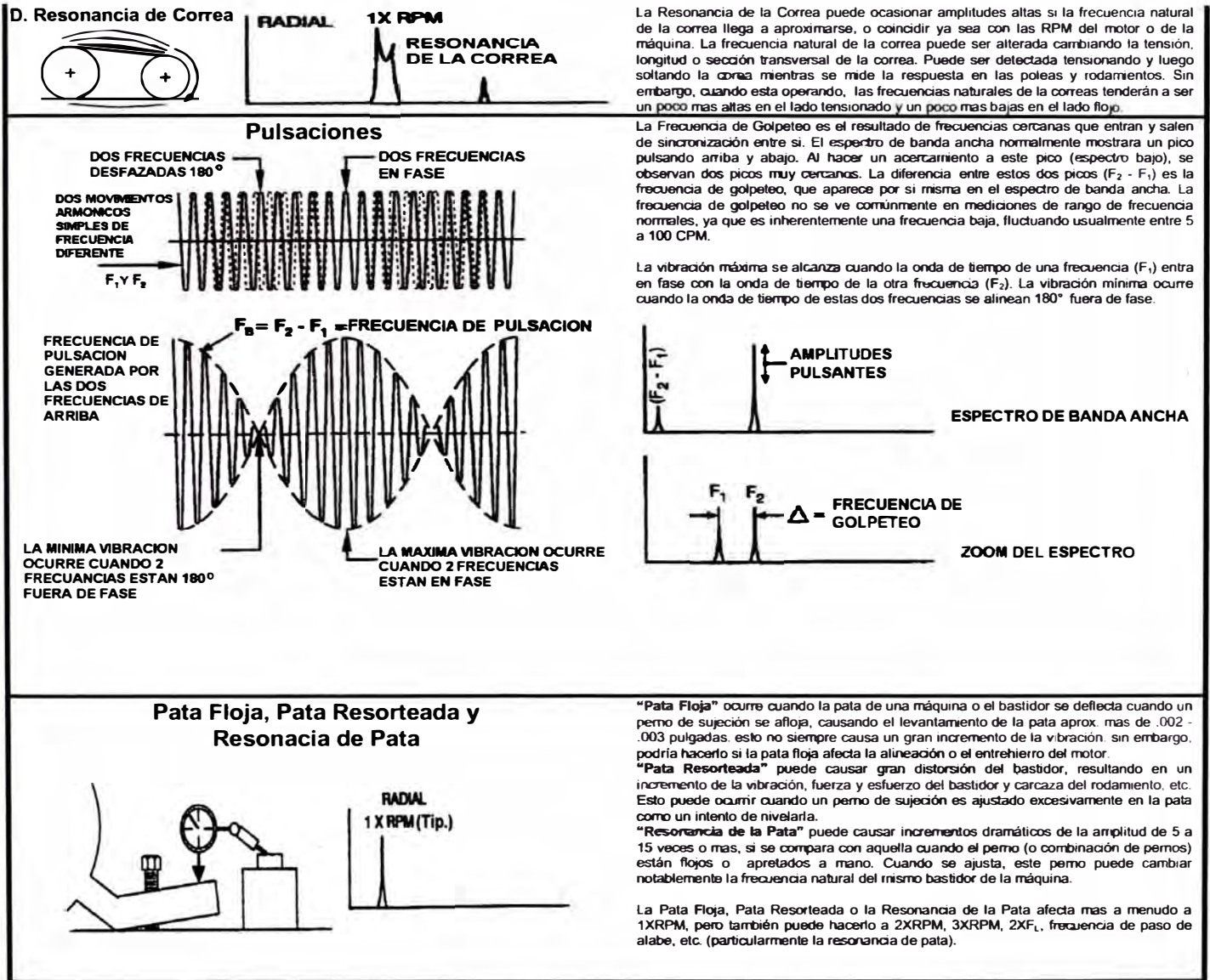
|  |                        |   |
|--|------------------------|---|
| <b>E. Desalineación del Engranaje</b>  |                        | <p>La Desalineación del Engranaje casi siempre excita la armónica de GMF de segundo orden o una mayor, que tendrá bandas laterales a la velocidad de funcionamiento. A menudo mostrará solo una pequeña amplitud 1XGMF, pero niveles mas altos a 2X 3XGMF. Es importante colocar <math>F_{MAX}</math> suficientemente alta para captar al menos 3 armónicas GMF. También bandas laterales alrededor de 2XGMF estarán espaciadas a 2XRPM. Nótese que las amplitudes de banda lateral a menudo no son iguales a la derecha e izquierda del GMF y armónicas de GMF debido a la desalineación del diente.</p>   |
| <b>F. Diente Agrietado/Roto</b>  |                        | <p>Un Diente Agrietado o Roto podrá generar una gran amplitud a 1XRPM de este engranaje solo en la Onda de Tiempo además estará la frecuencia natural del engranaje (<math>f_n</math>) con bandas laterales a su velocidad de giro. Se detecta mejor en Onda de Tiempo ya que mostrará un pico pronunciado cada vez que el diente problemático trate de engranar con los dientes del engranaje compañero. El tiempo entre los impactos (<math>\Delta</math>) corresponde a 1XRPM del engranaje con el problema. Las amplitudes de Picos de Impacto en la Onda de Tiempo será de 10 a 20 veces mas grandes que 1XRPM en el FFT.</p>  |
| <b>G. Problemas de Fase de Ensamble de Engranajes</b>  |                        | <p>La Frecuencia de Fase de Ensamble de Engranaje (GAPF) puede resultar en Frecuencias de Engrane Fraccionales (si <math>N_A &gt; 1</math>). Eso realmente significa que (<math>T_G/N_A</math>) dientes del engranaje harán contacto con (<math>T_P/N_A</math>) dientes del piñón y generaran <math>N_A</math> patrones de desgaste, donde <math>N_A</math> es una combinación de dientes dada igual al producto de los factores primos comunes al número de dientes en el engranaje y el piñón (<math>N_A</math>=Factor de Fase de Ensamble). GAPF (o armónicas) pueden mostrarse desde el comienzo si hubieran problemas de manufactura. También su respectiva aparición en un espectro de recorrido periódico puede indicar daños si partículas contaminantes pasaron a través del engrane, resultando en daño al diente en engrane en el momento de la ingestión, justo cuando entra y deja el engrane.</p>   |
| <b>H. Problemas de Caza de Diente</b>  |                        | <p>La Frecuencia de Caza de Diente (<math>f_{HT}</math>) ocurre cuando están presentes fallas tanto en el engranaje como en el piñón que pueden haber ocurrido durante el proceso de manufactura, debido a malos tratos, o en el campo. Puede causar una vibración apreciable, pero como ocurre a bajas frecuencias predominantemente menores a 600CPM es por lo general pasada por alto. Un juego de engranajes con este problema de diente repetitivo normalmente emite un sonido de gruñido en la transmisión. El efecto máximo ocurre cuando los dientes defectuosos del piñón y el engranaje entran en engrane al mismo tiempo (en algunas transmisiones esto puede ocurrir solo 1 de cada 10 a 20 revoluciones, dependiendo de la formula de <math>f_{HT}</math>). Nótese que <math>T_{GEAR}</math> y <math>T_{PINION}</math> se refieren a los números de dientes en el engranaje y piñón respectivamente. <math>N_A</math> es el Factor de Fase de Ensamble definido arriba. Generalmente modula los picos GMF y RPM del engranaje.</p>         |
| <b>FUENTE DEL PROBLEMA</b>   | <b>ESPECTRO TÍPICO</b> | <b>OBSERVACIONES</b>  |
| <b>I. Soltura del Rodamiento</b>   |                        | <p>Una holgura excesiva de los rodamientos que soportan los engranajes puede no solo excitar muchas armónicas de la velocidad de giro, si no también puede causar respuestas de gran amplitud en GMF, 2GMF y/o 3GMF. Estas altas amplitudes de GMF son actualmente respuestas a, y no la causa de, soltura de los rodamientos que soportan a los engranajes. Esta soltura excesiva puede ser causada por desgaste excesivo del rodamiento o por un montaje inadecuado del mismo durante la instalación. Si se deja sin corregir, puede causar un desgaste excesivo del engranaje y daño a otros componentes.</p>  |
| <b>Motores de Inducción AC</b><br><b>A. Excentricidad del estator, Laminaciones en Corto o Hierro Flojo</b>  |                        | <p>Los problemas del estator generan alta vibración a 2X frecuencia de línea (<math>2F_L</math>). La excentricidad del estator produce un entrehierro fijo irregular entre el rotor y el estator que produce una vibración muy direccional. El entrehierro diferencial no debe exceder el 5% en los motores de inducción y 10% en los motores sincrónicos. Una pata floja y bases dobladas pueden producir un estator excentrico. Un hierro flojo es debido al debilitamiento o aflojamiento del soporte del estator. Los cortes circuitos en las laminas del estator pueden causar un calentamiento irregular localizado, que puede deformar al mismo estator. Esto produce vibración térmicamente inducida que puede crecer significativamente con el tiempo de operación causando deformación del estator y problemas del entrehierro.</p>   |
| <b>B. Rotor Excéntrico (Entrehierro Variable)</b><br>$F_L$ = Frec. de Línea Eléctrica<br>$N_s$ = Veloc. de Sinc. = $120 \cdot F_L / P$<br>$F_s$ = Frec. de Desliz. = $N_s - RPM$<br>$F_p$ = Frec. Paso de Polo = $F_s \cdot X P$<br>$P$ = # de Polos |                        | <p>Los Rotores Excéntricos producen un entrehierro de rotación variable entre el rotor y el estator, lo que induce una vibración pulsante (normalmente entre <math>2F_L</math> y la armónica de velocidad de giro mas cercana). A menudo requiere de un "zoom" del espectro para separar <math>2F_L</math> y la armónica de la velocidad de giro. Los rotores excéntricos generan una <math>2F_p</math> rodeada de bandas laterales de frecuencia de Paso de Polo (<math>F_p</math>), así como bandas laterales <math>F_p</math> alrededor de la velocidad de giro. <math>F_p</math> aparece por si sola a baja frecuencia (Frecuencia de paso de Polo = Frecuencia de Deslizamiento X #Polos). los valores comunes del rango <math>F_p</math> va de 20 a 120 CPM (0.3 - 2.0 Hz). Una pata floja o una desalineación a menudo inducen un entrehierro variable debido a la distorsión (realmente un problema mecánico, no eléctrico).</p>  |
| <b>C. Problemas del Rotor</b>  |                        | <p>Unas Barras del rotor rotas o agrietadas o anillos en corto; juntas malas entre las barras del rotor y los anillos en corto o laminaciones del rotor en corto pueden producir una vibración a velocidad de giro 1X con bandas laterales a la frecuencia de paso de polo (<math>F_p</math>). Además estos problemas generaran a menudo bandas laterales de paso de polo <math>F_p</math> alrededor de las segunda, tercera, cuarta y quinta armónica de la velocidad de giro. Barras del rotor flojas o abiertas con son indicadas por bandas laterales a 2X la frecuencia de línea (<math>2F_L</math>) rodeando a la Frecuencia de Paso de Barra del Rotor (RBPF) y/o sus armónicas (RBPF = Número de barras X RPM). A menudo causaran altos niveles a 2XRBPF con solo una pequeña amplitud a 1XRBPF. Un arqueamiento inducido eléctricamente entre las barras flojas del rotor y los anillos a menudo mostraran altos niveles a 2XRBPF (con bandas laterales a <math>2F_L</math>); pero muy poco o casi ningún incremento en amplitud a 1XRBPF.</p> |

## TABLA I - CARTA ILUSTRADA DE DIAGNOSTICO DE VIBRACIÓN

|   |   |  |
|---|---|--|
| <b>D. Problemas de Fase (Conector Flojo)</b>  |  <p>RADIAL<br/>1X 2X 2FL<br/>BANDAS LATERALES DE 1/3 FL ALREDEDOR DE 2FL</p>   | <p>Los problemas de Fase debidos a conectores flojos o rotos pueden causar una excesiva vibración a 2X la frecuencia de línea (2FL) que tendrá unas bandas laterales alrededor espaciadas a 1/3 de la frecuencia de línea (1/3 FL). Los niveles a 2FL pueden exceder 1.0 in/sec sino se corrige. Este es particularmente un problema si el conector defectuoso solo hace contacto esporádicamente. Los conectores flojos o rotos deben ser reparados para prevenir una falla catastrófica.</p>   |
| <b>Motores AC Sincrónicos (Espiras del Estator Flojas)</b>  |  <p>FFT DE 1600 LINEAS<br/>FREC. DE PASO DE ESPIRA<br/>1X 2X<br/>BANDAS LATERALES DE 1X</p>  | <p>Las Espiras del Estator flojas en un motor sincrónico generaran alta vibración a la frecuencia de paso de espira (CPF) que es igual al número de espiras del estator X RPM (#Espiras del Estator = #Polos X #Espiras/Polos). La Frecuencia de Paso de Espira estará rodeada por bandas laterales a 1XRPM. Los problemas de motor sincrónico también serán indicados por altos picos de amplitud a aprox. 60,000 a 90,000 CPM, acompañados de bandas laterales a 2FL. Tomar al menos un espectro a 90,000 CPM en cada carcasa de rodamiento del motor.</p> |
| <b>Motores y Controladores DC A. Espectro Normal</b>  |  <p>SCR FREQ = 6F (Rectif. Onda-Completa), = 3FL (Rectif. Onda-Media)<br/>1X RPM 2X RPM<br/>SCR FREQ.</p>  | <p>Numerosos problemas de Motores y Controladores DC pueden ser detectados por análisis de vibración. Los Motores con Circuito Rectificado a Onda Completa (6SCR) generan una señal a 6X la frecuencia de línea (6FL = 360 Hz = 21,600 CPM); mientras que los Motores con Circuito Rectificado a Onda Media (3SCR) la generan a 3X la frecuencia de línea (3FL = 180 Hz = 10,800 CPM). La Frecuencia de Disparo SCR está presente normalmente en el Espectro de Motor DC, pero a baja amplitud. Nótese la ausencia de otros picos mltiplos de FL.</p>        |
| <b>B. Arrollado de Armadura Roto, Problemas de Aterramiento o Falta de Entonación del Sistema</b> |  <p>1X RPM 2X RPM FL<br/>SCR FREQ.</p>   | <p>Cuando los espectros de Motor DC están dominados por altos niveles a SCR 2XSCR normalmente indica tanto un Arrollado de Armadura Roto como Falta de Entonación (Tuning) del Sistema. Solo una entonación apropiada podrá disminuir las vibraciones en SCR y 2XSCR significativamente, si el problema de control es predominante. Altas amplitudes a estas frecuencias normalmente se encontraran sobre .10 in/sec a 1XSCR y 04 in/sec a 2XSCR de Frec. de disparo.</p>  |
| <b>C. Tarjeta de Disparo Defectuosa o Fusible Quemado</b>   |  <p>1X RPM 2X RPM 1/3X SCR 2/3X SCR SCR FREQ.</p>   | <p>Cuando una Tarjeta de Disparo falla en disparar, 1/3 de la energía se pierde, y puede causar cambios momentáneos de velocidad en el motor repetidamente. Esto puede conducir a altas amplitudes a 1/3X y 2/3X de la frecuencia SCR (1/3X SCR Frec. = 1XFL para SCR Rectificados a Onda Media, pero 2XFL para SCR Rectificados a Onda Completa).<br/>Precaución: La configuración de la Tarjeta/SCR debe ser conocida antes de reparar el motor (#SCR, #Tarjetas de Disparo, etc.).</p>  |
| <b>D. SCR Defectuoso, Tarjeta de Control en Corto, Conexiones Flojas o Fusible Quemado</b>        |  <p>1X RPM 2X RPM FL 5L 3FL 4L 5FL SCR FREQ.</p>   | <p>Las Fallas de SCR, Tarjetas de Control en Corto y/o Conexiones Flojas pueden generar picos de amplitud notable en numerosas combinaciones de frecuencia de línea (FL) y frecuencia de disparo SCR. Normalmente, 1 SCR malo puede causar altos niveles a FL y/o 5 FL en motores 6SCR. El punto es que tanto FL, 2FL, 3FL, 4FL y 5FL no deben estar presentes en el Espectro de Motor DC.</p>   |
| <b>E. Tarjeta de Comparador Defectuosa</b>  |  <p>1X RPM 2X RPM<br/>BANDAS LATERALES SIMILARES A LAS VARIACIONES DE VELOCIDAD<br/>ESPECTRO DE 3200 LINEAS<br/>SCR FREQ.</p>                      | <p>Las Tarjetas de Comparador Defectuosas causan problemas con la fluctuación de la RPM o "caza". Esto ocasiona un colapso y regeneración constante del campo magnético. Estas bandas laterales a menudo se aproximan a la RPM de fluctuación y requiere de un FFT de alta resolución para apenas ser detectadas, estas bandas laterales pueden también deberse a generación y regeneración del campo magnético.</p>   |
| <b>F. Paso de Corriente a través de los Rodamientos del Motor DC</b>                              |  <p>1X RPM 2X RPM<br/>DIFERENCIA DE FRECUENCIAS NORMALMENTE IGUAL A BIFLO SI EL FLUTING ESTA PRESENTE<br/>ESPECTRO DE 1600 LINEAS<br/>180K CPM</p> | <p>El Fluting inducido eléctricamente es detectado normalmente por una serie de diferencia de frecuencias espaciadas mas o menos a la frecuencia de defecto de pista externa (BPF0), aun si ese Fluting está presente tanto en la pista externa como en la interna. A menudo aparecen en un rango centrado cerca de 100,000 a 150,000 CPM. Un espectro a 180K con 1600 líneas es recomendado para detectar haciendo mediciones en los rodamientos OB e IB del Motor DC.</p>  |

| FUENTE DEL PROBLEMA   | ESPECTRO TÍPICO  | OBSERVACIONES   |
|---|--|---|
| <b>Problemas de Transmisión de Correas A. Desgaste, Aflojamiento o Descuadre de las Correas</b><br> |  <p>ARMONICAS DE LA FRECUENCIA DE LA CORREA<br/>1X CONDUCTORA<br/>1X CONDUCTADA<br/>DIAM PRIM1 X RPM1 = DIAM PRIM2 X RPM2<br/>RADIAL EN LINEA CON LAS CORREAS</p> | <p>FREC. DE LA CORREA = 3.142 X RPM DE LA POLEA X DIAMETRO PRIMATIVO / LONGITUD DE LA CORREA<br/>FREC. DE LA CORREA DENTADA = FREC. DE LA CORREA X # DIENTES DE LA CORREA = RPM DE LA POLEA X # DIENTES DE LA POLEA</p> <p>La Frecuencia de la Correa esta por debajo de las RPM del motor o de la máquina conducida. Cuando están desgastadas, flojas o descuadradas, normalmente causan de 3 a 4 múltiplos de frecuencia de correa. A menudo la frecuencia 2X de la correa es el pico dominante. La amplitudes son normalmente inestables algunas veces pulsando tanto con la RPM del conductor o del conducido. En correas dentadas, el desgaste o desalineación de la polea es indicado por altas amplitudes a la Frecuencia de la Correa Dentada. Las transmisiones de cadena indicaran problemas a la Frecuencia de Paso de Cadena que es igual a #Dientes del Piñón X RPM.</p> |
| <b>B. Desalineación de la Correa/Polea</b><br>   |  <p>AXIAL<br/>1X CONDUCTORA O CONDUCTADA</p>  | <p>La desalineación de la polea produce alta vibración a 1XRPM predominantemente en la dirección axial. El radio de las amplitudes de las RPM de la polea conductora a la conducida depende de donde se toman los datos, así como de la masa relativa y la rigidez del bastidor. A menudo con la desalineación de la polea la vibración axial mas elevada se encontrara a las RPM del ventilador, o vice versa. Puede ser confirmada por mediciones de fase colocando el Filtro de Fase a las RPM de la polea con mayor amplitud axial; luego compare las fases a esta frecuencia en particular en cada rotor en la dirección axial.</p>  |
| <b>C. Poleas Excéntricas</b><br>   |  <p>RADIAL<br/>1X RPM DE LA POLEA EXCENTRICA</p>  | <p>Las poleas excéntricas causan alta vibración a 1XRPM de la polea excéntrica. La amplitud es normalmente la mas alta cuando se encuentra alineada con las correas y debe aparecer tanto en los rodamientos de la polea conductora como en la conducida. En ocasiones es posible balancear las poleas excéntricas colocando arandelas e los pernos. Sin embargo, aunque se balancee, la excentricidad seguirá induciendo vibración y esfuerzo de fatiga reversible en la correa. La excentricidad de la polea puede ser confirmada por un análisis de fase que muestre la diferencia de fase horizontal y vertical cercana a 0° a 180°.</p>  |

**TABLA I - CARTA ILUSTRADA DE DIAGNOSTICO DE VIBRACIÓN**



## Broad Band Vibration Criteria for Specific Machine Groups Based on ISO 10816-1

ISO 10816-1 replaces ISO 2372 as a general guide outlining measurement and evaluation of mechanical vibration in typical industrial machinery. Note that although these guidelines are defined in accordance to machine classification as noted below, these guides provide a standardized starting point for evaluation. Once the general classification of the machine has been identified, the application, mounting technique, and operational conditions must also be factored into the level of acceptance in applying the evaluation criteria. In application-specific installations, this guideline may be modified in accordance to application requirements.

