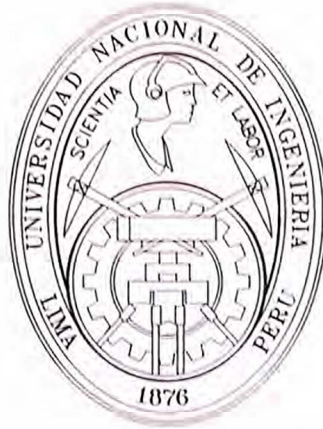


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



**REDUCCION DE FALLAS MECANICAS EN MOLINO
RODMILL 9" X 13" POR ANALISIS VIBRACIONAL**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE :

INGENIERO MECANICO

GIOVANNI ORLANDO LUNA RAMIREZ

PROMOCION 1995 - II

LIMA - PERU

2010

Índice

PRÓLOGO	1
CAPÍTULO 1	3
1. Introducción	3
1.1. Antecedentes	3
1.2. Justificación	4
1.3. Objetivos	4
1.4. Alcances	5
1.5. Limitaciones	6
CAPÍTULO 2	7
2. Marco Teórico	7
2.1. Mantenimiento Predictivo	7
2.1.1. Definición	7
2.1.2. Beneficios	7
2.2. Fundamentos de Vibraciones Mecánicas	8
2.2.1. La Naturaleza Física de las Vibraciones	8
2.2.2. Movimiento Armónico Simple	9
2.2.3. Principio de la Transformada de Fourier	12
2.2.4. Unidades de Medición	13
2.2.4.1. Unidades para el movimiento y fuerzas	13
2.2.4.2. Unidades para la amplitud del movimiento vibratorio	14
2.2.5. Estándares de Vibración	14
2.3. Técnicas de análisis vibracional	15
2.3.1. Nivel de vibración total	15
2.3.2. Análisis espectral FFT	15
2.3.3. Análisis de la Forma de onda	16
2.3.4. Análisis de la envolvente de aceleración	16

2.4.	Espectros de Vibración Típicos en Molinos con problemas mecánicos	17
2.4.1.	Desalineamiento Angular	17
2.4.2.	Desalineamiento Paralelo	17
2.4.3.	Espectro de Fallas por Holgura	18
2.4.4.	Espectro de Fallas por Soltura	18
2.4.5.	Eje Doblado o Pandeado	19
2.4.6.	Desgaste en diente	20
2.4.7.	Sobrecarga en engranaje	20
2.4.8.	Excentricidad o backlash	21
2.4.9.	Falla en Pista Interna de Rodamiento	22
2.4.10.	Falla en Pista Externa de Rodamiento	23
2.4.11.	Falla en Elemento Rodante de Rodamiento	24
2.4.12.	Falla en Canastilla de Rodamiento	24
CAPÍTULO 3		26
3. Reducción de Fallas Mecánicas en un Molino de Barras usando Análisis Vibracional		26
3.1.	Planteamiento del Problema	26
3.1.1.	Variable Independiente	26
3.1.2.	Variables Dependientes	26
3.1.3.	Datos Técnicos de los Componentes y de los Sistemas Principales del molino	28
3.1.4.	Datos Técnicos de Operación del molino	29
3.1.5.	Datos Técnicos de los Tipos de Mantenimiento que se aplicaban al molino	30
3.1.6.	Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF)	30
3.1.7.	Indicadores de disponibilidad y de confiabilidad que tenía el molino antes de las acciones correctivas	31
3.2.	Desarrollo del problema	32

3.2.1.	Análisis Pareto para identificar fallas más significativas	32
3.2.2.	Identificación de puntos de medición en el molino para monitoreo y diagnóstico predictivo	34
3.2.3.	Establecimiento de niveles de alarma de vibración global para el molino	36
3.2.4.	Establecimiento de programa y frecuencia de monitoreo del molino	38
3.2.5.	Identificación de fallas por análisis de espectros en mediciones que superaron los niveles de alarma	38
3.2.6.	Análisis de espectros luego de acciones correctivas Recomendadas	67
3.3.	Justificación de Costos y Ahorros	85
3.3.1.	Cálculo de ahorros en costos de mantenimiento y en lucro cesante por reducción de fallas intempestivas	85
3.3.2.	Nuevos indicadores de confiabilidad y de disponibilidad	87
	Conclusiones	88
	Bibliografía	90
	Anexos	92