Per ISO 10816-1:

**Velocity** measurements can be categorized as follows:

|  |
|--|
| <b>Class I</b> machines may be separated driver and driven, or coupled units comprising operating machinery up to approximately 15kW (approx 20hp).  |
| <b>Class II</b> machinery (electrical motors 15kW(20hp) to 75kW(100hp), <i>without special foundations, or Rigidly mounted engines or machines up to 300kW (400hp) mounted on special foundations</i>  |
| <b>Class III</b> machines are large prime movers and other large machinery with large rotating assemblies <i>mounted on rigid and heavy foundations</i> which are reasonably stiff in the direction of vibration.  |
| <b>Class IV</b> includes large prime movers and other large machinery with large rotating assemblies <i>mounted on foundations which are relatively soft in the direction of the measured vibration (i.e., turbine generators and gas turbines greater than 10MW (approx. 13500hp) output.</i> |

Related typical zone boundary limits are outlined as follows:

| Velocity Severity |           | Velocity Range Limits and Machine Classes |                          |                          |                              |
|-------------------|-----------|---|--------------------------|--------------------------|------------------------------|
| mm/s RMS          | in/s Peak | Small Machines Class I                    | Medium Machines Class II | Large Machines           |                              |
|                   |           |   |                          | Rigid Supports Class III | Less Rigid Supports Class IV |
| 0.28              | 0.02      | Good                                      | Good                     | Good                     | Good                         |
| 0.45              | 0.03      |   |                          |                          |                              |
| 0.71              | 0.04      |   |                          |                          |                              |
| 1.12              | 0.06      | Satisfactory                              | Satisfactory             | Satisfactory             | Satisfactory                 |
| 1.80              | 0.10      | Unsatisfactory (alert)                    | Unsatisfactory (alert)   |                          |                              |
| 2.80              | 0.16      | Unacceptable (danger)                     | Unacceptable (danger)    | Satisfactory             | Satisfactory                 |
| 4.50              | 0.25      |   |                          | Unsatisfactory (alert)   | Unsatisfactory (alert)       |
| 7.10              | 0.40      |   |                          | Unacceptable (danger)    | Unacceptable (danger)        |
| 11.20             | 0.62      | Unacceptable (danger)                     | Unacceptable (danger)    | Unacceptable (danger)    | Unacceptable (danger)        |
| 18.00             | 1.00      |   |                          | Unacceptable (danger)    | Unacceptable (danger)        |
| 28.00             | 1.56      |   |                          | Unacceptable (danger)    | Unacceptable (danger)        |
| 45.00             | 2.51      | Unacceptable (danger)                     | Unacceptable (danger)    | Unacceptable (danger)    | Unacceptable (danger)        |

Enveloped Acceleration (gE) is not categorized by ISO 10816-1, however, this is a valuable assessment tool for rolling element bearing condition, and may be utilized in conjunction with the above general guidelines. Note that machines are classified according to shaft size (in mm) and rotating speed, which are a function of bearing design.

| Enveloping Severity<br><b>gE</b><br>peak to peak | Shaft Diameter & Speed                     |  |   |                       |
|--|--|--|---|-----------------------|
|  | Dia. between 200 & 500mm and Speed <500rpm | Dia. Between 50 & 300 mm & speed between 500 & 1800rpm | Dia. Between 20 & 150mm & Speed is either 1800 or 3600rpm |                       |
| 0.1  | Good                                       | Good   | Good  |                       |
| 0.5  |  |  |   |                       |
| 0.75   | Satisfactory                               | Satisfactory   | Satisfactory  |                       |
| 1  | Unsatisfactory (alert)                     | Unsatisfactory (alert)                                 |   |                       |
| 2  | Unacceptable (danger)                      | Unacceptable (danger)                                  | Unsatisfactory (alert)                                    |                       |
| 4  |  |  | Unacceptable (danger)                                     | Unacceptable (danger) |
| 10   |  |  | Unacceptable (danger)                                     | Unacceptable (danger) |

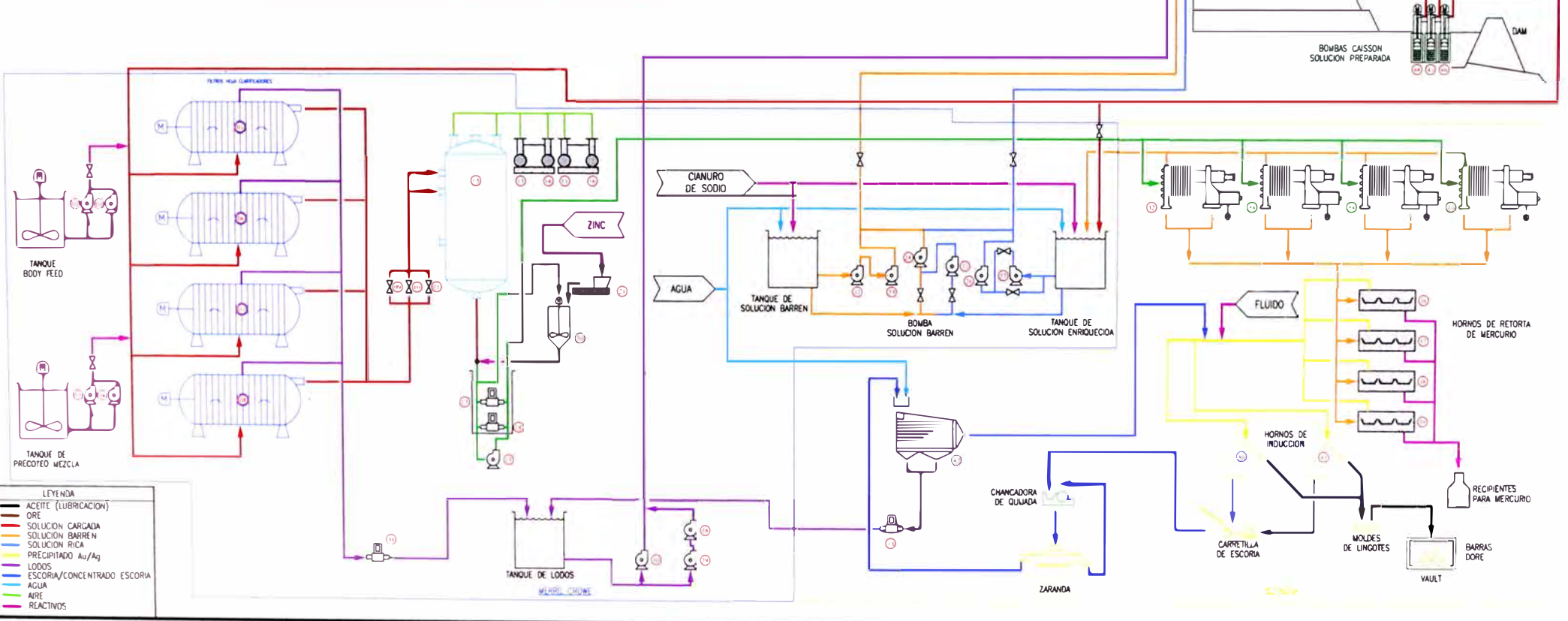
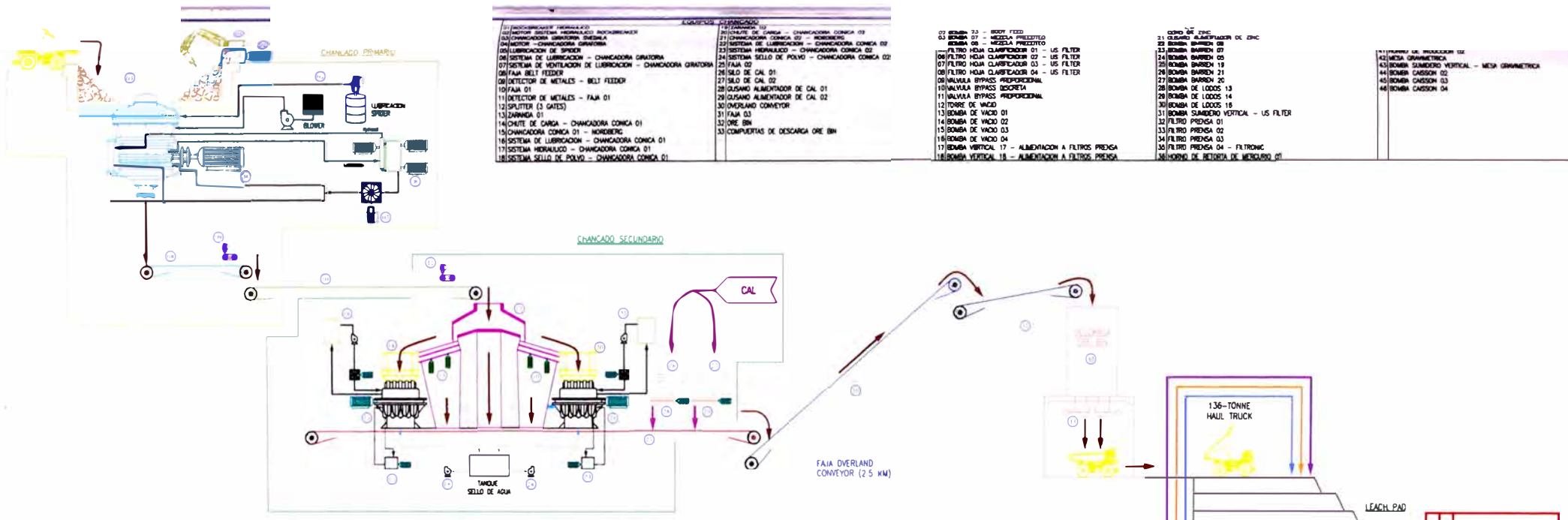
# **ANEXO B**



| ALIMENTACION                                     | ALIMENTACION                                     |
|--|--|
| 01 INGENIERIA FERRUCIO                           | 140 CHUTE DE CARGA - CHANCADORA CONICA 01        |
| 02 MOTOR SISTEMA HIDRAULICO INGENIERIA           | 15 CHANCADORA CONICA 01 - HONDBERG               |
| 03 CHANCADORA CONICA 02 - HONDBERG               | 16 SISTEMA DE LUBRICACION - CHANCADORA CONICA 01 |
| 04 CHANCADORA CONICA 02 - HONDBERG               | 17 SISTEMA HIDRAULICO - CHANCADORA CONICA 01     |
| 05 SISTEMA DE LUBRICACION - CHANCADORA CONICA 02 | 18 SISTEMA SELLO DE POLVO - CHANCADORA CONICA 01 |
| 06 LUBRICACION DE SPINER                         |  |
| 07 SISTEMA DE LUBRICACION - CHANCADORA CONICA 01 |  |
| 08 FAJA BELT FEEDER                              |  |
| 09 DETECTOR DE METALES - FAJA 01                 |  |
| 10 FAJA 01                                       |  |
| 11 DETECTOR DE METALES - FAJA 01                 |  |
| 12 SPLITTER (3 GATES)                            |  |
| 13 ZARANDA 01                                    |  |
| 14 CHUTE DE CARGA - CHANCADORA CONICA 01         |  |
| 15 CHANCADORA CONICA 01 - HONDBERG               |  |
| 16 SISTEMA DE LUBRICACION - CHANCADORA CONICA 01 |  |
| 17 SISTEMA HIDRAULICO - CHANCADORA CONICA 01     |  |
| 18 SISTEMA SELLO DE POLVO - CHANCADORA CONICA 01 |  |
| 19 CHUTE DE CARGA - CHANCADORA CONICA 02         |  |
| 20 SISTEMA DE LUBRICACION - CHANCADORA CONICA 02 |  |
| 21 SISTEMA HIDRAULICO - CHANCADORA CONICA 02     |  |
| 22 SISTEMA SELLO DE POLVO - CHANCADORA CONICA 02 |  |
| 23 FAJA 02                                       |  |
| 24 SELLO DE CAL 01                               |  |
| 25 SELLO DE CAL 02                               |  |
| 26 CUSANO ALIMENTADOR DE CAL 01                  |  |
| 27 FAJA 03                                       |  |
| 28 CUSANO ALIMENTADOR DE CAL 02                  |  |
| 29 OVERLAND CONVEYOR                             |  |
| 30 FAJA 03                                       |  |
| 31 ORE BIN                                       |  |
| 32 ORE BIN                                       |  |
| 33 COMPUERTAS DE DESCARGA ORE BIN                |  |

|  |  |
|--|--|
| 02 BOMBA 13 - BODY FEED                              | 21 CUSANO ALIMENTADOR DE ZINC          |
| 03 BOMBA 07 - MEZCLA PRECIPITO                       | 22 BOMBA BARREN 08                     |
| 04 BOMBA 08 - MEZCLA PRECIPITO                       | 23 BOMBA BARREN 07                     |
| 05 FILTRO HOJA CLASIFICADOR 01 - US FILTER           | 24 BOMBA BARREN 05                     |
| 06 FILTRO HOJA CLASIFICADOR 02 - US FILTER           | 25 BOMBA BARREN 18                     |
| 07 FILTRO HOJA CLASIFICADOR 03 - US FILTER           | 26 BOMBA BARREN 21                     |
| 08 FILTRO HOJA CLASIFICADOR 04 - US FILTER           | 27 BOMBA BARREN 20                     |
| 09 VALVULA BYPASS PROPORCIONAL                       | 28 BOMBA DE LODOS 13                   |
| 10 VALVULA BYPASS PROPORCIONAL                       | 29 BOMBA DE LODOS 14                   |
| 11 VALVULA BYPASS PROPORCIONAL                       | 30 BOMBA DE LODOS 18                   |
| 12 TORRE DE VACIO                                    | 31 BOMBA SUCCEDOR VERTICAL - US FILTER |
| 13 BOMBA DE VACIO 01                                 | 32 FILTRO PRENSA 01                    |
| 14 BOMBA DE VACIO 02                                 | 33 FILTRO PRENSA 02                    |
| 15 BOMBA DE VACIO 03                                 | 34 FILTRO PRENSA 03                    |
| 16 BOMBA DE VACIO 04                                 | 35 FILTRO PRENSA 04 - FILTRONIC        |
| 17 BOMBA VERTICAL 17 - ALIMENTACION A FILTROS PRENSA | 36 HORNO DE RETORTA DE MERCURIO 01     |

|   |
|---|
| 37 FILTRO DE INYECTOR 02                      |
| 38 MESA GRAMMETRICA                           |
| 39 BOMBA SUCCEDOR VERTICAL - MESA GRAMMETRICA |
| 40 BOMBA CASION 02                            |
| 41 BOMBA CASION 03                            |
| 42 BOMBA CASION 04                            |



**LEYENDA**

- ACEITE (LUBRICACION)
- ORE
- SOLUCION CARGADA
- SOLUCION BARREN
- SOLUCION RICA
- PRECIPITADO Au/Ag
- LODOS
- ESCORIA/CONCENTRADO ESCORIA
- AGUA
- AIRE
- REACTIVOS

# **ANEXO C**









# **ANEXO D**

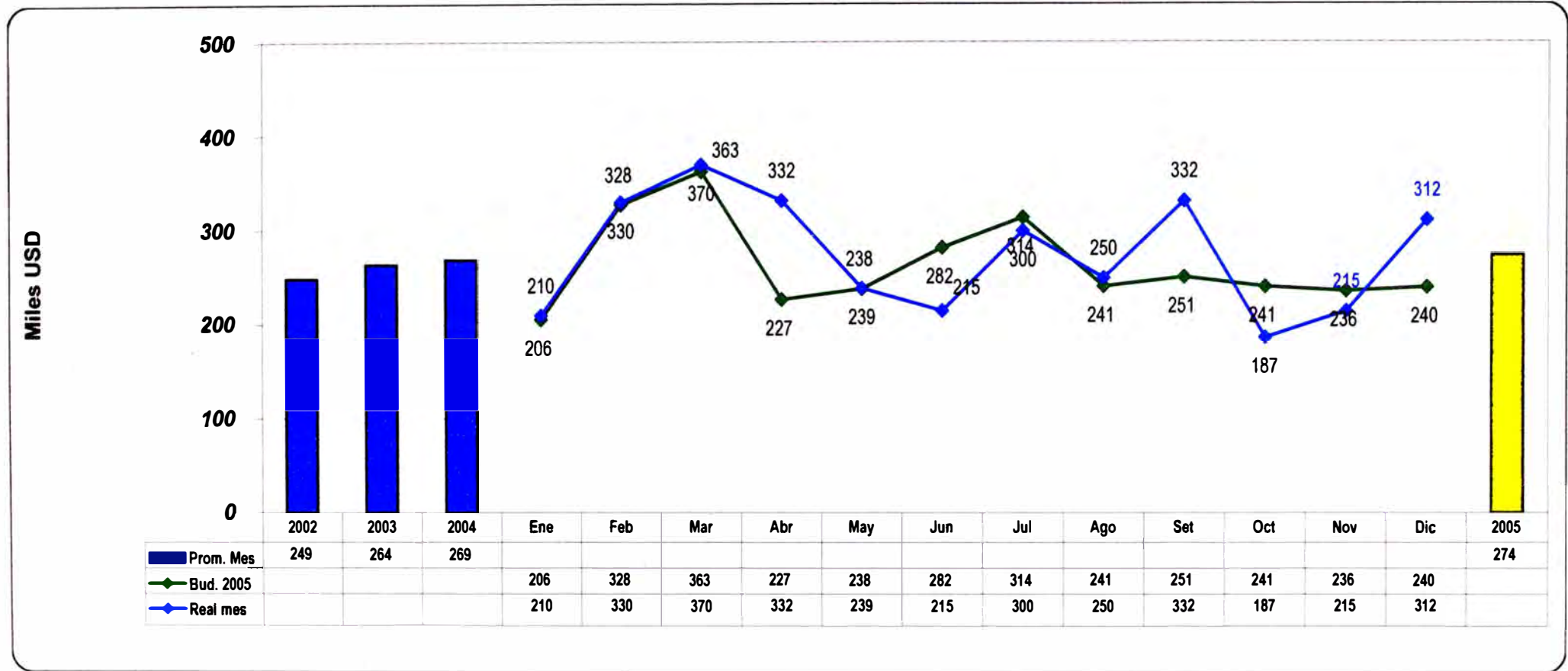




# **ANEXO E**



## COSTO TOTAL MENSUAL MANTENIMIENTO PROCESOS





# **ANEXO F**

| TABLA DE PRIORIDADES PARA EVALUAR LOS EQUIPOS   |                        |   |   |          |          |          |
|---|------------------------|---|---|----------|----------|----------|
| VARIABLES   | CONCEPTO Y PONDERACION |   | OBSERVACIONES   | EQUIPO 1 | EQUIPO 2 | EQUIPO 3 |
| 1. -Efecto sobre la producción, Operaciones o medio Ambiente                                | Paraliza               | 4 | Afecta al medio ambiente  |          |          |          |
|   | Reduce                 | 2 |   |          |          |          |
|   | No afecta              | 0 |   |          |          |          |
| 2. -Valor técnico económico (considerar el costo de adquisición, operación y mantenimiento) | Alto                   | 3 | Más de US\$ 50 000  |          |          |          |
|   | Medio                  | 2 |   |          |          |          |
|   | Bajo                   | 1 | Menos de US\$ 10 000  |          |          |          |
| 3. -La falla afecta   |                        |   |   |          |          |          |
| a. Al equipo en si  | Si                     | 1 | ¿Deteriora otros componentes?   |          |          |          |
|   | No                     | 0 |   |          |          |          |
| b. Al servicio  | Si                     | 1 | ¿Origina problemas a otros equipos?                                       |          |          |          |
|   | No                     | 0 |   |          |          |          |
| c. Al operador  | Riesgo                 | 1 | ¿Posibilidad de accidentes al operador?                                   |          |          |          |
|   | Sin riesgo             | 0 |   |          |          |          |
| d. A la seguridad en general  | Si                     | 1 | ¿Posibilidad de accidente a otras personas u otros equipos cercanos       |          |          |          |
|   | No                     | 0 |   |          |          |          |
| 4. -Probabilidad de Falla (Confiabilidad)   | Alta                   | 2 | ¿Se puede asegurar que el equipo va a trabajar correctamente cuando se le |          |          |          |
|   | Baja                   | 0 |   |          |          |          |
| 5. - Flexibilidad del equipo en el sistema  | Unico                  | 2 | No existe otro equipo igual o similar                                     |          |          |          |
|   | By Pass                | 1 | El sistema puede seguir funcionando                                       |          |          |          |
|   | Stand By               | 0 | Existe otro igual o similar no instalado                                  |          |          |          |
| 6. - Dependencia logística  | Extranjero             | 2 | Repuestos se tienen que importar  |          |          |          |
|   | Loc. / Ext             | 1 | Algunos repuestos se compran localmente                                   |          |          |          |
|   | Local                  | 0 | Repuestos se consiguen localmente   |          |          |          |
| 7. - Dependencia de la mano de obra   | Terceros               | 2 | El mantenimiento requiere contratar a terceros                            |          |          |          |
|   | Propia                 | 0 | El mantenimiento se realiza con personal propio                           |          |          |          |
| 8. - Facilidad de Reparación (Mantenibilidad)   | Baja                   | 1 | Mantenimiento difícil   |          |          |          |
|   | Alta                   | 0 | Mantenimiento fácil   |          |          |          |
| <b>TOTAL</b>  |                        |   |   | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> |

| ESCALA DE REFERENCIA |            |         |
|----------------------|------------|---------|
| A                    | CRITICA    | 16 a 20 |
| B                    | IMPORTANTE | 11 a 15 |
| C                    | REGULAR    | 06 a 10 |
| D                    | OPCIONAL   | 00 a 05 |

# **ANEXO G**

**TABLA DE PRIORIDADES PARA EVALUAR LOS EQUIPOS**

| VARIABLES   | CONCEPTO Y PONDERACION |   | OBSERVACIONES   | DETECTOR DE METALES EN FAJA 1 | SPLITTER | ZARANDA 1 | ZARANDA 2 | CH. CONICA 1 | CH. CONICA 2 | FAJA 02   |
|---|------------------------|---|---|-------------------------------|----------|-----------|-----------|--------------|--------------|-----------|
| 1. -Efecto sobre la producción, Operacional o medio Ambiente                                | Paraliza               | 4 | Afecta al medio ambiente  | 0                             | 2        | 2         | 2         | 2            | 2            | 4         |
|   | Reduce                 | 2 |   |                               |          |           |           |              |              |           |
|   | No afecta              | 0 |   |                               |          |           |           |              |              |           |
| 2. -Valor técnico económico (considerar el costo de adquisición, operación y mantenimiento) | Alto                   | 3 | Más de US\$ 50 000  | 2                             | 2        | 3         | 3         | 3            | 3            | 2         |
|   | Medio                  | 2 |   |                               |          |           |           |              |              |           |
|   | Bajo                   | 1 | Menos de US\$ 10 000  |                               |          |           |           |              |              |           |
| 3. -La falla afecta   |                        |   |   |                               |          |           |           |              |              |           |
| a. Al equipo en sí  | Si                     | 1 | ¿Deteriora otros componentes?   | 0                             | 0        | 1         | 1         | 1            | 1            | 1         |
|   | No                     | 0 |   |                               |          |           |           |              |              |           |
| b. Al servicio  | Si                     | 1 | ¿Origina problemas a otros equipos?                                       | 1                             | 1        | 0         | 0         | 1            | 1            | 1         |
|   | No                     | 0 |   |                               |          |           |           |              |              |           |
| c. Al operador  | Riesgo                 | 1 | ¿Posibilidad de accidentes al operador?                                   | 0                             | 0        | 0         | 0         | 1            | 1            | 0         |
|   | Sin riesgo             | 0 |   |                               |          |           |           |              |              |           |
| d. A la seguridad en general  | Si                     | 1 | ¿Posibilidad de accidente a otras personas u otros equipos cercanos?      | 0                             | 0        | 0         | 0         | 0            | 0            | 0         |
|   | No                     | 0 |   |                               |          |           |           |              |              |           |
| 4. -Probabilidad de Falla (Confiabilidad)   | Alta                   | 2 | ¿Se puede asegurar que el equipo va a trabajar correctamente cuando se le | 2                             | 2        | 2         | 2         | 2            | 2            | 2         |
|   | Baja                   | 0 |   |                               |          |           |           |              |              |           |
| 5. - Flexibilidad del equipo en el sistema  | Unico                  | 2 | No existe otro equipo igual o similar                                     | 2                             | 2        | 1         | 1         | 1            | 1            | 2         |
|   | By Pass                | 1 | El sistema puede seguir funcionando                                       |                               |          |           |           |              |              |           |
|   | Stand By               | 0 | Existe otro igual o similar no instalado                                  |                               |          |           |           |              |              |           |
| 6. - Dependencia logística  | Extranjero             | 2 | Repuestos se tienen que importar  | 2                             | 0        | 1         | 1         | 2            | 2            | 1         |
|   | Loc. / Ext             | 1 | Algunos repuestos se compran localmente                                   |                               |          |           |           |              |              |           |
|   | Local                  | 0 | Repuestos se consiguen localmente   |                               |          |           |           |              |              |           |
| 7. - Dependencia de la mano de obra   | Terceros               | 2 | El mantenimiento requiere contratar a terceros                            | 2                             | 0        | 0         | 0         | 0            | 0            | 2         |
|   | Propia                 | 0 | El mantenimiento se realiza con personal propio                           |                               |          |           |           |              |              |           |
| 8. - Facilidad de Reparación (Mantenibilidad)   | Baja                   | 1 | Mantenimiento difícil   | 1                             | 0        | 1         | 1         | 1            | 1            | 1         |
|   | Alta                   | 0 | Mantenimiento fácil   |                               |          |           |           |              |              |           |
| <b>TOTAL</b>  |                        |   |   | <b>12</b>                     | <b>9</b> | <b>11</b> | <b>11</b> | <b>14</b>    | <b>14</b>    | <b>16</b> |

**TABLA DE PRIORIDADES PARA EVALUAR LOS EQUIPOS**

| VARIABLES   | CONCEPTO Y PONDERACION | OBSERVACIONES   | ROCK BREAKER | CHANCADORA PRIMARIA | COMPRESORA GA-200 | FAJA BELT FEEDER | BELT MAGNET DE FAJA BOLT FEEDER | FAJA 01   | BELT MAGNET DE FAJA 1 |
|---|------------------------|---|--------------|---------------------|-------------------|------------------|---------------------------------|-----------|-----------------------|
| 1. -Efecto sobre la producción, Operaciones o medio Ambiente                                | Paraliza               | 4 Afecta al medio ambiente  | 2            | 4                   | 2                 | 4                | 0                               | 4         | 0                     |
|   | Reduce                 | 2   |              |                     |                   |                  |                                 |           |                       |
|   | No afecta              | 0   |              |                     |                   |                  |                                 |           |                       |
| 2. -Valor técnico económico (considerar el costo de adquisición, operación y mantenimiento) | Alto                   | 3 Más de US\$ 50 000  | 3            | 3                   | 2                 | 2                | 2                               | 2         | 2                     |
|   | Medio                  | 2   |              |                     |                   |                  |                                 |           |                       |
|   | Bajo                   | 1 Menos de US\$ 10 000  |              |                     |                   |                  |                                 |           |                       |
| 3. -La falla afecta   |                        |   |              |                     |                   |                  |                                 |           |                       |
| a. Al equipo en si  | Si                     | 1 ¿Deteriora otros componentes?   | 1            | 1                   | 1                 | 1                | 0                               | 1         | 0                     |
|   | No                     | 0   |              |                     |                   |                  |                                 |           |                       |
| b. Al servicio  | Si                     | 1 ¿Origina problemas a otros equipos?                                       | 1            | 0                   | 1                 | 1                | 1                               | 1         | 1                     |
|   | No                     | 0   |              |                     |                   |                  |                                 |           |                       |
| c. Al operador  | Riesgo                 | 1 ¿Posibilidad de accidentes al operador?                                   | 0            | 0                   | 0                 | 0                | 0                               | 0         | 0                     |
|   | Sin riesgo             | 0   |              |                     |                   |                  |                                 |           |                       |
| d. A la seguridad en general  | Si                     | 1 ¿Posibilidad de accidente a otras personas u otros equipos cercanos?      | 0            | 0                   | 0                 | 0                | 0                               | 0         | 0                     |
|   | No                     | 0   |              |                     |                   |                  |                                 |           |                       |
| 4. -Probabilidad de Falla (Confiabilidad)   | Alta                   | 2 ¿Se puede asegurar que el equipo va a trabajar correctamente cuando se le | 0            | 2                   | 0                 | 2                | 0                               | 2         | 0                     |
|   | Baja                   | 0   |              |                     |                   |                  |                                 |           |                       |
| 5. - Flexibilidad del equipo en el sistema  | Unico                  | 2 No existe otro equipo igual o similar                                     | 2            | 2                   | 2                 | 2                | 1                               | 2         | 1                     |
|   | By Pass                | 1 El sistema puede seguir funcionando                                       |              |                     |                   |                  |                                 |           |                       |
|   | Stand By               | 0 Existe otro igual o similar no instalado                                  |              |                     |                   |                  |                                 |           |                       |
| 6. - Dependencia logística  | Extranjero             | 2 Repuestos se tienen que importar  | 1            | 2                   | 0                 | 1                | 1                               | 1         | 1                     |
|   | Loc. / Ext             | 1 Algunos repuestos se compran localmente                                   |              |                     |                   |                  |                                 |           |                       |
|   | Local                  | 0 Repuestos se consiguen localmente   |              |                     |                   |                  |                                 |           |                       |
| 7. - Dependencia de la mano de obra   | Terceros               | 2 El mantenimiento requiere contratar a terceros                            | 0            | 0                   | 2                 | 2                | 0                               | 2         | 0                     |
|   | Propia                 | 0 El mantenimiento se realiza con personal propio                           |              |                     |                   |                  |                                 |           |                       |
| 8. - Facilidad de Reparación (Mantenibilidad)   | Baja                   | 1 Mantenimiento difícil   | 0            | 1                   | 1                 | 1                | 0                               | 1         | 0                     |
|   | Alta                   | 0 Mantenimiento fácil   |              |                     |                   |                  |                                 |           |                       |
| <b>TOTAL</b>  |                        |   | <b>10</b>    | <b>15</b>           | <b>11</b>         | <b>16</b>        | <b>5</b>                        | <b>16</b> | <b>5</b>              |

# **ANEXO H**

| EQUIPO                            | COMPONENTE             | PARAMETROS FACTIBLES A MONITOREAR |             |             |          |          |          |                                     |                      |
|-----------------------------------|------------------------|-----------------------------------|-------------|-------------|----------|----------|----------|-------------------------------------|----------------------|
|                                   |                        | VIBRACION                         | TEMPERATURA | LUBRICACIÓN | AMPERAJE | PRESIÓN  | FLUJO    | RUIDO                               | OTROS PARÁMETROS     |
| FAJA OVERLAND                     | FAJA                   |                                   |             |             |          |          |          |                                     | ALINEAMIENTO DE FAJA |
|                                   | POLEAS                 | X                                 | X           |             |          |          |          | X                                   |                      |
|                                   | MOTOR                  | X                                 | X           |             | X        |          |          | X                                   |                      |
|                                   | REDUCTOR               | X                                 | X           | X           |          |          |          | X                                   |                      |
| FAJAS BELT FEEDER, FAJA 1, 2 Y 3. | FAJA                   |                                   |             |             |          |          |          |                                     | ALINEAMIENTO DE FAJA |
|                                   | POLEAS                 | X                                 | X           |             |          |          |          | X                                   |                      |
|                                   | MOTOR                  | X                                 | X           |             | X        |          |          | X                                   |                      |
|                                   | REDUCTOR               | X                                 | X           | X           |          |          |          | X                                   |                      |
| CH. PRIMARIA                      | SIST. DE LUBRICACIÓN   |                                   | X           | X           |          | X        | X        |                                     |                      |
|                                   | SIST. HIDRAULICO       |                                   |             | X           |          | X        | X        |                                     |                      |
|                                   | SIST. DE REFRIGERACION | X                                 | X           |             |          |          |          | X                                   |                      |
|                                   | SIST. MECÁNICO         | X                                 | X           |             |          |          |          |                                     | INSPECCIÓN VISUAL    |
|                                   | SIST. ELECTRICO        | X                                 | X           |             | X        |          |          | X                                   |                      |
| MCC DE FAJA OVERLAND              |                        | X                                 |             | X           |          |          | X        | INSPECCIÓN VISUAL                   |                      |
| CH. CONICAS                       | SIST. DE LUBRICACIÓN   |                                   | X           | X           |          | X        | X        |                                     |                      |
|                                   | SIST. HIDRAULICO       |                                   |             | X           |          | X        | X        |                                     |                      |
|                                   | SIST. DE REFRIGERACION | X                                 | X           |             |          |          |          | X                                   |                      |
|                                   | SIST. MECÁNICO         | X                                 | X           |             |          |          |          |                                     | INSPECCIÓN VISUAL    |
|                                   | SIST. ELECTRICO        | X                                 | X           |             | X        |          |          | X                                   |                      |
| MCC CH. PRIMARIO Y SECUNDARIO     |                        | X                                 |             | X           |          |          | X        | INSPECCIÓN VISUAL                   |                      |
| DETECTOR DE METALES               |                        |                                   |             |             |          |          |          | INSPECCIÓN VISUAL PRUEBAS DE EQUIPO |                      |
| ZARANDAS                          | SIST. LUBRICACIÓN      |                                   |             | X           |          |          |          |                                     |                      |
|                                   | SIST. TRANSMISIÓN      | X                                 | X           |             |          |          |          | X                                   | INSPECCION VISUAL    |
|                                   | MOTORES                | X                                 | X           |             | X        |          |          | X                                   |                      |
|                                   | MALLAS                 |                                   |             |             |          |          |          |                                     | INSPECCION VISUAL    |
|                                   | ESTRUCTURA             |                                   |             |             |          |          |          |                                     | INSPECCION VISUAL    |
| COMPRESORAS                       | MOTOR                  | X                                 | X           |             | X        |          |          | X                                   |                      |
|                                   | COMPRESORA             | X                                 | X           |             |          |          |          | X                                   |                      |
|                                   | SIST. LUBRICACION      |                                   |             | X           |          |          |          |                                     |                      |
| <b>TOTAL</b>                      |                        | <b>16</b>                         | <b>20</b>   | <b>8</b>    | <b>8</b> | <b>4</b> | <b>4</b> | <b>16</b>                           |                      |

# **ANEXO I**



| EQUIPO VS. TECNOLOGÍAS DE MONITOREO DE CONDICIÓN | MECANICA             |                          |                                 |                    | ELECTRICA  |             |                                 |                          | ESTACIONARIA      |                         |                                 |                                  |
|--|----------------------|--------------------------|---------------------------------|--------------------|------------|-------------|---------------------------------|--------------------------|-------------------|-------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
|  | ANALISIS VIBRACIONAL | ANALISIS POR ULTRASONIDO | ANALISIS DE RADIACION INFRAROJA | ANALISIS DE ACEITE | MCA ONLINE | MCA OFFLINE | ANALISIS DE RADIACION INFRAROJA | ANALISIS POR ULTRASONIDO | INSPECCION VISUAL | ESPESOR POR ULTRASONIDO | REVISION POR TINTES PENETRANTES | INSPECCION POR CORRIENTE DE EDDY |
| FAJA OVERLAND                                    | X                    | X                        | X                               | X                  | X          | X           |                                 |                          | X                 |                         |                                 |                                  |
| FAJAS BELT FEEDER, FAJA 1, 2 Y 3.                | X                    | X                        | X                               | X                  | X          | X           |                                 |                          | X                 |                         |                                 |                                  |
| CH. PRIMARIA                                     | X                    | X                        | X                               | X                  | X          | X           |                                 |                          | X                 | X                       | X                               | X                                |
| MCC DE FAJA OVERLAND                             |                      |                          |                                 |                    |            |             | X                               | X                        | X                 |                         |                                 |                                  |
| CH. CONICAS                                      | X                    | X                        | X                               | X                  | X          | X           |                                 |                          | X                 | X                       | X                               | X                                |
| MCC CH. PRIMARIO Y SECUNDARIO                    |                      |                          |                                 |                    |            |             | X                               | X                        | X                 |                         |                                 |                                  |
| DETECTOR DE METALES                              |                      |                          |                                 |                    |            |             |                                 |                          | X                 |                         |                                 |                                  |
| ZARANDAS   | X                    | X                        | X                               | X                  | X          | X           |                                 |                          | X                 |                         |                                 | X                                |
| COMPRESORAS                                      | X                    | X                        | X                               | X                  | X          | X           |                                 |                          |                   |                         |                                 |                                  |
| <b>TOTAL</b>                                     | 6                    | 6                        | 6                               | 6                  | 6          | 6           | 2                               | 2                        | 8                 | 2                       | 2                               | 3                                |

# **ANEXO J**

**FALLAS QUE SE HAN PRESENTADO EN LOS EQUIPOS SEGÚN SU HISTORIAL (DATA DE OT'S)**

| EQUIPOS  | Modo de falla  | Frecuencia de modo de falla       | Efecto de Falla<br>¿Qué sucede cuando falla? | TECNICAS DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO QUE PUEDEN DETECTAR LA FALLA |                          |                                 |                    |            |             |                   |                         |                                 |                                  |   |
|--|--|-----------------------------------|--|---|--------------------------|---------------------------------|--------------------|------------|-------------|-------------------|-------------------------|---------------------------------|----------------------------------|---|
|  |  |                                   |  | ANALISIS VIBRACIONAL  | ANALISIS POR ULTRASONIDO | ANALISIS DE RADIACION INFRAROJA | ANALISIS DE ACEITE | MCA ONLINE | MCA OFFLINE | INSPECCION VISUAL | ESPESOR POR ULTRASONIDO | REVISION POR TINTES PENETRANTES | INSPECCION POR CORRIENTE DE EDDY |   |
| FAJAS TRANSPORTADORAS OVERLAND. BELT FEEDER, FAJA 1, 2 Y 3 | Falla en rodamiento de reductor  | 1 año                             | Parada de planta no programada               | X   | X                        | X                               | X                  |            |             |                   |                         |                                 |                                  |   |
|  | Rotura de dientes de engranajes de Reductores                              | 1 año y medio                     | Parada de planta no programada               | X   | X                        |                                 | X                  |            |             |                   |                         |                                 |                                  |   |
|  | Cambio de aceite por contaminación   | 4 meses                           | Parada de planta programada                  |   |                          |                                 | X                  |            |             |                   |                         |                                 |                                  |   |
|  | Falla en rodamiento de motor   | 1 año                             | Parada de planta no programada               | X   | X                        | X                               |                    |            |             |                   |                         |                                 |                                  |   |
|  | Fallas electricas en el motor  | 5 años                            | Parada de planta no programada               | X   |                          | X                               |                    | X          | X           |                   |                         |                                 |                                  |   |
|  | Falla en chumaceras de faja  | 3 meses                           | Parada de planta no programada               | X   | X                        | X                               |                    |            |             |                   |                         |                                 |                                  |   |
|  | Rotura de faja por desgaste  | 2 años                            | Parada de planta programada                  |   |                          |                                 |                    |            |             |                   | X                       |                                 |                                  |   |
| CH. PRIMARIA   | Cambio de componentes de desgaste (concavas, mantle, planchas protectoras) | segun recomendacion de fabricante | Parada de planta programada                  |   |                          |                                 |                    |            |             |                   | X                       | X                               | X                                | X |
|  | Cambio de aceite por contaminación   | 3 meses                           | Parada de planta programada                  |   |                          |                                 | X                  |            |             |                   |                         |                                 |                                  |   |
|  | Falla en rodamiento de motor   | 1 año                             | Parada de planta no programada               | X   | X                        | X                               |                    |            |             |                   |                         |                                 |                                  |   |
|  | Fallas electricas en el motor  | 3 años                            | Parada de planta no programada               | X   |                          | X                               |                    | X          | X           |                   |                         |                                 |                                  |   |
|  | Falla en rodamiento de motor   | 2 años                            | Parada de planta no programada               | X   | X                        | X                               |                    |            |             |                   |                         |                                 |                                  |   |
|  | Cambio de contraeje por rotura de dientes                                  | 3 años                            | Parada de planta no programada               | X   | X                        |                                 | X                  |            |             |                   |                         |                                 |                                  |   |
| CH. CONICAS  | Cambio de componentes de desgaste (Bowl, mantle, planchas protectoras)     | segun recomendacion de fabricante | Parada de planta programada                  |   |                          |                                 |                    |            |             |                   | X                       | X                               | X                                | X |
|  | Cambio de aceite por contaminación   | 3 meses                           | Parada de planta programada                  |   |                          |                                 | X                  |            |             |                   |                         |                                 |                                  |   |
|  | Fallas electricas en el motor  | 3 años                            | Parada de planta no programada               | X   |                          | X                               |                    | X          | X           |                   |                         |                                 |                                  |   |
|  | Falla en rodamiento de motor   | 1 año                             | Parada de planta no programada               | X   | X                        | X                               |                    |            |             |                   |                         |                                 |                                  |   |
|  | Cambio de contraeje por rotura de dientes                                  | 3 años                            | Parada de planta no programada               | X   | X                        |                                 | X                  |            |             |                   |                         |                                 |                                  |   |
|  | Roturas de fajas de transmision  | 3 meses                           | Parada de planta no programada               |   |                          |                                 |                    |            |             |                   | X                       |                                 |                                  |   |
| MCC  | Corto Circuito de tablero de control                                       | 1 año                             | Parada de planta no programada               |   |                          | X                               |                    |            |             |                   |                         |                                 |                                  |   |
|  | Falla en el sistema de proteccion (multilin)                               | 6 meses                           | Parada de planta no programada               |   |                          | X                               |                    |            |             |                   |                         |                                 |                                  |   |
| ZARANIDAS  | Falla en rodamiento de motor   | 6 meses                           | Parada de planta no programada               | X   | X                        | X                               |                    |            |             |                   |                         |                                 |                                  |   |
|  | Falla en rodamiento de ejes  | 6 meses                           | Parada de planta no programada               | X   | X                        | X                               |                    |            |             |                   |                         |                                 |                                  |   |
|  | Fallas electricas en el motor  | 3 años                            | Parada de planta no programada               | X   |                          | X                               |                    | X          | X           |                   |                         |                                 |                                  |   |
|  | Cambio de fajas de transmision por rotura                                  | 3 meses                           | Parada de planta no programada               |   |                          |                                 |                    |            |             |                   | X                       |                                 |                                  |   |
|  | Rotura de Bastidores   | 1 año                             | Parada de planta no programada               |   |                          |                                 |                    |            |             |                   | X                       |                                 |                                  |   |
| TOTAL  |  |                                   |  | 15  | 11                       | 14                              | 7                  | 4          | 4           | 6                 | 2                       | 2                               | 2                                |   |