PROLOGO

El presente trabajo se desarrolló en las instalaciones de la Compañía Minera Volcan, Unidad Económica Administrativa de Cerro de Pasco, específicamente en la Planta Concentradora Paragsha, la cual estaba presentando altos costos de reparación y de lucro cesante por fallas reiterativas en uno de sus molinos principales. Se logró eliminar las fallas imprevistas y los consecuentes costos de reparación y de lucro cesante mediante la implementación del Mantenimiento Predictivo a través de su técnica de Análisis Vibracional. Mediante esta técnica se logró detectar las fallas potenciales antes de que se produzcan, haciendo la planificación del mantenimiento con el suficiente tiempo de anticipación.

Desarrollamos el Informe considerando los siguientes capítulos:

Capítulo 1, Introducción, resumimos los antecedentes, justificación, objetivos, alcances, y limitaciones del desarrollo del presente trabajo.

Capítulo 2, Marco Teórico, definimos el mantenimiento predictivo, sus beneficios, los fundamentos de las vibraciones mecánicas, el principio de la

transformada de Fourier, así como las técnicas de análisis vibracional existentes. Asimismo revisaremos los espectros típicos de vibración que se presentan por problemas mecánicos, los cuales nos ayudarán a identificar las fallas que se presentan en el molino, materia del presente trabajo.

Capítulo 3, Identificación y Solución del problema. Detallamos los problemas mecánicos que se presentaron en el molino, explicamos y calculamos las consecuencias de su presencia. Aplicamos la técnica del Análisis Vibracional para solucionar y eliminar estos problemas. Iniciamos con la identificación de los puntos de medición, seguimos con el establecimiento de las tolerancias o valores límites, realizamos diagnóstico identificando las fallas, y finalmente aplicamos las acciones correctivas para eliminarlas. Luego se verifica la eliminación de estas fallas por la realización de nuevos monitoreos vibracionales. Al final del capítulo hacemos un análisis económico de lo que se logró ahorrar por la detección y eliminación temprana de estas fallas.

Conclusiones y Recomendaciones, donde presentamos cómo cambió la forma de mantener en la Planta Paragsha de Volcan Compañía Minera, siendo antes del tipo reactivo al tipo Predictivo, anticipándose a las fallas mediante la aplicación de la técnica del Análisis Vibracional.

Agradecemos al **Doctor Ing. Alberto Coronado** por su orientación en el desarrollo de este Informe.

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1. ANTECEDENTES

Históricamente el mantenimiento en la Planta Concentradora Paragsha, ubicada a 4,500m de altura en pleno centro de la ciudad de Cerro de Pasco, ha sido basado fundamentalmente en el mantenimiento correctivo reactivo, es decir se esperaba a que el (los) equipo (s) comenzaran a dar signos visibles de problemas mecánicos o eléctricos para tomar acción. Esto debido a que se contaban con líneas de alternas de stand by que permitían parar los equipos sin afectar la producción.

Actualmente la situación ha cambiado, el volumen de tratamiento de mineral ha aumentado utilizando principalmente estas líneas antes de stand by, haciendo que cualquier parada de molino primario (rodmill) afecte el volumen de producción.

Se desea evitar la falla intempestiva de estos molinos rodmill, a través de la detección oportuna por análisis vibracional de los problemas mecánicos que pudiera presentar y de esta manera evitar asimismo los altos costos por reparación/reemplazo de componentes y las pérdidas económicas por lucro cesante.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Muchas de estas paradas intempestivas generan consecuencias catastróficas de carácter económico y hasta a veces fatales pues pueden ocasionar muertes de los operadores, mecánicos que se encuentren en el momento del accidente.

Desde el punto de vista económico, pueden dañar componentes mayores e implicar trabajos de mano de obra especializada, ambos de alto costo, lo que interesa en especial evitar.

Es en esta coyuntura que el monitoreo y análisis predictivo vibracional cobra una enorme importancia, pues tiene la vital misión de detectar las fallas potenciales inminentes y lo que es más difícil aún debe acercarse lo más posible a encontrar el momento oportuno en que deben intervenir los equipos para corregir los problemas existentes. Asimismo la aplicación del mantenimiento predictivo en su técnica de análisis vibracional, nos permitirá optimizar las frecuencias de intervención para mantenimiento preventivo, al conocer con mayor exactitud el comportamiento específico de desgaste de cada equipo.