# **ANEXO K**

**FALLAS EN FAJAS TRANSPORTADORAS AÑO 2005**

| Data   | Hora          | Tempo minutos | Área                    | Equipamento         | Comentarios                      | Detalle            | Costo MO | Costo Rep | Costo por Mant. | Costo de Parada | Costo Total |
|--------|---------------|---------------|-------------------------|---------------------|----------------------------------|--------------------|----------|-----------|-----------------|-----------------|-------------|
| ene-05 | 3:14:00 a.m.  | 245           | Mantenimiento Mecánico  | Faja Transportadora | Cambio de chumacera              | daño de rodamiento | 56.84    | 1274.00   | 1330.84         | 32666.67        | 33997.51    |
| ene-05 | 8:35:00 p.m.  | 10            | Operacional             | Faja Transportadora | Atoro en chute de carga          | mineral duro       | 1.63     |           | 1.63            | 1333.33         | 1334.96     |
| ene-05 | 10:05:00 p.m. | 30            | Mantenimiento Eléctrico | Faja Transportadora | falla por corte de energia       | tormenta electrica | 3.25     |           | 3.25            | 4000.00         | 4003.25     |
| ene-05 | 8:45:00 p.m.  | 30            | Mantenimiento Eléctrico | Faja Transportadora | Falla en intouch de control room |                    | 3.25     |           | 3.25            | 4000.00         | 4003.25     |
| feb-05 | 8:35:00 p.m.  | 20            | Operacional             | Faja Transportadora | Atoro en chute de carga          | mineral duro       | 3.25     |           | 3.25            | 2666.67         | 2669.92     |
| feb-05 | 9:47:00 p.m.  | 20            | Mantenimiento Eléctrico | Faja Transportadora | falla por corte de energia       | tormenta electrica | 2.17     |           | 2.17            | 2666.67         | 2668.83     |
| feb-05 | 8:35:00 p.m.  | 10            | Operacional             | Faja Transportadora | Atoro en chute de carga          | mineral duro       | 1.63     |           | 1.63            | 1333.33         | 1334.96     |
| feb-05 | 8:35:00 p.m.  | 5             | Operacional             | Faja Transportadora | Atoro en chute de carga          | mineral duro       | 0.81     |           | 0.81            | 666.67          | 667.48      |
| mar-05 | 8:35:00 p.m.  | 5             | Operacional             | Faja Transportadora | Atoro en chute de carga          | mineral duro       | 0.81     |           | 0.81            | 666.67          | 667.48      |
| mar-05 | 6:30:00 p.m.  | 10            | Mantenimiento Eléctrico | Faja Transportadora | falla por corte de energia       | tormenta electrica | 1.78     |           | 1.78            | 1333.33         | 1335.11     |
| mar-05 | 8:35:00 p.m.  | 10            | Operacional             | Faja Transportadora | Atoro en chute de carga          | mineral duro       | 1.63     |           | 1.63            | 1333.33         | 1334.96     |
| abr-05 | 3:40:00 a.m.  | 245           | Mantenimiento Mecánico  | Faja Transportadora | Cambio de chumacera              | daño de rodamiento | 56.84    | 1274.00   | 1330.84         | 32666.67        | 33997.51    |
| abr-05 | 8:05:00 a.m.  | 30            | Mantenimiento Eléctrico | Faja Transportadora | Falla en intouch de control room |                    | 3.25     |           | 3.25            | 4000.00         | 4003.25     |
| abr-05 | 7:50:00 a.m.  | 5             | Mantenimiento Eléctrico | Faja Transportadora | falla por corte de energia       | tormenta electrica | 0.89     |           | 0.89            | 666.67          | 667.56      |
| abr-05 | 8:35:00 p.m.  | 10            | Operacional             | Faja Transportadora | Atoro en chute de carga          | mineral duro       | 1.63     |           | 1.63            | 1333.33         | 1334.96     |
| abr-05 | 4:14:00 a.m.  | 10            | Mantenimiento Eléctrico | Faja Transportadora | falla por corte de energia       | tormenta electrica | 1.78     |           | 1.78            | 1333.33         | 1335.11     |
| may-05 | 8:35:00 p.m.  | 10            | Operacional             | Faja Transportadora | Atoro en chute de carga          | mineral duro       | 1.63     |           | 1.63            | 1333.33         | 1334.96     |
| jun-05 | 9:25:00 p.m.  | 15            | Mantenimiento Eléctrico | Faja Transportadora | falla por corte de energia       | tormenta electrica | 2.67     |           | 2.67            | 2000.00         | 2002.67     |
| jun-05 | 1:04:00 p.m.  | 315           | Mantenimiento Mecánico  | Faja Transportadora | Falla de rodamiento de motor     |                    | 73.08    | 150.00    | 223.08          | 42000.00        | 42223.08    |
| jun-05 | 8:35:00 p.m.  | 5             | Operacional             | Faja Transportadora | Atoro en chute de carga          | mineral duro       | 0.81     |           | 0.81            | 666.67          | 667.48      |
| jun-05 | 8:35:00 p.m.  | 15            | Operacional             | Faja Transportadora | Atoro en chute de carga          | mineral duro       | 2.44     |           | 2.44            | 2000.00         | 2002.44     |
| jul-05 | 2:15:00 p.m.  | 5             | Mantenimiento Eléctrico | Faja Transportadora | falla por corte de energia       | tormenta electrica | 0.89     |           | 0.89            | 666.67          | 667.56      |
| jul-05 | 5:42:00 p.m.  | 10            | Mantenimiento Eléctrico | Faja Transportadora | falla por corte de energia       | tormenta electrica | 1.78     |           | 1.78            | 1333.33         | 1335.11     |
| jul-05 | 8:35:00 p.m.  | 10            | Operacional             | Faja Transportadora | Atoro en chute de carga          | mineral duro       | 1.63     |           | 1.63            | 1333.33         | 1334.96     |
| ago-05 | 9:03:00 p.m.  | 245           | Mantenimiento Mecánico  | Faja Transportadora | Cambio de chumacera              | daño de rodamiento | 56.84    | 1274.00   | 1330.84         | 32666.67        | 33997.51    |
| ago-05 | 8:50:00 a.m.  | 30            | Operacional             | Faja Transportadora | Atoro en chute de carga          | mineral duro       | 4.88     |           | 4.88            | 4000.00         | 4004.88     |
| ago-05 | 8:35:00 p.m.  | 5             | Operacional             | Faja Transportadora | Atoro en chute de carga          | mineral duro       | 0.81     |           | 0.81            | 666.67          | 667.48      |
| set-05 | 8:01:00 p.m.  | 10            | Mantenimiento Eléctrico | Faja Transportadora | Falla en intouch de control room |                    | 1.08     |           | 1.08            | 1333.33         | 1334.42     |
| set-05 | 8:35:00 p.m.  | 9             | Operacional             | Faja Transportadora | Atoro en chute de carga          | mineral duro       | 1.46     |           | 1.46            | 1200.00         | 1201.46     |
| nov-05 | 8:35:00 p.m.  | 12            | Operacional             | Faja Transportadora | Atoro en chute de carga          | mineral duro       | 1.95     |           | 1.95            | 1600.00         | 1601.95     |
| nov-05 | 1:45:00 p.m.  | 10            | Mantenimiento Eléctrico | Faja Transportadora | Falla en intouch de control room |                    | 1.08     |           | 1.08            | 1333.33         | 1334.42     |
| dic-05 | 8:35:00 p.m.  | 20            | Operacional             | Faja Transportadora | Atoro en chute de carga          | mineral duro       | 3.25     |           | 3.25            | 2666.67         | 2669.92     |

| Actividad que involucró parada de planta | Costo total de mantenimiento |
|--|------------------------------|
| Cambio de chumacera                      | \$101,992.52                 |
| Falla de rodamiento de motor             | \$42,223.08                  |
| Atoro en chute de carga                  | \$24,830.23                  |
| falla por corte de energia               | \$14,015.20                  |
| Falla en intouch de control room         | \$10,675.33                  |

3992.52

\$193,736.36

**FALLAS EN LOS MCC DE LA PLANTA DE CHANCADO AÑO 2005**

| Data   | Hora         | Tempo minutos | Area                    | Equipamento           | Comentarios          | Detalle               | Costo MO | Costo Rep | Costo por Mant. | Costo de Parada | Costo Total |
|--------|--------------|---------------|-------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------|-----------|-----------------|-----------------|-------------|
| ene-05 | 3:14:00 a.m. | 5             | Mantenimiento Mecánico  | MCC CH. SECUNDARIO    | Tripeo de Sistema    | Tormenta Electrica    | 0.27     |           | 0.27            | 666.67          | 666.94      |
| mar-05 | 8:35:00 p.m. | 10            | Operacional             | MCC CH. PRIMARIO      | Tripeo de Sistema    | Tormenta Electrica    | 0.54     |           | 0.54            | 1333.33         | 1333.88     |
| mar-05 | 6:30:00 p.m. | 4             | Mantenimiento Eléctrico | MCC CH. SECUNDARIO    | Tripeo de Sistema    | sobrecarga de sistema | 0.22     |           | 0.22            | 533.33          | 533.55      |
| abr-05 | 8:35:00 p.m. | 60            | Operacional             | MCC CH. PRIMARIO      | Falla de Multilin    | corto circuito        | 10.67    | 4950.00   | 4960.67         | 8000.00         | 12960.67    |
| jul-05 | 8:35:00 p.m. | 0             | Operacional             | MCC CH. SECUNDARIO    | Falla de tarjeta MFP | corto circuito        | 0.00     | 17125.00  | 17125.00        | 0.00            | 17125.00    |
| ago-05 | 9:03:00 p.m. | 10            | Mantenimiento Mecánico  | MCC OVERLAND / FAJA 3 | Tripeo de Sistema    | Tormenta Electrica    | 0.54     |           | 0.54            | 1333.33         | 1333.88     |
| ago-05 | 8:50:00 a.m. | 5             | Operacional             | MCC CH. PRIMARIO      | Tripeo de Sistema    | sobrecarga de sistema | 0.27     |           | 0.27            | 666.67          | 666.94      |
| set-05 | 8:01:00 p.m. | 60            | Mantenimiento Eléctrico | MCC CH. SECUNDARIO    | Falla de Multilin    | Tormenta Electrica    | 10.67    | 4950.00   | 4960.67         | 8000.00         | 12960.67    |
| set-05 | 8:35:00 p.m. | 9             | Operacional             | MCC CH. PRIMARIO      | Tripeo de Sistema    | Tormenta Electrica    | 0.49     |           | 0.49            | 1200.00         | 1200.49     |
| nov-05 | 8:35:00 p.m. | 5             | Operacional             | MCC OVERLAND /FAJA 3  | Tripeo de Sistema    | sobrecarga de sistema | 0.27     |           | 0.27            | 666.67          | 666.94      |
| dic-05 | 8:35:00 p.m. | 6             | Operacional             | MCC CH. SECUNDARIO    | Tripeo de Sistema    | Tormenta Electrica    | 0.33     |           | 0.33            | 800.00          | 800.33      |

| Actividad que involucró parada de planta | Costo total de mantenimiento |
|--|------------------------------|
| Falla de Multilin                        | \$25,921.34                  |
| Falla de tarjeta MFP                     | \$17,125.00                  |
| Tripeo de Sistema                        | \$7,202.93                   |

9921.34

\$50,249.27

# **ANEXO L**

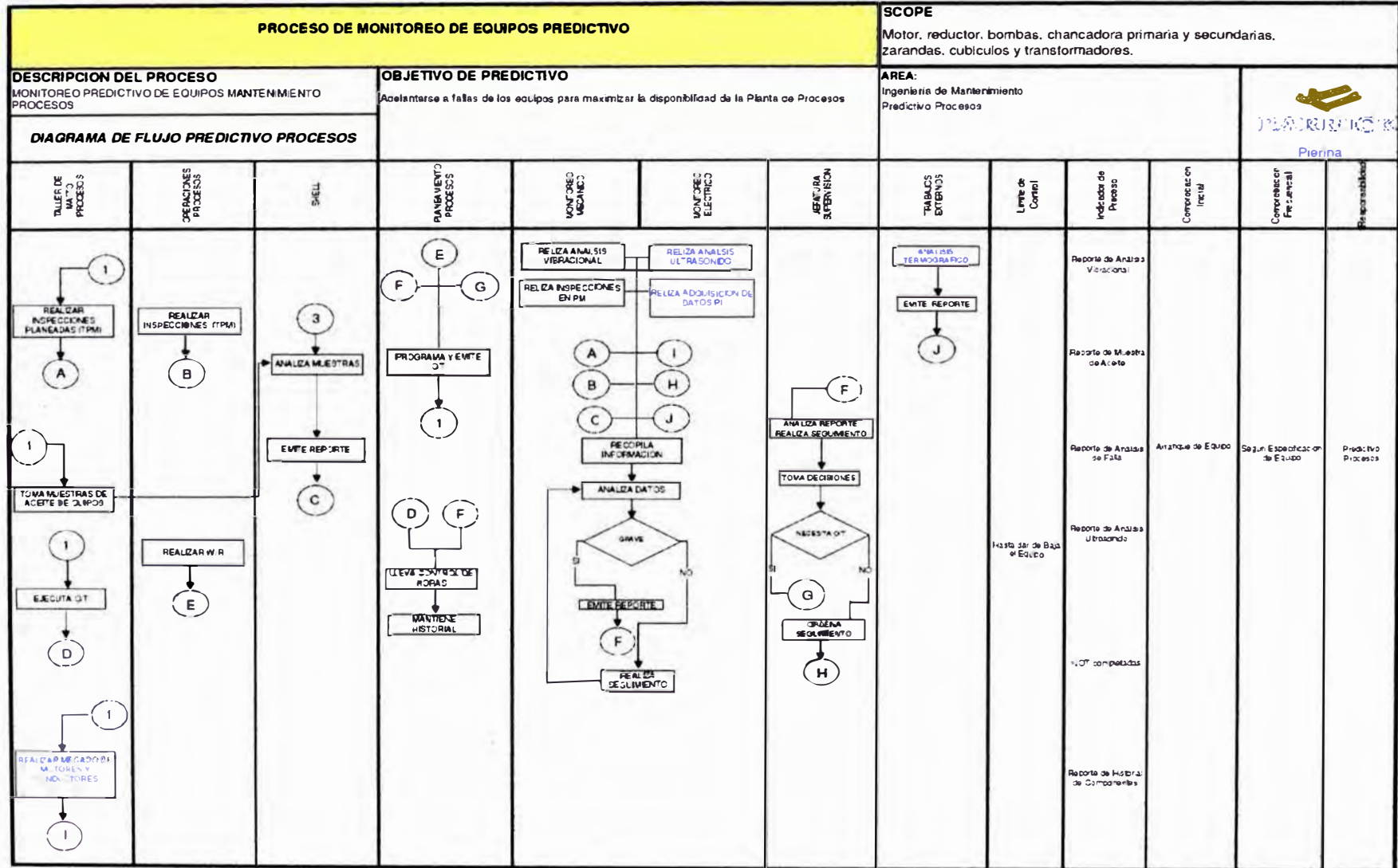
**CRONOGRAMA DE ANALISIS VIBRACIONAL Y ULTRASONIDO MECANICO**

| Mes     | RUTA 1        |        |        |        |        |        |        | RUTA 2         |        |        |        |        |        |        | RUTA 3          |        |        |        |        |        |        | RUTA 4          |        |        |        |        |        |        | CHUMACERAS DE FAJAS |        |        |        |        |        |        |
|---------|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|         | 28 Feb        | 29 Feb | 01 Mar | 02 Mar | 03 Mar | 04 Mar | 05 Mar | 28 Feb         | 29 Feb | 01 Mar | 02 Mar | 03 Mar | 04 Mar | 05 Mar | 28 Feb          | 29 Feb | 01 Mar | 02 Mar | 03 Mar | 04 Mar | 05 Mar | 28 Feb          | 29 Feb | 01 Mar | 02 Mar | 03 Mar | 04 Mar | 05 Mar | 28 Feb              | 29 Feb | 01 Mar | 02 Mar | 03 Mar | 04 Mar | 05 Mar |
| FEBRERO | [Blue blocks] |        |        |        |        |        |        | [Green blocks] |        |        |        |        |        |        | [Purple blocks] |        |        |        |        |        |        | [Yellow blocks] |        |        |        |        |        |        | [Yellow blocks]     |        |        |        |        |        |        |
| MARZO   | [Blue blocks] |        |        |        |        |        |        | [Green blocks] |        |        |        |        |        |        | [Purple blocks] |        |        |        |        |        |        | [Yellow blocks] |        |        |        |        |        |        | [Yellow blocks]     |        |        |        |        |        |        |
| ABRIL   | [Blue blocks] |        |        |        |        |        |        | [Green blocks] |        |        |        |        |        |        | [Purple blocks] |        |        |        |        |        |        | [Yellow blocks] |        |        |        |        |        |        | [Yellow blocks]     |        |        |        |        |        |        |






# DIAGRAMA DE FLUJO



**Por Análisis Vibracional.**


| EQUIPOS MONITOREADOS POR ANALISIS VIBRACIONAL                                       |  |                  |            |                |               |                               |                              |                          |                          |                               |
|---|--|------------------|------------|----------------|---------------|-------------------------------|------------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------|
|  |  |                  |            |                |               |                               |                              |                          |                          |                               |
| RUTA  | EQUIPOS                                | COMPONENTES      | FRECUENCIA | CANT DE PUNTOS | CANT DE NODOS | TIEMPO EN TOMA DE DATOS (MIN) | TOTAL EN TOMA DE DATOS (MIN) | TIEMPO EN TRASLADO (MIN) | TIEMPO EN ANALISIS (MIN) | TIEMPO TOTAL EMPLEADO (HORAS) |
| RUTA 1  | ROCK BREAKER                           | MOTOR            | Mensual    | 2              | 10            | 7.5                           | 338.3                        | 60                       | 600                      | 16.6                          |
|   |  | BOMBA            |            | 2              | 10            | 7.5                           |                              |                          |                          |                               |
|   | CHANCADORA GIRATORIA                   | MOTOR            |            | 2              | 10            | 7.5                           |                              |                          |                          |                               |
|   |  | CHANCADORA       |            | 1              | 5             | 3.8                           |                              |                          |                          |                               |
|   | COMPRESORA GA-200                      | MOTOR            |            | 2              | 10            | 7.5                           |                              |                          |                          |                               |
|   |  | COMPRESORA       |            | 8              | 48            | 36.0                          |                              |                          |                          |                               |
|   | BELT FEEDER                            | MOTOR            |            | 2              | 10            | 7.5                           |                              |                          |                          |                               |
|   |  | REDUCTOR         |            | 8              | 72            | 54.0                          |                              |                          |                          |                               |
|   | FAJA 01                                | MOTOR            |            | 2              | 10            | 7.5                           |                              |                          |                          |                               |
|   |  | REDUCTOR         |            | 6              | 42            | 31.5                          |                              |                          |                          |                               |
|   | ZARANDA 01                             | MOTOR EJE SUP.   |            | 2              | 10            | 7.5                           |                              |                          |                          |                               |
|   |  | EJE SUPERIOR     |            | 2              | 10            | 7.5                           |                              |                          |                          |                               |
|   |  | MOTOR EJE INF.   |            | 2              | 10            | 7.5                           |                              |                          |                          |                               |
|   |  | EJE INFERIOR     |            | 2              | 10            | 7.5                           |                              |                          |                          |                               |
|   | ZARANDA 02                             | MOTOR EJE SUP.   |            | 2              | 10            | 7.5                           |                              |                          |                          |                               |
|   |  | EJE SUPERIOR     |            | 2              | 10            | 7.5                           |                              |                          |                          |                               |
|   |  | MOTOR EJE INF.   |            | 2              | 10            | 7.5                           |                              |                          |                          |                               |
|   |  | EJE INFERIOR     |            | 2              | 10            | 7.5                           |                              |                          |                          |                               |
|   | CHANCADORA CONICA 01                   | MOTOR            |            | 2              | 10            | 7.5                           |                              |                          |                          |                               |
|   |  | CHANCADORA       |            | 1              | 5             | 3.8                           |                              |                          |                          |                               |
|   | CHANCADORA CONICA 02                   | MOTOR            |            | 2              | 10            | 7.5                           |                              |                          |                          |                               |
|   |  | CHANCADORA       |            | 1              | 5             | 3.8                           |                              |                          |                          |                               |
|   | VENTILADOR LUBRICACION CONICA 01       | MOTOR            |            | 2              | 10            | 7.5                           |                              |                          |                          |                               |
|   | VENTILADOR LUBRICACION CONICA 02       | MOTOR            |            | 2              | 10            | 7.5                           |                              |                          |                          |                               |
| BOMBA DE LUBRICACION CONICA 01  | MOTOR                                  | 2                | 10         | 7.5            |               |                               |                              |                          |                          |                               |
|   | REDUCTOR                               | 4                | 32         | 24.0           |               |                               |                              |                          |                          |                               |
|   | BOMBA                                  | 1                | 5          | 3.8            |               |                               |                              |                          |                          |                               |
| BOMBA DE LUBRICACION CONICA 02  | MOTOR                                  | 2                | 10         | 7.5            |               |                               |                              |                          |                          |                               |
|   | REDUCTOR                               | 4                | 32         | 24.0           |               |                               |                              |                          |                          |                               |
|   | BOMBA                                  | 1                | 5          | 3.8            |               |                               |                              |                          |                          |                               |
| RUTA 2  | FAJA 02                                | MOTOR            | Mensual    | 2              | 10            | 7.5                           | 210.0                        | 60                       | 600                      | 14.5                          |
|   |  | REDUCTOR         |            | 6              | 30            | 22.5                          |                              |                          |                          |                               |
|   | COLECTOR DE POLVOS CHANCADO SECUNDARIO | MOTOR            |            | 2              | 10            | 7.5                           |                              |                          |                          |                               |
|   |  | COLECTOR         |            | 2              | 10            | 7.5                           |                              |                          |                          |                               |
|   |  | MOTOR MAESTRO    |            | 2              | 10            | 7.5                           |                              |                          |                          |                               |
|   | FAJA OVERLAND                          | REDUCTOR MAESTRO |            | 6              | 30            | 22.5                          |                              |                          |                          |                               |
|   |  | MOTOR ESCLAVO    |            | 2              | 10            | 7.5                           |                              |                          |                          |                               |
|   |  | REDUCTOR ESCLAVO |            | 6              | 30            | 22.5                          |                              |                          |                          |                               |
|   |  | POLEA MAESTRO    |            | 2              | 10            | 7.5                           |                              |                          |                          |                               |
|   | OVERLAND CHUMACERAS POLEAS             | POLEA ESCLAVO    |            | 2              | 10            | 7.5                           |                              |                          |                          |                               |
|   |  | POLEA INTERMEDIA |            | 2              | 10            | 7.5                           |                              |                          |                          |                               |
|   |  | POLEA DE COLA    |            | 2              | 10            | 7.5                           |                              |                          |                          |                               |
|   |  | MOTOR            |            | 2              | 10            | 7.5                           |                              |                          |                          |                               |
|   | FAJA 03                                | REDUCTOR         |            | 6              | 30            | 22.5                          |                              |                          |                          |                               |
|   |  | MOTOR            |            | 2              | 10            | 7.5                           |                              |                          |                          |                               |
|   | COMPRESORA GA-75 ORE BIN               | COMPRESOR        |            | 4              | 20            | 15.0                          |                              |                          |                          |                               |
|   |  | MOTOR            |            | 2              | 10            | 7.5                           |                              |                          |                          |                               |
|   | COMPRESORA SULLAIR                     | COMPRESOR        |            | 4              | 20            | 15.0                          |                              |                          |                          |                               |