1.3. OBJETIVOS

El presente trabajo tiene por objetivo principal lograr una reducción en las paradas intempestivas del Molino Rodmill 9'x12' de la Planta Concentradora Paragsha a través de la implementación efectiva del Mantenimiento Predictivo específicamente con la técnica del Análisis Vibracional.

Con esta reducción de fallas, lograremos también una reducción en los costos de

mantenimiento y en las pérdidas por lucro cesante, ya que utilizaremos menos recursos (repuestos, mano de obra) y será más productivo el equipo.

1.4. ALCANCES

Para el logro de los objetivos planteados se hará uso del mantenimiento predictivo en su técnica de análisis vibracional. No se considerará la aplicación de otras técnicas como termografía, ultrasonido, END o análisis de aceite. En este sentido haremos uso de un colector/analizador de vibraciones que permitirá graficar los espectros de vibración que representarán las amplitudes de vibración en función a las frecuencias rotativas. Estos espectros son calculados y graficados automáticamente por el analizador por aplicación directa de la serie matemática de Fourier.

Para medir el logro de nuestros objetivos, implementaremos indicadores de gestión, como el 1) Indicador de Tiempo Promedio entre Reparaciones (MTBR), que se calcula a través de las divisiones entre las Horas Trabajadas y el Número de Paradas ocurridas en el periodo de análisis. 2) Indicador de Tiempo Promedio por Reparaciones (MTTR) que se calcula a través de la división entre la suma del tiempo de todas las paradas entre el número de paradas ocurridas en el periodo de análisis.

En esta planta también se realiza mantenimiento preventivo y aunque no está dentro del alcance de este trabajo, podemos intuir que es técnicamente limitado. Ello se debe a la falta de: personal técnico calificado, de herramientas y principalmente al hecho de que en la planta Paragsha no se tienen líneas de stand by disponibles, Lo que se tiene son líneas alternas o de emergencia que no podemos llamar de stand by, pues cuando se usan estas líneas alternas baja el volumen de producción.

1.5. LIMITACIONES

El mantenimiento predictivo comprende una serie de técnicas que se complementan entre sí, y que ayudan a diagnosticar con mayor precisión la condición de la maquinaria. El presente trabajo sólo está centrado en el análisis vibracional, y está por lo tanto en este sentido, limitado a evaluar los beneficios por la aplicación simultánea de otras técnicas predictivas como termografía, ultrasonido, análisis de aceite, etc; que en definitiva es lo más recomendable cuando se requiere conocer con mayor certeza la condición de los equipos.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 MANTENIMIENTO PREDICTIVO

2.1.1 Definición

El Mantenimiento Predictivo es un proceso que involucra una serie de técnicas de diagnóstico destinadas a evaluar la condición de una máquina con el objetivo de detectar una eventual falla y anticiparse de esta forma a la ocurrencia de ésta, evitando incurrir en gastos extra derivados de una parada no planificada.

2.1.2 Beneficios

La aplicación del mantenimiento predictivo genera múltiples beneficios, entre los más importantes tenemos:

- ✓ Es posible lograr ahorros de millones de dólares por la disminución de paradas de Planta
- ✓ Es una técnica que permite detectar posibles errores de diseño mecánico
- ✓ Ayuda a establecer la causa de fallas crónicas y de mal

funcionamiento

- ✓ Detecta y previene fallas en las máquinas
- ✓ Permite obtener la máxima vida útil de los componentes de la máquina (rodamientos, engranajes, rotor, álabes, etc.)
- ✓ Reduce las paradas imprevistas en las máquinas
- ✓ Reduce las pérdidas de producción
- ✓ Reduce los costos de mantenimiento, evitando costosas reparaciones
- ✓ Permite optimizar los intervalos de mantenimiento preventivo
- ✓ Aumenta la confiabilidad y la disponibilidad de las máquinas
- ✓ Ayuda a determinar si la máquina está en condición de continuar en servicio

2.2 FUNDAMENTOS DE VIBRACIONES MECÁNICAS

2.2.1 La Naturaleza Física de las Vibraciones

Las máquinas vibran en respuesta a las fuerzas excitadoras. Estas fuerzas excitadoras pueden ser originadas por causas como soldadura, desbalance, incorrecto juego entre dientes, desalineamiento, etc.