EQUIPOS MONITOREADOS POR ANALISIS VIBRACIONAL



| RUTA                                   | EQUIPOS                          | COMPONENTES                   | FRECUENCIA | CANT DE PUNTOS | CANT DE NODOS | TIEMPO EN TOMA DE DATOS (MIN) | TOTAL EN TOMA DE DATOS (MIN) | TIEMPO EN TRASLADO (MIN) | TIEMPO EN ANALISIS (MIN) | TIEMPO TOTAL EMPLEADO (HORAS) |
|--|----------------------------------|-------------------------------|------------|----------------|---------------|-------------------------------|------------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| CHUMACERAS DE FAJAS<br>TRANSPORTADORAS | BELT FEEDER                      | POLEA CABEZA                  | Mensual    | 2              | 10            | 7.5                           | 120.0                        | 120                      | 600                      | 14.0                          |
|  |                                  | POLEA TENSORA (INTERMEDIA)    |            | 2              | 10            | 7.5                           |                              |                          |                          |                               |
|  |                                  | POLEA COLA                    |            | 2              | 10            | 7.5                           |                              |                          |                          |                               |
|  | FAJA 01                          | POLEA CABEZA                  |            | 2              | 10            | 7.5                           |                              |                          |                          |                               |
|  |                                  | POLEAS DE VOLTEO Y CONTRAPESO |            | 2              | 10            | 7.5                           |                              |                          |                          |                               |
|  |                                  | POLEA COLA                    |            | 2              | 10            | 7.5                           |                              |                          |                          |                               |
|  | FAJA 02                          | POLEA CABEZA                  |            | 2              | 10            | 7.5                           |                              |                          |                          |                               |
|  |                                  | POLEAS DE VOLTEO Y CONTRAPESO |            | 2              | 10            | 7.5                           |                              |                          |                          |                               |
|  |                                  | POLEA COLA                    |            | 2              | 10            | 7.5                           |                              |                          |                          |                               |
|  | OVERLAND<br>CHUMACERAS<br>POLEAS | POLEA MAESTRO                 |            | 2              | 10            | 7.5                           |                              |                          |                          |                               |
|  |                                  | POLEA ESCLAVO                 |            | 2              | 10            | 7.5                           |                              |                          |                          |                               |
|  |                                  | POLEA INTERMEDIA              |            | 2              | 10            | 7.5                           |                              |                          |                          |                               |
|  |                                  | POLEA DE COLA                 |            | 2              | 10            | 7.5                           |                              |                          |                          |                               |
|  | FAJA 03                          | POLEA CABEZA                  |            | 2              | 10            | 7.5                           |                              |                          |                          |                               |
|  |                                  | POLEAS DE VOLTEO Y CONTRAPESO |            | 2              | 10            | 7.5                           |                              |                          |                          |                               |
| POLEA COLA                             |                                  | 2                             | 10         | 7.5            |               |                               |                              |                          |                          |                               |
|  | 47                               | 104                           |            | 251            | 1331          | 998.3                         | 998.3                        | 300.0                    | 3000.0                   | 71.6                          |

## Por Análisis de Aceite

| EQUIPOS MONITOREADOS POR ANALISIS DE ACEITE   |                                 |             |                   |                            |                            |                             |                          |                              |                            |                          |                               |
|---|---------------------------------|-------------|-------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|--------------------------|------------------------------|----------------------------|--------------------------|-------------------------------|
|  |                                 |             |                   |                            |                            |                             |                          |                              |                            |                          |                               |
| RUTA  | EQUIPOS                         | SISTEMA     | FRECUENCIA (DIAS) | NRO DE PERSONAS (MUESTREO) | TIEMPO PARA MUESTREO (MIN) | TOTAL TIEMPO MUESTREO (MIN) | TIEMPO EN TRASLADO (MIN) | TOTAL EN TOMA DE DATOS (MIN) | NRO DE PERSONAS (ANALISIS) | TIEMPO EN ANALISIS (MIN) | TIEMPO TOTAL EMPLEADO (HORAS) |
| RUTA 1  | Rock Breaker                    | HIDRAULICO  | 14 días           | 2                          | 20                         | 110                         | 60                       | 170                          | 1                          | 90                       | 4.3                           |
|   | Chancadora Primaria             | LUBRICACION | 14 días           | 2                          | 20                         |                             |                          |                              | 1                          |                          |                               |
|   | Reductor Belt Feeder            | LUBRICACION | 28 días           | 2                          | 20                         |                             |                          |                              | 1                          |                          |                               |
|   | Compresora GA 200               | LUBRICACION | 28 días           | 2                          | 30                         |                             |                          |                              | 1                          |                          |                               |
|   | Reductor Faja 01                | LUBRICACION | 28 días           | 2                          | 20                         |                             |                          |                              | 1                          |                          |                               |
| RUTA 2  | Lubricacion Conica 01           | LUBRICACION | 14 días           | 2                          | 20                         | 100                         | 60                       | 160                          | 1                          | 90                       | 4.2                           |
|   | Lubricacion Conica 02           | LUBRICACION | 14 días           | 2                          | 20                         |                             |                          |                              | 1                          |                          |                               |
|   | Hidraulico Conica 1             | HIDRAULICO  | 28 días           | 2                          | 20                         |                             |                          |                              | 1                          |                          |                               |
|   | Hidraulico Conica 2             | HIDRAULICO  | 28 días           | 2                          | 20                         |                             |                          |                              | 1                          |                          |                               |
|   | Reductor Faja 02                | LUBRICACION | 28 días           | 2                          | 20                         |                             |                          |                              | 1                          |                          |                               |
| RUTA 3  | Reductor Motor Esclavo Overland | LUBRICACION | 28 días           | 2                          | 20                         | 100                         | 45                       | 145                          | 1                          | 90                       | 3.9                           |
|   | Reductor Motor Maestro Overland | LUBRICACION | 28 días           | 2                          | 20                         |                             |                          |                              | 1                          |                          |                               |
|   | Reductor Faja 03                | LUBRICACION | 28 días           | 2                          | 20                         |                             |                          |                              | 1                          |                          |                               |
|   | Compresora GA 75 ORE BIN        | LUBRICACION | 28 días           | 2                          | 20                         |                             |                          |                              | 1                          |                          |                               |
|   | Compresora Sullair              | LUBRICACION | 28 días           | 2                          | 20                         |                             |                          |                              | 1                          |                          |                               |
| RUTA 4  | Compresora GA 75 004            | LUBRICACION | 28 días           | 2                          | 25                         | 120                         | 0                        | 120                          | 1                          | 90                       | 3.5                           |
|   | Compresora GA 75 005            | LUBRICACION | 28 días           | 2                          | 25                         |                             |                          |                              | 1                          |                          |                               |
|   | Compresora GA 75 009            | LUBRICACION | 28 días           | 2                          | 25                         |                             |                          |                              | 1                          |                          |                               |
|   | Compresora GA 160 (Mina)        | LUBRICACION | 28 días           | 2                          | 25                         |                             |                          |                              | 1                          |                          |                               |
|   | Contraste CH. Primaria          | LUBRICACION | 56 días           | 2                          | 20                         |                             |                          |                              | 1                          |                          |                               |
|   | 20                              | 20          |                   |                            | 430                        | 430                         | 165                      | 595                          |                            | 360                      | 15.9                          |

**Por Ultrasonido – Ruta Mecánica**

**EQUIPOS MONITOREADOS POR ANALISIS ULTRASONIDO MECANICO**



| RUTA                             | EQUIPOS                                | COMPONENTES      | FRECUENCIA | CANT DE PUNTOS | TIEMPO EN TOMA DE DATOS (MIN) | TOTAL EN TOMA DE DATOS (MIN) | TIEMPO EN TRASLADO (MIN) | TIEMPO EN ANALISIS (MIN) | TIEMPO TOTAL EMPLEADO (HORAS) |
|----------------------------------|--|------------------|------------|----------------|-------------------------------|------------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| RUTA 1                           | ROCK BREAKER                           | MOTOR            | Mensual    | 2              | 4                             | 150                          | 60                       | 240                      | 7.5                           |
|                                  |  | BOMBA            |            | 2              | 4                             |                              |                          |                          |                               |
|                                  | CHANCADORA GIRATORIA                   | MOTOR            |            | 2              | 4                             |                              |                          |                          |                               |
|                                  |  | CHANCADORA       |            | 1              | 2                             |                              |                          |                          |                               |
|                                  | COMPRESORA GA-200                      | MOTOR            |            | 2              | 4                             |                              |                          |                          |                               |
|                                  |  | COMPRESORA       |            | 8              | 16                            |                              |                          |                          |                               |
|                                  | BELT FEEDER                            | MOTOR            |            | 2              | 4                             |                              |                          |                          |                               |
|                                  |  | REDUCTOR         |            | 8              | 16                            |                              |                          |                          |                               |
|                                  | FAJA 01                                | MOTOR            |            | 2              | 4                             |                              |                          |                          |                               |
|                                  |  | REDUCTOR         |            | 6              | 12                            |                              |                          |                          |                               |
|                                  | ZARANDA 01                             | MOTOR EJE SUP.   |            | 2              | 4                             |                              |                          |                          |                               |
|                                  |  | EJE SUPERIOR     |            | 2              | 4                             |                              |                          |                          |                               |
|                                  |  | MOTOR EJE INF.   |            | 2              | 4                             |                              |                          |                          |                               |
|                                  |  | EJE INFERIOR     |            | 2              | 4                             |                              |                          |                          |                               |
|                                  | ZARANDA 02                             | MOTOR EJE SUP.   |            | 2              | 4                             |                              |                          |                          |                               |
|                                  |  | EJE SUPERIOR     |            | 2              | 4                             |                              |                          |                          |                               |
|                                  |  | MOTOR EJE INF.   |            | 2              | 4                             |                              |                          |                          |                               |
|                                  |  | EJE INFERIOR     |            | 2              | 4                             |                              |                          |                          |                               |
|                                  | CHANCADORA CONICA 01                   | MOTOR            |            | 2              | 4                             |                              |                          |                          |                               |
|                                  |  | CHANCADORA       |            | 1              | 2                             |                              |                          |                          |                               |
| CHANCADORA CONICA 02             | MOTOR                                  | 2                | 4          |                |                               |                              |                          |                          |                               |
|                                  | CHANCADORA                             | 1                | 2          |                |                               |                              |                          |                          |                               |
| VENTILADOR LUBRICACION CONICA 01 | MOTOR                                  | 2                | 4          |                |                               |                              |                          |                          |                               |
| VENTILADOR LUBRICACION CONICA 02 | MOTOR                                  | 2                | 4          |                |                               |                              |                          |                          |                               |
| BOMBA DE LUBRICACION CONICA 01   | MOTOR                                  | 2                | 4          |                |                               |                              |                          |                          |                               |
|                                  | REDUCTOR                               | 4                | 8          |                |                               |                              |                          |                          |                               |
|                                  | BOMBA                                  | 1                | 2          |                |                               |                              |                          |                          |                               |
| BOMBA DE LUBRICACION CONICA 02   | MOTOR                                  | 2                | 4          |                |                               |                              |                          |                          |                               |
|                                  | REDUCTOR                               | 4                | 8          |                |                               |                              |                          |                          |                               |
|                                  | BOMBA                                  | 1                | 2          |                |                               |                              |                          |                          |                               |
| RUTA 2                           | FAJA 02                                | MOTOR            | Mensual    | 2              | 4                             | 112                          | 60                       | 240                      | 6.9                           |
|                                  |  | REDUCTOR         |            | 6              | 12                            |                              |                          |                          |                               |
|                                  | COLECTOR DE POLVOS CHANCADO SECUNDARIO | MOTOR            |            | 2              | 4                             |                              |                          |                          |                               |
|                                  | COLECTOR                               | 2                |            | 4              |                               |                              |                          |                          |                               |
|                                  | FAJA OVERLAND                          | MOTOR MAESTRO    |            | 2              | 4                             |                              |                          |                          |                               |
|                                  |  | REDUCTOR MAESTRO |            | 6              | 12                            |                              |                          |                          |                               |
|                                  |  | MOTOR ESCLAVO    |            | 2              | 4                             |                              |                          |                          |                               |
|                                  |  | REDUCTOR ESCLAVO |            | 6              | 12                            |                              |                          |                          |                               |
|                                  | OVERLAND CHUMACERAS POLEAS             | POLEA MAESTRO    |            | 2              | 4                             |                              |                          |                          |                               |
|                                  |  | POLEA ESCLAVO    |            | 2              | 4                             |                              |                          |                          |                               |
|                                  |  | POLEA INTERMEDIA |            | 2              | 4                             |                              |                          |                          |                               |
|                                  |  | POLEA DE COLA    |            | 2              | 4                             |                              |                          |                          |                               |
|                                  | FAJA 03                                | MOTOR            |            | 2              | 4                             |                              |                          |                          |                               |
|                                  |  | REDUCTOR         |            | 6              | 12                            |                              |                          |                          |                               |
|                                  | COMPRESORA GA-75 ORE BIN               | MOTOR            |            | 2              | 4                             |                              |                          |                          |                               |
|                                  |  | COMPRESOR        |            | 4              | 8                             |                              |                          |                          |                               |
| COMPRESORA SULLAIR               | MOTOR                                  | 2                | 4          |                |                               |                              |                          |                          |                               |
|                                  | COMPRESOR                              | 4                | 8          |                |                               |                              |                          |                          |                               |

Por Ultrasonido – Ruta Eléctrica

| EQUIPOS MONITOREADOS POR ANALISIS ULTRASONIDO ELECTRICO |                          |                               |            |   |                              |                          |                          |                               |
|---|--------------------------|-------------------------------|------------|---|------------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------|
|   |                          |                               |            |  |                              |                          |                          |                               |
| RUTA  | EQUIPOS                  | COMPONENTES                   | FRECUENCIA | TIEMPO EN TOMA DE DATOS (MIN)   | TOTAL EN TOMA DE DATOS (MIN) | TIEMPO EN TRASLADO (MIN) | TIEMPO EN ANALISIS (MIN) | TIEMPO TOTAL EMPLEADO (HORAS) |
| RUTA 1  | MCC Chancado Primario    | Interruptor Principal MCC-201 | Mensual    |   | 0                            |                          |                          | 0.0                           |
|   |                          | Rock Breaker                  |            |   |                              |                          |                          |                               |
|   |                          | Chancadora Primaria           |            |   |                              |                          |                          |                               |
|   |                          | Belt Feeder                   |            |   |                              |                          |                          |                               |
|   |                          | Compresor GA-200              |            |   |                              |                          |                          |                               |
|   | Transformador T-15       |                               |            |   |                              |                          |                          |                               |
|   | MCC Chancado Secundario  | Interruptor Principal MCC-202 |            |   |                              |                          |                          |                               |
|   |                          | Zaranda 1                     |            |   |                              |                          |                          |                               |
|   |                          | Zaranda 2                     |            |   |                              |                          |                          |                               |
|   |                          | Chancadora Conica 1           |            |   |                              |                          |                          |                               |
|   |                          | Chancadora Conica 2           |            |   |                              |                          |                          |                               |
|   |                          | Faja 01                       |            |   |                              |                          |                          |                               |
|   |                          | Faja 02                       |            |   |                              |                          |                          |                               |
|   |                          | Transformador T-6             |            |   |                              |                          |                          |                               |
|   |                          | Transformador T-14            |            |   |                              |                          |                          |                               |
|   |                          | Transformador T-19            |            |   |                              |                          |                          |                               |
| Transformador T-24                                      |                          |                               |            |   |                              |                          |                          |                               |
| Transformador T-25                                      |                          |                               |            |   |                              |                          |                          |                               |
| RUTA 2  | MCC Overland             | Interruptor Principal MCC-701 | Mensual    |   | 0                            |                          |                          | 0.0                           |
|   |                          | 702                           |            |   |                              |                          |                          |                               |
|   |                          | Overland Maestro              |            |   |                              |                          |                          |                               |
|   |                          | Overland Esclavo              |            |   |                              |                          |                          |                               |
|   |                          | Faja 03                       |            |   |                              |                          |                          |                               |
|   |                          | Transformador T-5             |            |   |                              |                          |                          |                               |
|   |                          | Transformador T-16            |            |   |                              |                          |                          |                               |
|   |                          | Transformador T-50 (MASTER)   |            |   |                              |                          |                          |                               |
|   |                          | Transformador T-51 (SLAVE)    |            |   |                              |                          |                          |                               |
|   |                          | Transformador T-25 (Lights)   |            |   |                              |                          |                          |                               |
|   |                          | Transformador T-26 (Lights)   |            |   |                              |                          |                          |                               |
|   |                          | Transformador T-27 (Lights)   |            |   |                              |                          |                          |                               |
|   |                          | MCC Ore Bin                   |            | Interruptor Principal MCC   |                              |                          |                          |                               |
|   | Compresora GA-75 ORE BIN |                               |            |   |                              |                          |                          |                               |
|   | MCC Leach PAD            | Compresora Sullair            |            |   |                              |                          |                          |                               |
|   |                          | Interruptor Principal MCC     |            |   |                              |                          |                          |                               |
|   |                          | Bomba Calsson 02              |            |   |                              |                          |                          |                               |
|   |                          | Bomba Calsson 03              |            |   |                              |                          |                          |                               |
|   |                          | Bomba Calsson 04              |            |   |                              |                          |                          |                               |
|   |                          | Transformador T-9             |            |   |                              |                          |                          |                               |



## Rutas de Mantenimiento Predictivo

| Rutas de Análisis Termografico       |  | Indicadores |                    |                |                  |                       |
|--------------------------------------|--|-------------|--------------------|----------------|------------------|-----------------------|
|                                      |  | Día         | Personal requerido | Hora de inicio | Duración (Horas) | Frecuencia en semanas |
| <b>Ruta 01</b>                       |  |             |                    |                |                  |                       |
| <b>Sub Estacion Principal</b>        |  |             |                    |                |                  |                       |
| <b>PATIO DE LLAVES</b>               |  |             |                    |                |                  |                       |
| SECCIONADOR DE POTENCIA              |  |             |                    |                |                  |                       |
| INTERRUPTOR DE POTENCIA              |  |             |                    |                |                  |                       |
| PARARRAYOS                           |  |             |                    |                |                  |                       |
| <b>TRANSFORMADORES PRINCIPALES</b>   |  |             |                    |                |                  |                       |
| PARARRAYOS                           |  |             |                    |                |                  |                       |
| BUSHING DE ALTA TENSION              |  |             |                    |                |                  |                       |
| RESISTENCIA PUESTA A TIERRA          |  |             |                    |                |                  |                       |
| BARRAS DE M.T.                       |  |             |                    |                |                  |                       |
| TRANSFORMADORES DE CORRIENTE         |  |             |                    |                |                  |                       |
| <b>EXTRUCTURAS DE SALIDA EN M.T.</b> |  |             |                    |                |                  |                       |
| SECCIONADOR / PARARRAYO              |  |             |                    |                |                  |                       |
| BANCO DE CONDENSADORES / FILTRO      |  |             |                    |                |                  |                       |
| <b>Ruta 03</b>                       |  |             |                    |                |                  |                       |
| <b>MCC OVERLAND</b>                  |  |             |                    |                |                  |                       |
| <b>LLEGADA</b>                       |  |             |                    |                |                  |                       |
| SECCIONADORES                        |  |             |                    |                |                  |                       |
| FILTRO DE ARMONICOS                  |  |             |                    |                |                  |                       |
| <b>TRANSFORMADORES PRINCIPALES</b>   |  |             |                    |                |                  |                       |
| SECCIONADORES DE LLEGADA T5          |  |             |                    |                |                  |                       |
| TRANSFORMADOR DE VARIADOR MASTER     |  |             |                    |                |                  |                       |
| TRANSFORMADOR DE VARIADOR SLAVE      |  |             |                    |                |                  |                       |
| <b>CUBICULOS DE M.T.</b>             |  |             |                    |                |                  |                       |
| ORE BIN CONVEYOR                     |  |             |                    |                |                  |                       |
| OVERLAND MOTOR1                      |  |             |                    |                |                  |                       |
| OVERLAND MOTOR2                      |  |             |                    |                |                  |                       |
| <b>TABLEROS DE DISTRIBUCION</b>      |  |             |                    |                |                  |                       |
| LP                                   |  |             |                    |                |                  |                       |
| TAB. EN Vdc 110 V                    |  |             |                    |                |                  |                       |
| <b>Ruta 04</b>                       |  |             |                    |                |                  |                       |
| <b>CHANCADO SECUNDARIO</b>           |  |             |                    |                |                  |                       |
| <b>TRANSFORMADORES</b>               |  |             |                    |                |                  |                       |
| SECCIONADORES DE LLEGADA T6          |  |             |                    |                |                  |                       |
| <b>CUBICULOS DE M.T.</b>             |  |             |                    |                |                  |                       |
| CHANCADORA SECUNDARIA No 1           |  |             |                    |                |                  |                       |
| CHANCADORA SECUNDARIA No 2           |  |             |                    |                |                  |                       |



# **ANEXO M**



# REPORTE DE ANALISIS VIBRACIONAL

PIERINA  
EQUIPO: **MOTOR Y CHANCADORA CONICA 1**  
RUTA: **CHANCADO SECUNDARIO**

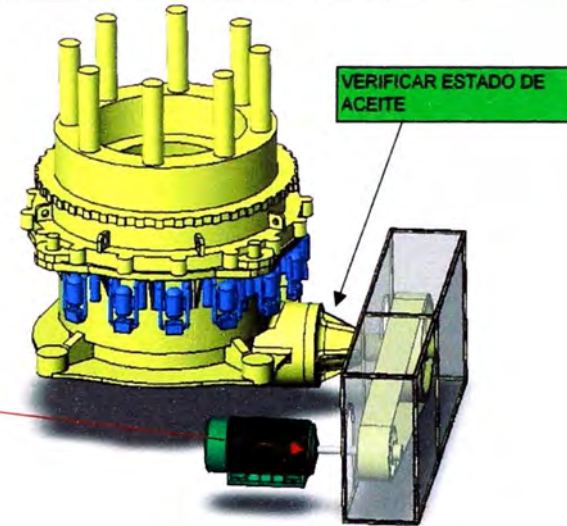
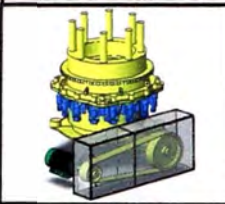
|  |                      |
|--|----------------------|
|  | Estado Critico       |
|  | Estado alerta        |
|  | Estado Satisfactorio |
|  | Estado Normal        |

FECHA DE ANALISIS: **6-Mar-08**

## CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS

EL MOTOR SE ENCUENTRA EN ESTADO SATISFACTORIO DEBIDO A QUE SE HA DETECTADO UN LEVE PROBLEMA EN RODAMIENTO (VER ESQUEMA), POSIBLEMENTE SEA POR UN LIGERO DESGASTE EN LA PISTA EXTERIOR DE ESTE COMPONENTE. SE RECOMIENDA PROGRAMAR LA LUBRICACION DE LOS RODAMIENTOS DEL MOTOR ANTES DE PROXIMO MONITOREO DE VIBRACION PARA VERIFICAR ESTADO.