La magnitud de la vibración depende de:

- ✓ La fuerza
- ✓ La Masa
- ✓ La velocidad
- ✓ La rigidez, depende de la elasticidad de la compresión de los materiales del sistema y es expresado en fuerza por unidad de

deflexión (lb/pulg, Kg/cm).

- ✓ El amortiguamiento, es la capacidad de un sistema para disipar la energía vibratoria, el amortiguamiento es proporcional al desplazamiento o a la velocidad en el caso de estructuras

2.2.2 Movimiento Armónico Simple

La base principal de las señales de vibración en el dominio del tiempo son las ondas sinusoidales. Estas son las más simples y son la representación de las oscilaciones puras.

Una oscilación pura puede ser representada físicamente con el siguiente experimento: Imagínese una masa suspendida de un resorte como el de la figura 2.1. Si esta masa es soltada desde una distancia X_0 en condiciones ideales, se efectuará un movimiento armónico simple que tendrá una amplitud "A". Si ahora a la masa vibrante la pintamos de manera que pueda marcar su posición y colocamos un papel detrás de ella que tenga un movimiento con velocidad constante, se formará una gráfica parecida a la figura 2.2.

El tiempo que tarda la masa para ir y regresar al punto X_0 siempre es constante. Este tiempo recibe el nombre de período de oscilación (medido generalmente en seg o msec) y significa que el resorte completó un ciclo.

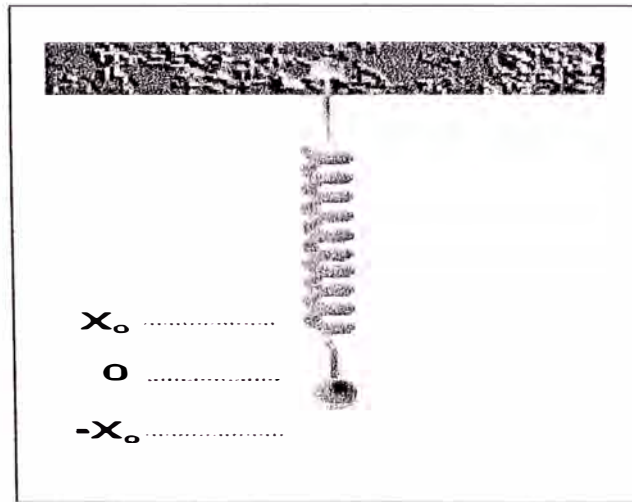


Figura 2.1

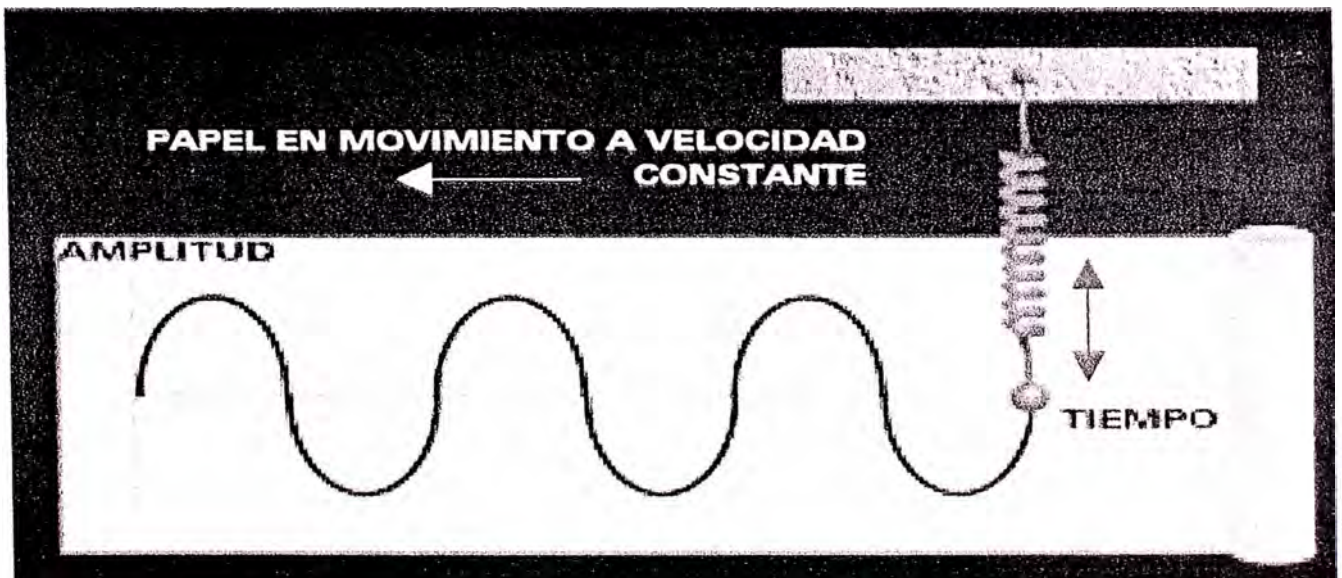


Figura 2.2

El recíproco del período es la frecuencia (es decir $F=1/P$) la cual generalmente es dada en Hz (Ciclos por segundo) o también Ciclos por minuto (CPM). Estos conceptos pueden verse más claramente en la figura 2.3. De esta onda sinusoidal también es importante definir la amplitud y la fase.

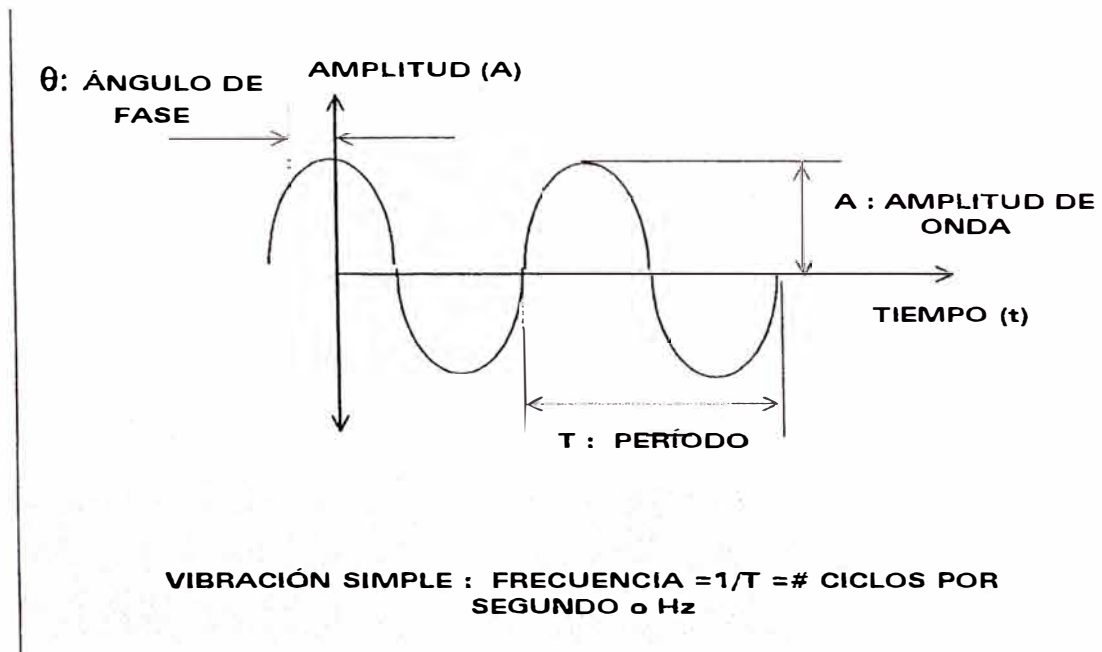


Figura 2.3

La amplitud desde el punto de vista de las vibraciones es la cantidad de movimiento que puede tener una masa desde una posición neutral. La amplitud se mide generalmente en valores pico-pico para desplazamiento y valores cero-pico y RMS para velocidad y aceleración (figura 2.4):