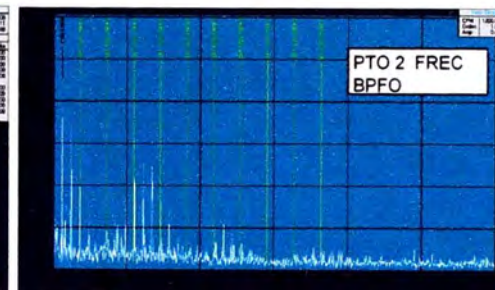
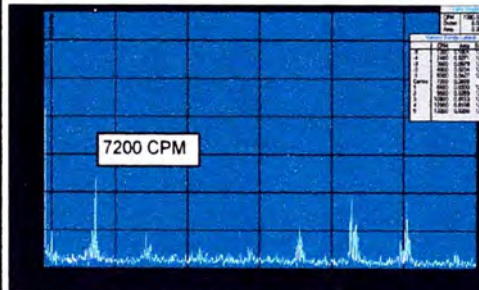
EN LA CHANCADORA LOS VALORES SE MANTIENEN ESTABLES, SE RECOMIENDA VERIFICAR EL ESTADO DEL ACEITE DE ACUERDO AL ANALISIS DE PPM, YA QUE LA CHANCADORA PRESENTA PROBLEMAS DE LUBRICACION.



LIGEROS PROBLEMAS EN EL RODAMIENTO

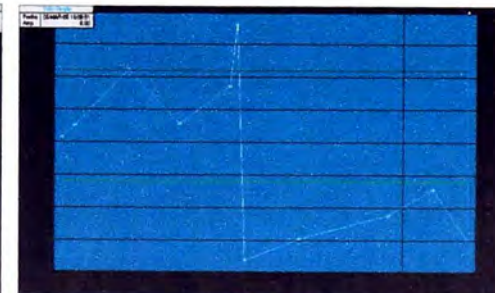
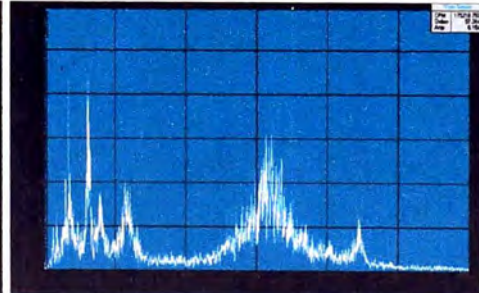
## MOTOR

VALORES DE VIBRACION SE MANTIENEN ESTABLES RESPECTO A DATOS ANTERIORES. SE DETECTA LIGEROS PICOS A 2 VECES LA FRECUENCIA DE LINEA (7200 CPM). SE DETECTA TAMBIEN INICIO DE PROBLEMAS EN RODAMIENTO A FRECUENCIA DE PISTA EXTERIOR.



## CHANCADORA

VALORES ESTABLES DE VIBRACION.  
LIGEROS PROBLEMAS EN LA LUBRICACION



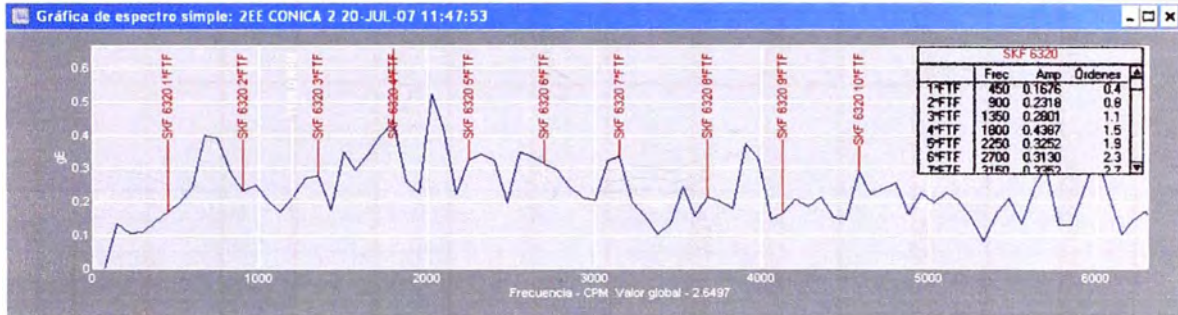
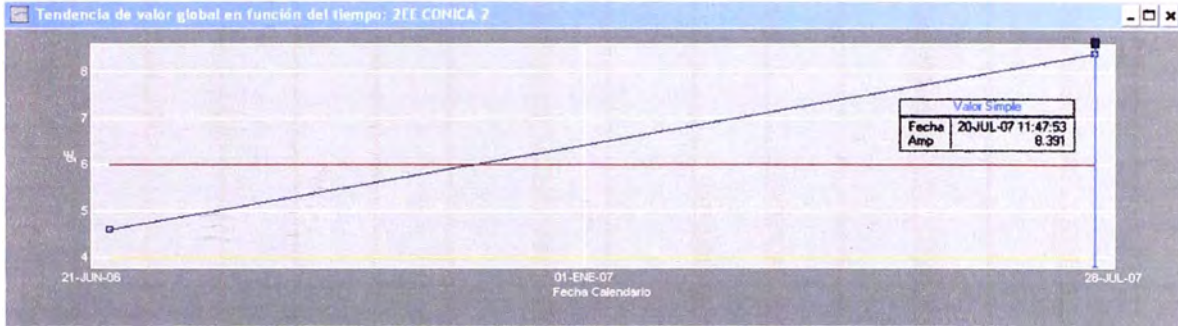


# REPORTE DE ESTADO DE MOTOR - CHANCADORA CONICA 02

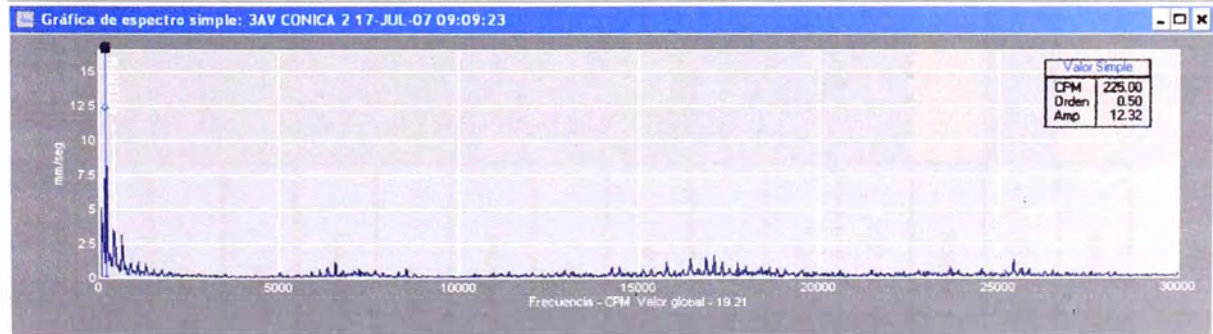
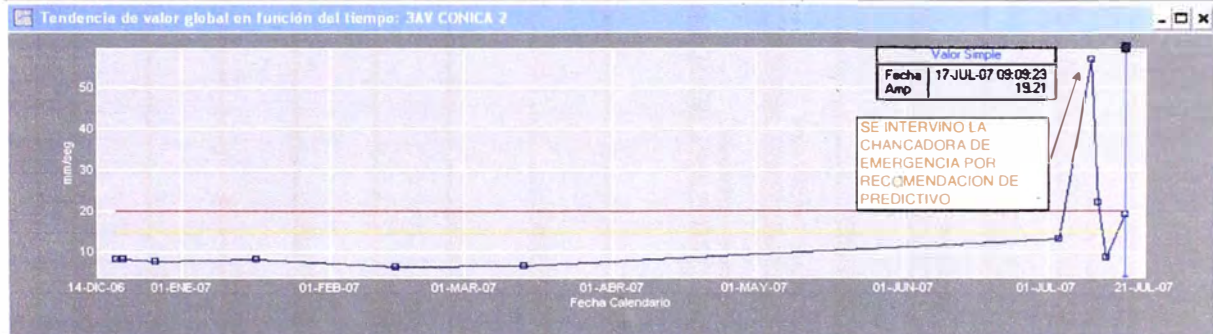
EQUIPO: **MOTOR - CHANCADORA**  
 RUTA: **SIN RUTA - MONITOREO DEBIDO A BUJES FISURADOS**  
 RESPONSABLE: **RICHARD JIMENEZ**  
 FECHA: **19/07/2007**

Estado Critico  
 Estado alerta  
 Estado Satisfactorio  
 Estado Normal

## 1.- MOTOR - VALORES EN EL PUNTO 2EE (MOTOR EN VACIO)



## 1.- CHANCADORA - VALORES EN EL PUNTO 3AV (VALORES CON CARGA)



### CONCLUSIONES:

MOTOR ESTADO DE ALERTA  
 CHANCADORA ESTADO DE ALERTA

**MOTOR:** Los picos de los valores de falla en la canstilla del rodamiento FTF en el punto 2EE del motor se incrementaron, los mismos que fueron confirmados con valores en vacío (ver gráfica). Por lo que se recomienda programar el cambio de rodamientos para éste PM del 26 de Julio.

**CHANCADORA:** El valor global en el punto 3AV se incremento hasta 21 mm/seg (incremento lineal) . Ya se encuentra programado el cambio de bujes para el PM del 26 de julio. Se recomienda continuar con el monitoreo de vibraciones interdiario hasta la intervenció del equipo.

PIERINA

FECHA DE ANALISIS: 22-JAN-2007  
 RESPONSABLE: RICHARD JIMENEZ

Estado Normal  
 Estado Satisfactorio  
 Estado alerta  
 Estado de emergencia

| RUTA           | EQUIPOS              | COMPONENTES    | ESTADO  | CONCLUSIONES  | RECOMENDACIONES  |
|----------------|----------------------|----------------|---|---|--|
| RUTA 1         | ROCK BREAKER         | MOTOR          | Normal  | NORMAL  |  |
|                |                      | BOMBA          | Normal  | NORMAL  |  |
|                | CHANCADORA GIRATORIA | MOTOR          | Normal  | NORMAL  |  |
|                |                      | CHANCADORA     | Satisfactorio   | SATISFACTORIO   |  |
|                | COMPRESORA GA-200    | MOTOR          | Normal  | NORMAL  |  |
|                |                      | COMPRESORA     | Satisfactorio   | SATISFACTORIO   |  |
|                | BELT FEEDER          | MOTOR          | Satisfactorio   | SATISFACTORIO   | SE RECOMIENDA LUBRICAR EL RODAMIENTOS DEL MOTOR LADO POLEA |
|                |                      | REDUCTOR       | Normal  | NORMAL  |  |
|                | FAJA 01              | MOTOR          | Satisfactorio   | ESTADO SATISFACTORIO, TODO EL MOTOR ESTA AFECTADO POR LA VIRACION DE LAS ZARANDA    | SE SEGUIRA MONITORENDO                                     |
|                |                      | REDUCTOR       | Satisfactorio   | ESTADO SATISFACTORIO, TODO EL REDUCTOR ESTA AFECTADO POR LA VIRACION DE LAS ZARANDA | SE SEGUIRA MONITORENDO                                     |
|                | ZARANDA 01           | MOTOR EJE SUP. | Satisfactorio   | SATISFACTORIO   |  |
|                |                      | EJE SUPERIOR   | Alerta  | ESTADO DE ALERTA , INICO DE FALLA EN CANASTILLA DE LOS RODAMIENTOS                  | SE HARA SEGUIMIENTO A LOS VALORES DE VIBRACION             |
| MOTOR EJE INF. |                      | Satisfactorio  | SATISFACTORIO   |   |  |
| EJE INFERIOR   |                      | Alerta         | ESTADO DE ALERTA , INICO DE FALLA EN CANASTILLA DEL RODAMIENTO LADO DEL MOTOR | SE HARA SEGUIMIENTO A LOS VALORES DE VIBRACION                                      |  |



# REPORTE DE ANALISIS VIBRACIONAL



PIERINA

FECHA DE ANALISIS: 22-JAN-2007


RESPONSABLE: RICHARD JIMENEZ

|  |                      |
|--|----------------------|
|  | Estado de Emergencia |
|  | Estado alerta        |
|  | Estado Satisfactorio |
|  | Estado Normal        |

| RUTA   | EQUIPOS                          | COMPONENTES    | ESTADO | CONCLUSIONES  | RECOMENDACIONES   |
|--------|----------------------------------|----------------|--------|---|---|
|        | ZARANDA 02                       | MOTOR EJE SUP. |        | NORMAL  |   |
|        |                                  | EJE SUPERIOR   |        | SATISFACTORIO   |   |
|        |                                  | MOTOR EJE INF. |        | ESTADO DE ALERTA , INICIO DE FALLA EN CANASTILLA DEL RODAMIENTO LADO POLEA                          | SE HARA SEGUIMIENTO A LOS VALORES DE VIBRACION  |
|        |                                  | EJE INFERIOR   |        | NORMAL  |   |
| RUTA 1 | CHANCADORA CONICA 01             | MOTOR          |        | ESTADO SATISFACTORIO  | LOS VALORES DE VIBRACION DISMINUYERON LUEGO DEL CAMBIO DEL RODAMIENTO DEL MOTOR LADO POLEA Y EL AJUSTE DEL BACKLASH DE LOS DIENTES DEL CONTRAEJE Y ECCENTRICA AL MAXIMO. SE SEGUIRA MONITOREANDO LOS VALORES DE VIBRACION |
|        |                                  | CHANCADORA     |        | ESTADO SATISFACTORIO  | SE SEGUIRA MONITOREANDO   |
|        | CHANCADORA CONICA 02             | MOTOR          |        | ESTADO DE ALERTA INICIO DE FALLA EN RODAMIENTOS   | SE SEGUIRA MONITOREANDO , PROGRAMAR CAMBIO EN PROXIMO PM  |
|        |                                  | CHANCADORA     |        | ESTADO SATISFACTORIO  | SE SEGUIRA MONITOREANDO   |
|        | VENTILADOR LUBRICACION CONICA 01 | MOTOR          |        |   |   |
|        | VENTILADOR LUBRICACION CONICA 02 | MOTOR          |        | NORMAL  |   |
|        | BOMBA DE LUBRICACION CONICA 01   | MOTOR          |        | ESTADO DE ALERTA  | REVISAR BASE DE MOTOR Y ALINEAR   |
|        |                                  | REDUCTOR       |        | ESTADO DE ALERTA AUMENTO DE LA VIBRACION CON RESPECTO A LAS ULTIMAS MEDICIONES DE DICIEMBRE Y ENERO | PROGRAMAR ALINEAMIENTO DEL EQUIPO COMPLETO (MOTOR-REDUCTOR-BOMBA)   |
|        |                                  | BOMBA          |        | ESTADO SATISFACTORIO  | SE SEGUIRA MONITOREANDO   |
|        | BOMBA DE LUBRICACION CONICA 02   | MOTOR          |        | ESTADO SATISFACTORIO  | SE SEGUIRA MONITOREANDO   |
|        |                                  | REDUCTOR       |        | ESTADO SATISFACTORIO  | SE SEGUIRA MONITOREANDO   |
|        |                                  | BOMBA          |        | ESTADO SATISFACTORIO  | SE SEGUIRA MONITOREANDO   |

## HISTORIAL DE 10 ULTIMOS ANALISIS

### VALORES DE PPM Y CONTEO DE PARTICULAS

|  |                   | CHANCADORA CONICA 2       |                    |                    |                    |                    |                    |                    | DIAS DE USO<br><b>223</b>      |                    | ULTIMO ANALISIS    |  |
|---|-------------------|---------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------|--|
|   |                   |                           |                    |                    |                    |                    |                    |                    | DIAS RECOMENDADOS<br><b>84</b> |                    | ESTADO EN ALERTA   |  |
|   |                   |                           |                    |                    |                    |                    |                    |                    | ESTADO EN EMERGENCIA           |                    |                    |  |
| Tipo  | Campo             | A38458                    | A38613             | A38266             | A37910             | A37506             | A37213             | A36935             | A36394                         | A36065             | A35872             |  |
|   | Fecha de muestreo | <b>9-Aug-06</b>           | 31-Jul-06          | 17-Jul-06          | 4-Jul-06           | 17-Jun-06          | 5-Jun-06           | 22-May-06          | 28-Apr-06                      | 17-Apr-06          | 10-Apr-06          |  |
|   | Producto Usado    | <b>Shell Omala OIL 68</b> | Shell Omala OIL 68 | Shell Omala OIL 68 | Shell Omala OIL 68 | Shell Omala OIL 68 | Shell Omala OIL 68 | Shell Omala OIL 68 | Shell Omala OIL 68             | Shell Omala OIL 68 | Shell Omala OIL 68 |  |
|   | Posicion          | <b>0</b>                  | 0                  | 0                  | 0                  | 0                  | 0                  | 0                  | 0                              | 0                  | 0                  |  |
|   | Accion a tomar    | <b>M</b>                  | M                  | M                  | M                  | M                  | M                  | M                  | M                              | M                  | M                  |  |
|   | Viscosidad a 100  | <b>0</b>                  | 8,79               | 8,88               | 8,76               | 8,81               | 8,76               | 8,72               | 8,78                           | 8,98               | 8,73               |  |
| ANALISIS ESPECTROGRAFICO  | Fierro ppm        | <b>42</b>                 | 10                 | 11                 | 11                 | 19                 | 15                 | 15                 | 16                             | 19                 | 24                 |  |
|   | Cromo ppm         | <b>0</b>                  | 0                  | 0                  | 0                  | 0                  | 0                  | 0                  | 0                              | 0                  | 0                  |  |
|   | Plomo (ppm)       | <b>35</b>                 | 14                 | 15                 | 13                 | 18                 | 13                 | 13                 | 11                             | 12                 | 13                 |  |
|   | Cobre ppm         | <b>84</b>                 | 32                 | 33                 | 28                 | 40                 | 30                 | 32                 | 34                             | 35                 | 40                 |  |
|   | Estaño (ppm)      | <b>11</b>                 | 3                  | 3                  | 1                  | 3                  | 3                  | 3                  | 1                              | 4                  | 3                  |  |
|   | Aluminio ppm      | <b>2</b>                  | 1                  | 0                  | 0                  | 1                  | 0                  | 0                  | 0                              | 0                  | 1                  |  |
|   | Niquel (ppm)      | <b>1</b>                  | 1                  | 1                  | 0                  | 1                  | 1                  | 1                  | 0                              | 0                  | 0                  |  |
|   | Plata (ppm)       | <b>0</b>                  | 0                  | 0                  | 0                  | 0                  | 0                  | 0                  | 0                              | 0                  | 0                  |  |
|   | Silicio ppm       | <b>2</b>                  | 1                  | 0                  | 1                  | 1                  | 1                  | 2                  | 1                              | 1                  | 3                  |  |
|   | Boro (ppm)        | <b>0</b>                  | 0                  | 0                  | 0                  | 0                  | 0                  | 0                  | 0                              | 0                  | 0                  |  |
|   | Sodio (ppm)       | <b>1</b>                  | 0                  | 0                  | 0                  | 0                  | 0                  | 0                  | 0                              | 0                  | 0                  |  |
|   | Magnesio (ppm)    | <b>0</b>                  | 0                  | 0                  | 0                  | 0                  | 0                  | 0                  | 0                              | 0                  | 0                  |  |
|   | Calcio (ppm)      | <b>6</b>                  | 3                  | 1                  | 0                  | 2                  | 0                  | 5                  | 0                              | 2                  | 2                  |  |
|   | Zinc (ppm)        | <b>5</b>                  | 5                  | 0                  | 0                  | 2                  | 0                  | 5                  | 0                              | 4                  | 5                  |  |
|   | Molibdeno (ppm)   | <b>0</b>                  | 0                  | 0                  | 0                  | 1                  | 0                  | 1                  | 0                              | 0                  | 0                  |  |
|   | Titanio (ppm)     | <b>0</b>                  | 0                  | 0                  | 0                  | 0                  | 0                  | 0                  | 0                              | 0                  | 0                  |  |
|   | Vanadio (ppm)     | <b>1</b>                  | 0                  | 0                  | 0                  | 0                  | 0                  | 1                  | 0                              | 0                  | 0                  |  |
|   | Hidrógeno (ppm)   | <b>1418</b>               | 1596               | 1628               | 1634               | 1602               | 1598               | 1627               | 1566                           | 1563               | 1594               |  |
| Carbono (ppm)   | <b>33483</b>      | 38628                     | 39132              | 39266              | 38436              | 38756              | 37311              | 35762              | 37631                          | 39396              |                    |  |
| CONTADOR DE PARTICULAS  | ISO 4406          |                           |                    |                    | 18 16 14           |                    |                    |                    |                                |                    |                    |  |
|   | 4 um ( c )        |                           |                    |                    | 224278             |                    |                    |                    |                                |                    |                    |  |
|   | 6 um ( c )        |                           |                    |                    | 54371              |                    |                    |                    |                                |                    |                    |  |
|   | 14 um ( c )       |                           |                    |                    | 14764              |                    |                    |                    |                                |                    |                    |  |
|   | 21 um ( c )       |                           |                    |                    | 5850               |                    |                    |                    |                                |                    |                    |  |
|   | 38 um ( c )       |                           |                    |                    | 678                |                    |                    |                    |                                |                    |                    |  |
|   | 70 um ( c )       |                           |                    |                    | 41                 |                    |                    |                    |                                |                    |                    |  |

**COMENTARIO:**

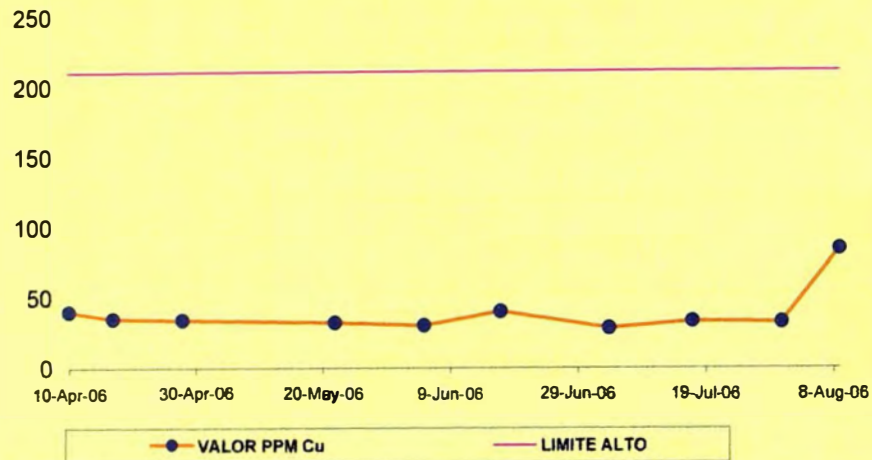
LA MUESTRA DE HOY, INDICA VISCOCIDAD 0, DEBIDO A PRESENCIA DE AGUA EN EL ACEITE, EL VALOR DE PPM DE Fe SE HA ELEVADO Y ESTA CERCA DEL LIMITE PERMISIBLE (50 PPM).

VALORES DE PPM DE Cu TAMBIEN SE HAN ELEVADO RESPECTO A ULTIMA MUESTRA.

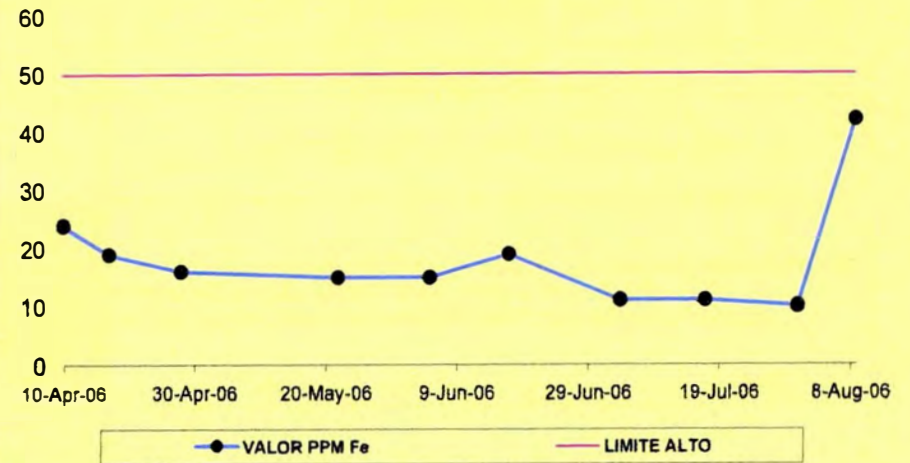
EL ACEITE SE CONSIDERA EN ESTADO DE EMERGENCIA

SE RECOMIENDA SU CAMBIO Y PROGRAMAR LA REVISION DEL SISTEMA DE SELLO DE POLVO.

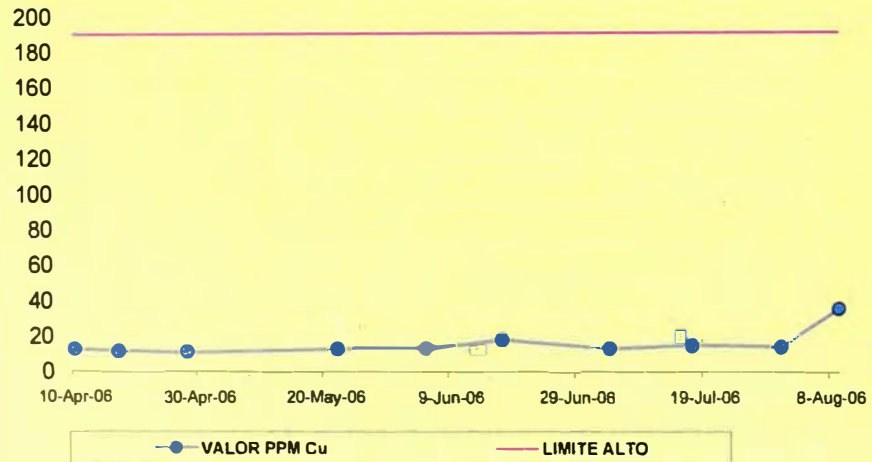
HISTORIAL DE PPM DE Cu



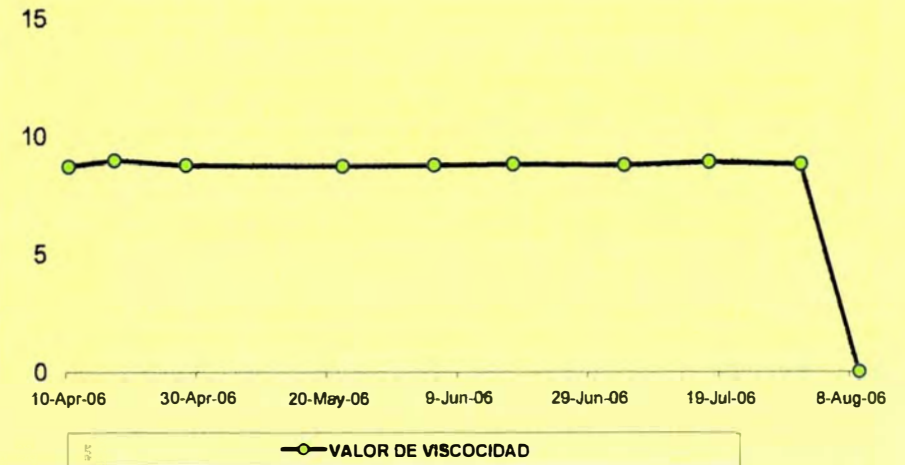
HISTORIAL DE PPM DE Fe



HISTORIAL DE PPM DE Pb



HISTORIAL DE VISCOCIDAD



**FECHA DE ANALISIS:** 13-Nov-06  
**RESPONSABLE:** AMERICO SILVA

|  |                      |
|--|----------------------|
|  | Estado Emergencia    |
|  | Estado alerta        |
|  | Estado Satisfactorio |
|  | Estado Normal        |

| RUTA                    | EQUIPOS                     | ESTADO  | OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES   |  |
|-------------------------|-----------------------------|---|---|--|
| <b>RUTA 1</b>           | <b>ROCK BREAKER</b>         |   | EL ACEITE SE CONSIDERA EN ESTADO NORMAL, VALORES DE PPM ESTABLES Y DENTRO DEL RANGO RECOMENDADO POR EL FABRICANTE. SE CONTINUARA CON MONITOREO SEGÚN FRECUENCIA ESTABLECIDA   |  |
|                         | DIAS DE USO                 |   |   |  |
|                         | DIAS RECOMENDADOS           |   |   |  |
|                         | <b>CHANCADORA PRIMARIA</b>  |   | EL ACEITE SE CONSIDERA EN ESTADO SATISFACTORIO POR PRESENTAR UNA TENDENCIA AL AUMENTO DE PPM DE PLOMO Y Fe.   |  |
|                         | DIAS DE USO                 |   |   |  |
|                         | DIAS RECOMENDADOS           |   |   |  |
|                         | <b>REDUCTOR BELT FEEDER</b> |   | VALORES DE PPM DENTRO DEL LIMITE ESTABLECIDO, PERO EL ACEITE DEL REDUCTOR DEL BELT FEEDER SE CONSIDERA EN ESTADO SATISFACTORIO POR PRESENTAR PPM DE Fe Y Zn ELEVADO. SE CONTINUARA CON EL MONITOREO SEGUN FRECUENCIA ESTABLECIDA. |  |
|                         | DIAS DE USO                 |   |   |  |
|                         | DIAS RECOMENDADOS           |   |   |  |
|                         | <b>COMPRESORA GA-200</b>    |   | EL ACEITE SE CONSIDERA EN ESTADO NORMAL. VALORES DE PPM SE ENCUENTRAN DENTRO DE LOS RANGOS ESTABLECIDOS POR EL FABRICANTE.  |  |
|                         | DIAS DE USO                 |   |   |  |
|                         | DIAS RECOMENDADOS           |   |   |  |
| <b>REDUCTOR FAJA 01</b> |                             | EL EQUIPO SE ENCUENTRA EN ESTADO NORMAL. SE MONITOREARA DE ACUERDO A FRECUENCIA ESTABLECIDA |   |  |
| DIAS DE USO             |                             |   |   |  |
| DIAS RECOMENDADOS       |                             |   |   |  |



**FECHA DE ANALISIS:** 28-Dic-06  
**RESPONSABLE:** AMERICO SILVA

|  |                      |
|--|----------------------|
|  | Estado Emergencia    |
|  | Estado alerta        |
|  | Estado Satisfactorio |
|  | Estado Normal        |

| RUTA          | EQUIPOS                      | ESTADO | OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES  |
|---------------|------------------------------|--------|--|
| <b>RUTA 2</b> | <b>LUBRICACION CONICA 01</b> |        | <p>EL ACEITE SE CONSIDERA EN ESTADO DE ALERTA DEBIDO AL AUMENTO DE Fe,Cu, ESTO DEBIDO A QUE EL 21-12-06 SE LE REALIZO UN OVERHAULL Y ESTAN ACENTANDO LOS COMPONENTES CAMBIADOS<br/>           SE DEBE DE CONSIDERR SU CAMBIO EN EL PROXIMO PM</p>  |
|               | DIAS DE USO                  | 161    |  |
|               | DIAS RECOMENDADOS            | 84     |  |
|               | <b>LUBRICACION CONICA 02</b> |        | <p>EL PPM DE Fe ,Cu Y Pb HA DISMINUIDO CON RESPECTO A LA MUESTRA ANTERIOR, EL ACEITE SE CONSIDERA EN ESTADO SATISFACTORIO.<br/>           LOS DEMÁS VALORES DE PPM SE ENCUENTRAN DENTRO DEL RANGO RECOMENDADO POR EL FABRICANTE .<br/>           SE CONTINUARÁ CON MONITOREO SEGÚN FRECUENCIA ESTABLECIDA.</p> |
|               | DIAS DE USO                  | 91     |  |
|               | DIAS RECOMENDADOS            | 84     |  |



## REPORTE DE ANALISIS ULTRASONIDO

FECHA DE TOMA DE DATOS:

1-Mar-07

RESPONSABLE:

RICHARD JIMENEZ

|                      |
|----------------------|
| Estado Emergencia    |
| Estado alerta        |
| Estado Satisfactorio |
| Estado Normal        |

| RUTA         | EQUIPOS                            | COMPONENTES    | ESTADO   | CONCLUSIONES   | RECOMENDACIONES  |
|--------------|------------------------------------|----------------|--|--|--|
| RUTA 1       | ROCK BREAKER                       | MOTOR          | NORMAL   | ESTADO NORMAL.   |  |
|              |                                    | BOMBA          | SATISFACTORIO  | ESTADO SATISFACTORIO. AUMENTO EN VALORES DE ULTRASONIDO DEL        | PROGRAMAR ANALISIS VIBRACIONAL PARA EL VIERNES.                |
|              | CHANCADORA GIRATORIA               | MOTOR          | NORMAL   | ESTADO NORMAL.   |  |
|              |                                    | CHANCADORA     | SATISFACTORIO  | ESTADO SATISFACTORIO.TENDENCIA DE INCREMENTO LINEAL                | PROGRAMAR ANALISIS VIBRACIONAL PARA EL VIERNES.                |
|              | VENTILADOR LUBRICACION CH PRIMARIA | MOTOR          | NORMAL   | ESTADO NORMAL, DISMINUCIONEN LOS VALORES GLOBALES DE ULTRANIDO.    |  |
|              | COMPRESORA GA-200                  | MOTOR          | NORMAL   | ESTADO NORMAL.   |  |
|              |                                    | COMPRESORA     | SATISFACTORIO  | ESTADO SATISFACTORIO. VALORES SE INCREMENTO LINEAL EN LA MAYORIA   | SE SEGUIRA MONITORENDO   |
|              | BELT FEEDER                        | MOTOR          | SATISFACTORIO  | ESTADO SATISFACTORIO, INCREMENTO EN VALORES DE AMBOS PUNTOS.       | SE SEGUIRA MONITORENDO   |
|              |                                    | REDUCTOR       | SATISFACTORIO  | ESTADO SATISFACTORIO, INCREMENTO EN VALORES DE LA MAYORIA DE LOS   |  |
|              |                                    | CHUMACERAS     | NORMAL   | ESTADO NORMAL.   |  |
|              | FAJA 01                            | MOTOR          | NORMAL   | ESTADO NORMAL.   |  |
|              |                                    | REDUCTOR       | NORMAL   | ESTADO NORMAL.   |  |
|              |                                    | CHUMACERAS     | SATISFACTORIO  | ESTADO SATISFACTORIO. VALORES LIGERAMENTE ELEVADOS EN LA POLEA     | SE SEGUIRA MONITORENDO   |
|              | ZARANDA 01                         | MOTOR EJE SUP. | NORMAL   | ESTADO NORMAL, DISMINUCION EN VALORES DE AMBOS PUNTOS.             |  |
|              |                                    | EJE SUPERIOR   | SATISFACTORIO  | ESTADO SATISFACTORIO. SE REPORTO EN ANALISIS VIBRACIONAL INICIO DE | SE SEGUIRA MONITORENDO   |
|              |                                    | MOTOR EJE INF. | NORMAL   | ESTADO NORMAL. DISMINUCION EN VALORES DE ULTRASONIDO               |  |
| EJE INFERIOR |                                    | SATISFACTORIO  | ESTADO SATISFACTORIO. SE REPORTO EN ANALISIS VIBRACIONAL INICIO DE | SE SEGUIRA MONITORENDO   |  |
| ZARANDA 02   | MOTOR EJE SUP.                     | NORMAL         | ESTADO NORMAL.   |  |  |
|              | EJE SUPERIOR                       | ALERTA         | ESTADO ALERTA. EN PM DEL 28-ABR SE ENCONTRO DESGASTE EN LAS        | SE RECOMIENDA IR PROGRAMANDO EL CAMBIO DE RODAMIENTOS PARA UN      |  |
|              | MOTOR EJE INF.                     | SATISFACTORIO  | ESTADO SATISFACTORIO. VALORES DE ULTRASONIDO POR DEBAJO DE LAS     | SE HARA SEGUIMIENTO A LOS VALORES DE VIBRACION EL VIERNES.         |  |
|              | EJE INFERIOR                       | NORMAL         | ESTADO NORMAL  |  |  |
| RUTA 1       | CHANCADORA CONICA 01               | MOTOR          | ALERTA   | ESTADO ALERTA. AUMENTO DE VALORES DE ULTRASONIDO, SONIDO INUSUAL   | PROGRAMAR ANALISIS VIBRACIONAL EL VIERNES.                     |
|              |                                    | CHANCADORA     | NORMAL   | ESTADO NORMAL, LOS VALORES SE ENCUENTRAN ESTABLES                  |  |
|              | CHANCADORA CONICA 02               | MOTOR          | NORMAL   | ESTADO NORMAL.   |  |
|              |                                    | CHANCADORA     | SATISFACTORIO  | ESTADO SATISFACTORIO. LIGERA DISMINUCION DEL VALOR DE              | SE SEGUIRA MONITORENDO   |
|              | BOMBA DE LUBRICACION CONICA 01     | MOTOR          | SATISFACTORIO  | ESTADO SATISFACTORIO, AUMENTO CONSIDERABLE EN VALORES DE           | SE SEGUIRA MONITORENDO   |
|              |                                    | REDUCTOR       | SATISFACTORIO  | ESTADO SATISFACTORIO   | SE RECOMENDO POR DATOS DE VIBRACION UN ALINEAMIENTO DEL EQUIPO |
|              | BOMBA DE LUBRICACION CONICA 02     | MOTOR          | NORMAL   | ESTADO NORMAL.   |  |
|              |                                    | REDUCTOR       | NORMAL   | ESTADO NORMAL.   |  |
|              |                                    | BOMBA          | NORMAL   | ESTADO NORMAL.   |  |

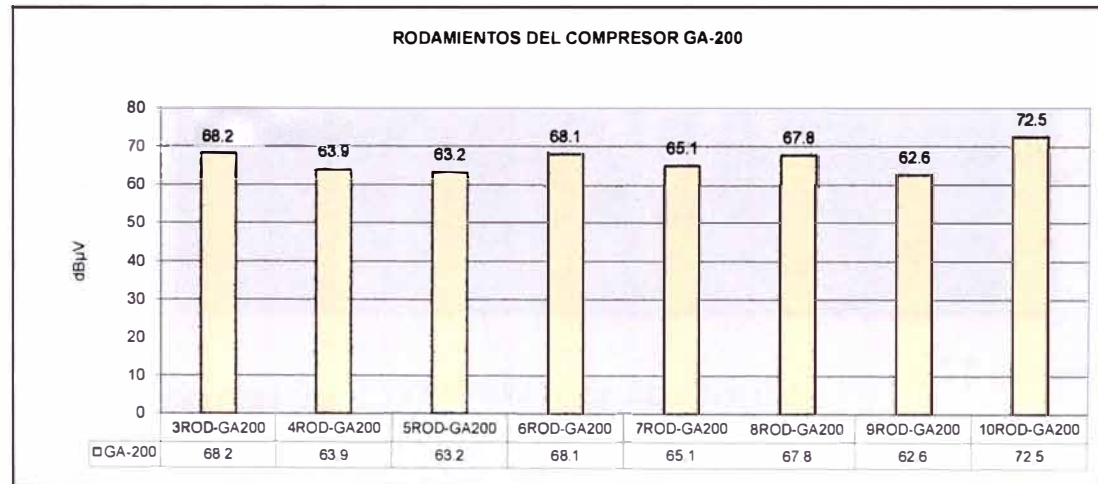
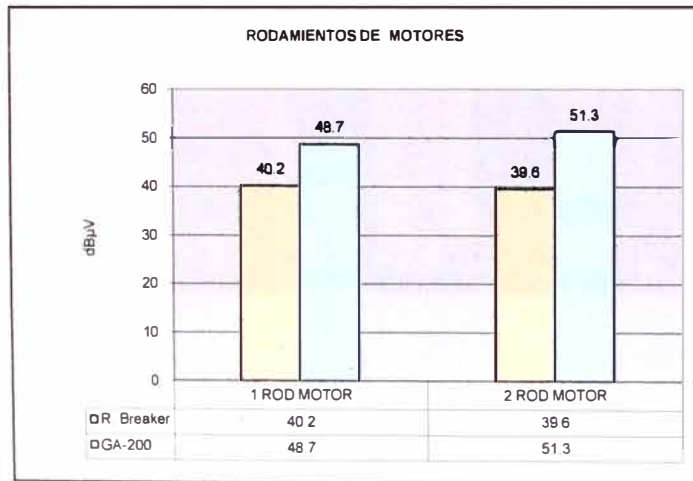
|                      |    |
|----------------------|----|
| Estado Emergencia    | 0  |
| Estado Alerta        | 2  |
| Estado Satisfactorio | 12 |
| Estado Normal        | 17 |
| TOTAL                | 31 |