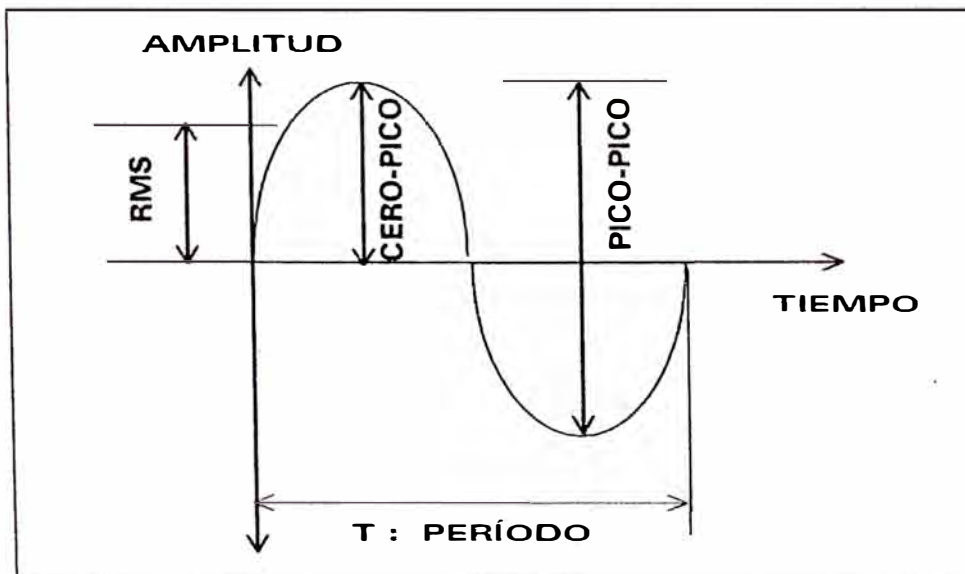


Figura 2.4

2.2.3 Principio de la Transformada de Fourier

El espectro de vibraciones es el gráfico de Amplitud vs Frecuencia, el cual utiliza una analista para interpretar la condición mecánica de un equipo. Este espectro es consecuencia de la Transformada de Fourier.

Para entender el porqué se utiliza esta función matemática, veamos como se presenta realmente la vibración en los equipos. En los equipos comúnmente se presentan vibraciones compuestas y pueden considerarse estas señales como sumas de varias vibraciones simples o señales sinusoidales que pertenecientes a cada uno de los componentes del equipo (figura 2.5):

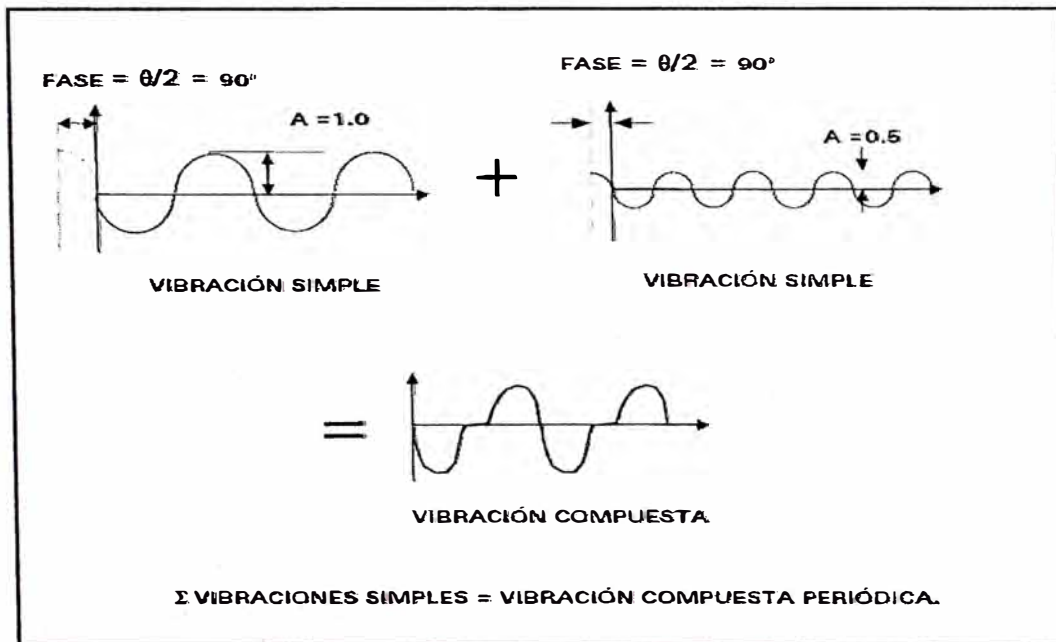


Figura 2.5

Entonces lo que representa el espectro son las amplitudes de estas señales simples a la frecuencia en que se están presentando. La función matemática que descompone esta vibración compleja en señales simples es la

Transformada de Fourier. Los Analizadores de Vibración utilizan esta función matemática para graficar el espectro vibracional.