## HISTORIAL DE 10 ULTIMOS ANALISIS

|                     |              | ULTRASONIDO RUTA 1<br>CHANCADO PRIMARIO                   |        |           |        |           |        |           |        |           |        | ULTIMO ANALISIS  |        |                      |  |  |
|---------------------|--------------|---|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|------------------|--------|----------------------|--|--|
|                     |              | TIPO DE SENSOR: <i>Sensor de Contacto (Contact Probe)</i> |        |           |        |           |        |           |        |           |        | ESTADO EN ALERTA |        |                      |  |  |
| Fecha de lectura    |              | 01-Mar-07   |        | 19-Feb-07 |        | 09-Feb-07 |        | 30-Ene-07 |        | 20-Ene-07 |        | 10-Ene-07        |        | ESTADO EN EMERGENCIA |  |  |
|                     |              | dBµV  | T (°C) | dBµV      | T (°C) | dBµV      | T (°C) | dBµV      | T (°C) | dBµV      | T (°C) | dBµV             | T (°C) |                      |  |  |
| Rock Breaker        | 1RODMOT-ROCK | 40.2  | 28     | 39.6      | 17     |           |        |           |        |           |        | 37.9             | 15     |                      |  |  |
|                     | 2RODMOT-ROCK | 39.8  | 34     | 37.6      | 19     |           |        |           |        |           |        | 38.2             | 21     |                      |  |  |
|                     | 3RODBOM ROCK | 50.3  | 54     | 43.9      | 27     |           |        |           |        |           |        | 45               | 35     |                      |  |  |
|                     | 4RODBOMROCK  | 42  | 56     | 46.3      | 31     |           |        |           |        |           |        | 44               | 38     |                      |  |  |
| Chancadora Primaria | 1RODMOT-CHPR | 44.2  | 25     | 49.4      | 22     |           |        |           |        |           |        | 40.8             | 16     |                      |  |  |
|                     | 2RODMOT-CHPR | 34.8  | 33     | 44.5      | 29     |           |        |           |        |           |        | 37               | 26     |                      |  |  |
|                     | 3ROD-CHAPRIM | 70.1  | 52     | 68.3      | 50     |           |        |           |        |           |        | 58.2             | 46     |                      |  |  |
|                     | 1MOTVENTPRIM | 35  | 24     | 37.3      | 20     |           |        |           |        |           |        |                  |        |                      |  |  |
|                     | 2MOTVENTPRIM | 32.8  | 24     | 42        | 20     |           |        |           |        |           |        |                  |        |                      |  |  |
| Compresora GA-200   | 1RODMOTGA200 | 48.7  | 37     | 52.1      | 34     | 50.4      | 39     | 49.9      | 39     |           |        | 51               | 43     |                      |  |  |
|                     | 2RODMOTGA200 | 51.3  | 52     | 55.5      | 49     | 53.5      | 61     | 56.2      | 55     |           |        | 53.5             | 55     |                      |  |  |
|                     | 3ROD-GA200   | 68.2  | 48     | 65.8      | 50     |           |        | 62.1      | 57     |           |        | 60               | 57     |                      |  |  |
|                     | 4ROD-GA200   | 63.9  | 63     | 67.6      | 60     |           |        | 59.9      |        |           |        | 60.1             | 69     |                      |  |  |
|                     | 5ROD-GA200   | 63.2  | 49     | 68        | 52     |           |        | 63.5      |        |           |        | 61.5             | 59     |                      |  |  |
|                     | 6ROD-GA200   | 68.1  | 67     | 67.6      | 64     |           |        | 62.1      |        |           |        | 65.4             | 77     |                      |  |  |
|                     | 7ROD-GA200   | 65.1  | 53     | 65.7      | 54     |           |        | 61.2      |        |           |        | 64.4             | 71     |                      |  |  |
|                     | 8ROD-GA200   | 67.8  | 68     | 59.9      | 64     |           |        | 63.4      |        |           |        | 66.5             | 70     |                      |  |  |
|                     | 9ROD-GA200   | 62.6  | 56     | 58.9      | 55     |           |        | 64.3      |        |           |        | 63.1             | 71     |                      |  |  |
|                     | 10ROD-GA200  | 72.5  | 71     | 63.5      | 67     |           |        | 62.6      |        |           |        | 65.5             | 71     |                      |  |  |

### VALORES DE ULTRASONIDO MAXIMOS

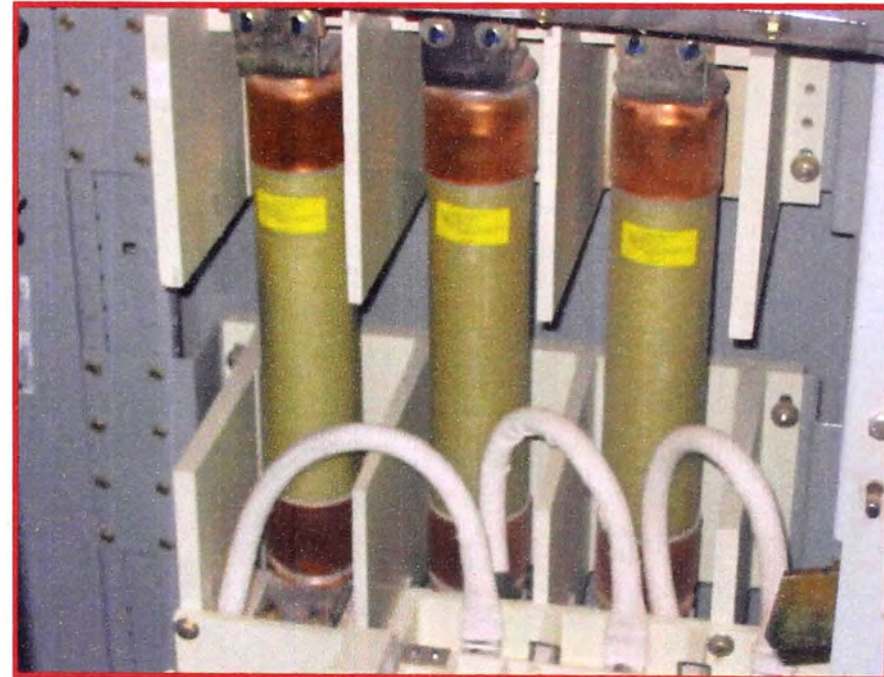
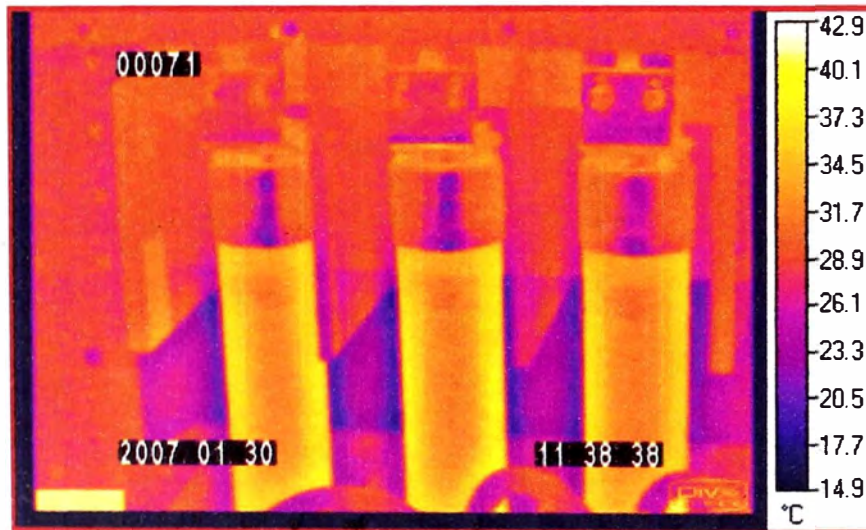
ULTIMA FECHA DE ANALISIS      01-Mar-07





## REPORTE DE INSPECCION TERMOGRAFICA

**EMPRESA :** MINERA BARRICK MISQUICHILCA  
**LUGAR :** MINA PIERINA  
**INSPECCIÓN:** AREA CHANCADO PRIMARIO MCC CIRCUITO 1RIO  
**COMPONENTE:** TABLERO CHANCADORA PRIMARIA  
**FECHA:** 30/01/07  
**TERMOGRAFO:** PIER BALLON COLOMA C. I. T 22872



### DIAGNOSTICO:

TEMPERATURA NORMAL EN TABLERO, CON UNA DIFERENCIA EN TEMPERATURA DE 2.0°C, ENTRE FASES.

### RECOMENDACIONES:

REALIZAR INSPECCIONES TERMOGRAFICAS PERIODICAS.

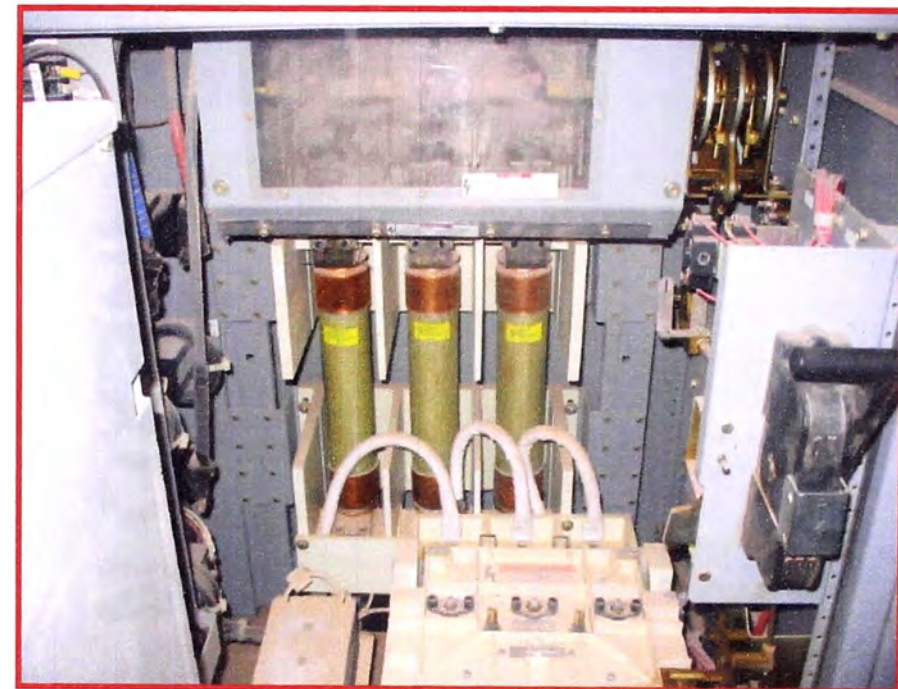
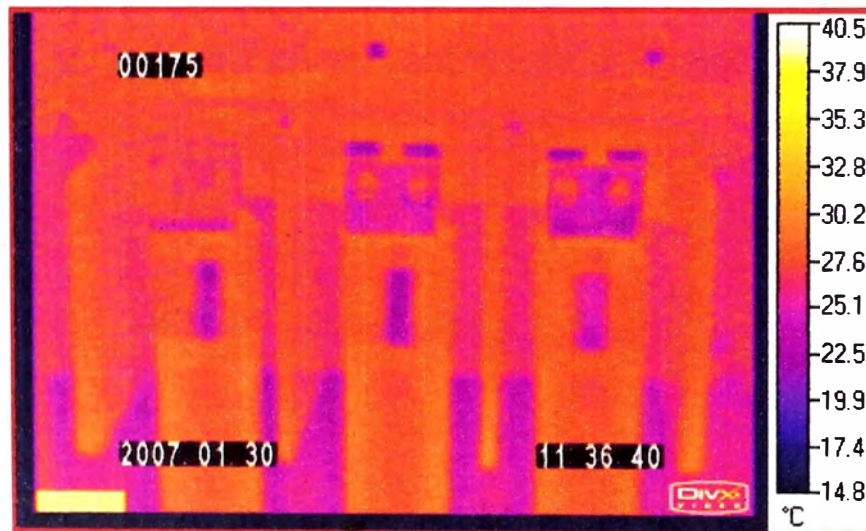
### TEMPERATURA REGISTRADA:

|                |        |
|----------------|--------|
| TEMP. AMBIENTE | 10.0°C |
| TEMP. MÍNIMA   | 37.0°C |
| TEMP. MÁXIMA   | 39.0°C |



## REPORTE DE INSPECCION TERMOGRAFICA

**EMPRESA :** MINERA BARRICK MISQUICHILCA  
**LUGAR :** MINA PIERINA  
**INSPECCIÓN:** AREA CHANCADO PRIMARIO MCC CIRCUITO 1RIO  
**COMPONENTE:** TABLERO COMPRESORA GA-200  
**FECHA:** 30/01/07  
**TERMOGRAFO:** PIER BALLON COLOMA C. I. T 22872



### DIAGNOSTICO:

TEMPERATURA NORMAL EN TABLERO, CON UNA DIFERENCIA EN TEMPERATURA DE 1.0°C, ENTRE FASES.

### RECOMENDACIONES:

REALIZAR INSPECCIONES TERMOGRAFICAS PERIODICAS.

### TEMPERATURA REGISTRADA:

|                |         |
|----------------|---------|
| TEMP. AMBIENTE | 10.0° C |
| TEMP. MÍNIMA   | 28.0° C |
| TEMP. MÁXIMA   | 29.0 C  |

# **ANEXO N**

| COSTO DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO (MPd) |  |   |            |            |                    |      |               |        |           |                      |                 |                   |
|--|--|---|------------|------------|--------------------|------|---------------|--------|-----------|----------------------|-----------------|-------------------|
| FAJA TRANSPORTADORA                      |  |   |            |            |                    |      |               |        |           |                      |                 |                   |
| ITEM                                     | COMPONENTES O SUBSISTEMAS  | ACTIVIDADES                                   | INTENSIDAD | FRECUENCIA | TIEMPO EJEC. (min) | H-H  | COSTO (US \$) |        |           |                      |                 | TOTAL X AÑO (MPd) |
|  |  |   |            |            |                    |      | Material*     | M.O.   | Hs. Prod. | Sub Total            | Anual           |                   |
| 1  | Sistema de Transmisión:<br>Motor Electrico: 100HP, 1780 rpm<br>Reductor. relación de Transmisión 70.45 | 1.1 Medición Vibracional de Motor             | OPERACIÓN  | mensual    | 15                 | 0.50 | \$7.23        | \$1.75 | 0         | \$8.98               | \$107.81        | \$107.81          |
|  |  | 1.2 Medición Vibracional de Reductor          | OPERACIÓN  | mensual    | 25                 | 0.83 | \$7.23        | \$2.92 | 0         | \$10.15              | \$121.81        | \$121.81          |
|  |  | 1.3 Ultrasonido en Rodamientos del Motor      | OPERACIÓN  | quincenal  | 20                 | 0.67 | \$1.08        | \$2.33 | 0         | \$3.41               | \$81.86         | \$81.86           |
|  |  | 1.4 Ultrasonido en reductor                   | OPERACIÓN  | quincenal  | 25                 | 0.83 | \$1.08        | \$2.92 | 0         | \$3.99               | \$95.86         | \$95.86           |
|  |  | 1.3 Medición de Temperaturas                  | OPERACIÓN  | quincenal  | 5                  | 0.17 | \$0.12        | \$0.58 | 0         | \$0.70               | \$16.83         | \$16.83           |
|  |  | 1.4 Muestreo y analisis de Aceite en Reductor | OPERACIÓN  | mensual    | 15                 | 0.50 | \$11.00       | \$1.75 | 0         | \$12.75              | \$153.00        | \$153.00          |
| 2  | Faja Transportadora:<br>Chumaceras en Poleas.  | 2.1 Ultrasonido en Chumaceras                 | OPERACIÓN  | quincenal  | 10                 | 0.33 | \$1.08        | \$1.17 | 0         | \$2.24               | \$53.86         | \$53.86           |
|  |  | 2.2 Medición de Temperaturas en chumaceras    | OPERACIÓN  | quincenal  | 10                 | 0.33 | \$0.12        | \$1.17 | 0         | \$1.28               | \$30.83         | \$30.83           |
|  |  |   |            |            |                    |      |               |        |           | <b>TOTAL (US \$)</b> | <b>\$661.88</b> |                   |

\* Equipo e instrumental usado por alquiler o amortización de uso  
Costo: HH = 3.50 \$/hora

**TOTAL X 5 fajas transportadoras \$3,309.28**

| COSTO DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO (MPd) |  |  |            |            |                    |      |               |        |           |                      |                 |                   |
|--|--|--|------------|------------|--------------------|------|---------------|--------|-----------|----------------------|-----------------|-------------------|
| CHANCADORA PRIMARIA                      |  |  |            |            |                    |      |               |        |           |                      |                 |                   |
| ITEM                                     | COMPONENTES O SUBSISTEMAS                                  | ACTIVIDADES                                  | INTENSIDAD | FRECUENCIA | TIEMPO EJEC. (min) | H-H  | COSTO (US \$) |        |           |                      |                 | TOTAL X AÑO (MPd) |
|  |  |  |            |            |                    |      | Material*     | M.O.   | Hs. Prod. | Sub Total            | Anual           |                   |
| 1  | Sistema de Transmisión:<br>Motor Electrico: 500HP, 593 rpm | 1.1 Medición Vibracional de Motor            | OPERACIÓN  | mensual    | 30                 | 1.00 | \$7.23        | \$3.50 | 0         | \$10.73              | \$128.81        | \$128.81          |
|  |  | 1.2 Ultrasonido a rodamientos del motor      | OPERACIÓN  | quincenal  | 20                 | 0.67 | \$1.08        | \$2.33 | 0         | \$3.41               | \$81.86         | \$81.86           |
|  |  | 1.3 Medición de Temperaturas                 | OPERACIÓN  | quincenal  | 5                  | 0.17 | \$0.12        | \$0.58 | 0         | \$0.70               | \$16.83         | \$16.83           |
| 2  | Chancadora: transmisión contraeje y excéntrica             | 2.1 Medición Vibracional de Rodamiento de co | OPERACIÓN  | mensual    | 10                 | 0.33 | \$7.23        | \$1.17 | 0         | \$8.40               | \$100.81        | \$100.81          |
|  |  | 2.2 Medición de Temperaturas                 | OPERACIÓN  | quincenal  | 10                 | 0.33 | \$0.12        | \$1.17 | 0         | \$1.28               | \$30.83         | \$30.83           |
| 3  | Sistema de Lubricación:<br>Tanque de Aceite Omala 68       | 3.1 Analisis de aceite                       | OPERACIÓN  | quincenal  | 10                 | 0.33 | \$11.00       | \$1.17 | 0         | \$12.17              | \$292.00        | \$292.00          |
|  |  |  |            |            |                    |      |               |        |           | <b>TOTAL (US \$)</b> | <b>\$651.13</b> |                   |

\* Equipo e instrumental usado por alquiler o amortización de uso  
Costo: HH = 3.50 \$/hora

| COSTO DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO (MPd) |   |  |            |            |                    |      |               |        |           |                      |                 |                   |
|--|---|--|------------|------------|--------------------|------|---------------|--------|-----------|----------------------|-----------------|-------------------|
| CHANCADORAS CÓNICAS                      |   |  |            |            |                    |      |               |        |           |                      |                 |                   |
| ITEM                                     | COMPONENTES O SUBSISTEMAS                                   | ACTIVIDADES                                      | INTENSIDAD | FRECUENCIA | TIEMPO EJEC. (min) | H-H  | COSTO (US \$) |        |           |                      |                 | TOTAL X AÑO (MPd) |
|  |   |  |            |            |                    |      | Material*     | M.O.   | Hs. Prod. | Sub Total            | Anual           |                   |
| 1  | Sistema de Transmisión:<br>Motor Electrico: 400HP, 1184 rpm | 1.1 Medición Vibracional de Motor                | OPERACIÓN  | mensual    | 30                 | 1.00 | \$7.23        | \$3.50 | 0         | \$10.73              | \$128.81        | \$128.81          |
|  |   | 1.2 Ultrasonido a rodamientos del motor          | OPERACIÓN  | quincenal  | 20                 | 0.67 | \$1.08        | \$2.33 | 0         | \$3.41               | \$81.86         | \$81.86           |
|  |   | 1.3 Medición de Temperaturas                     | OPERACIÓN  | quincenal  | 5                  | 0.17 | \$0.12        | \$0.58 | 0         | \$0.70               | \$16.83         | \$16.83           |
| 2  | Chancadora: transmisión contraeje y excéntrica              | 2.1 Medición Vibracional de contraeje            | OPERACIÓN  | mensual    | 10                 | 0.33 | \$7.23        | \$1.17 | 0         | \$8.40               | \$100.81        | \$100.81          |
|  |   | 2.2 Medición de Temperaturas                     | OPERACIÓN  | quincenal  | 10                 | 0.33 | \$0.12        | \$1.17 | 0         | \$1.28               | \$30.83         | \$30.83           |
| 3  | Sistema de Lubricación: Tanque de Aceite Omala 68. Bomba de | 3.1 Analisis de aceite                           | OPERACIÓN  | quincenal  | 10                 | 0.33 | \$11.00       | \$1.17 | 0         | \$12.17              | \$292.00        | \$292.00          |
|  |   | 3.2 Analisis vibracional de Motor, reductor y bc | OPERACIÓN  | mensual    | 30                 | 1.00 | \$7.23        | \$3.50 | 0         | \$10.73              | \$128.81        | \$128.81          |
| 4  | Sistema de Refrigeración de Aceite: Motor de Radiador.      | 3.2 Analisis vibracional de Motor                | OPERACIÓN  | mensual    | 30                 | 1.00 | \$7.23        | \$3.50 | 0         | \$10.73              | \$128.81        | \$128.81          |
|  |   |  |            |            |                    |      |               |        |           | <b>TOTAL (US \$)</b> | <b>\$908.74</b> |                   |

\* Equipo e instrumental usado por alquiler o amortización de uso  
Costo: HH = 3.50 \$/hora

**TOTAL X 2 CHANCADORAS \$1,817.48**

|  |                    |
|--|--------------------|
| SUBTOTAL COSTO DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO         | \$5,777.91         |
| COSTO POR MONITOREOS TERMOGRAFICOS                 | \$3,600.00         |
| COSTO POR CÁLCULO DE MPD EN ZARANDAS Y COMPRESORAS | \$3,617.32         |
| <b>TOTAL DE COSTO DE MPD</b>                       | <b>\$12,995.23</b> |