Entonces en resumen lo que hace un analizador de vibraciones que trabaja con la transformada rápida de Fourier es capturar una señal desde una máquina, luego calcula todas las series de señales sinusoidales que contiene la señal compleja y por último las muestra en forma individual en el eje X de la frecuencia (figura 2.6)

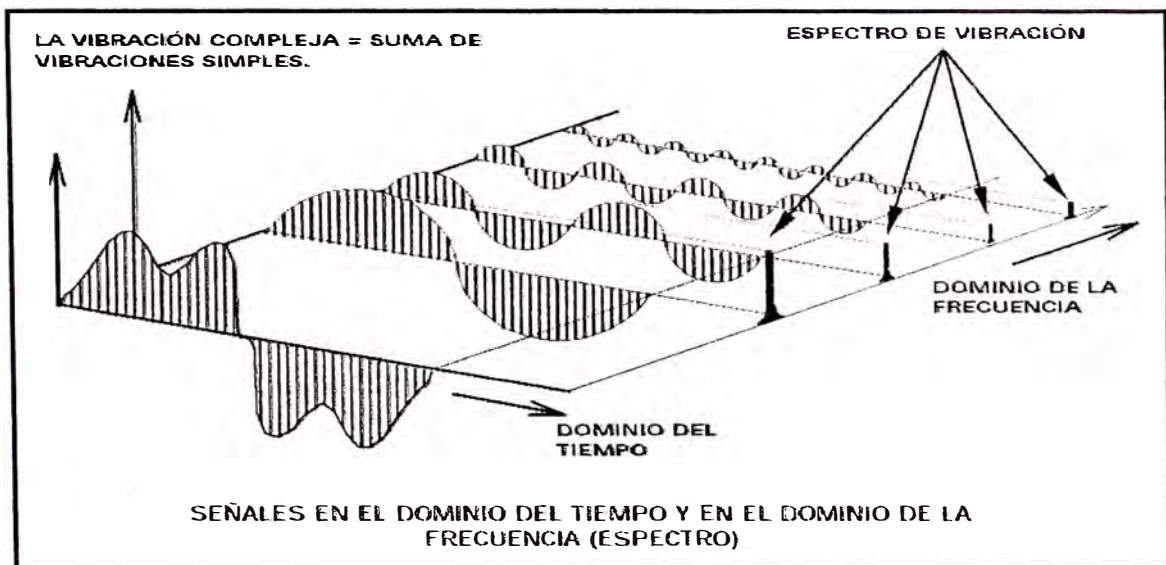


Figura 2.6

2.2.4 Unidades de Medición

2.2.4.1 *Unidades para el movimiento y fuerzas*

Las unidades básicas para describir el movimiento y las fuerzas vibratorias son: libras (lb) o kilogramos (kg), pulgadas (pulg) o milímetros (mm) y segundos (seg). Las frecuencias son expresadas en ciclos/minuto (CPM) o

ciclos/segundo (Hz). La fase es expresada en grados ($^{\circ}$), en el cual una revolución del eje o un periodo de vibración es 360° . Velocidad es expresada en revoluciones por minuto (RPM).

2.2.4.2 *Unidades para la amplitud del movimiento vibratorio*

Las unidades para medir la amplitud del movimiento vibratorio son:

- ✓ Desplazamiento pico-pico, mils (1,000 mils = 1 pulg) o micras (1,000 micras = 1 mm)
- ✓ Velocidad, pulg/seg o mm/seg (pico o rms)
- ✓ Aceleración, g's pico o rms ($386.1 \text{ pulg/seg}^2 = 1 \text{ g's}$).

2.2.5 Estándares de Vibración

Los estándares de severidad vibratoria son: API (American Petroleum Institute), AGMA (American Gears Manufacturers Association), NEMA (Nacional Electric Manufacturers Association), ANSI, ISO (International Organization for Standardization), VDI (Asociación alemana de ingenieros).

En el caso de máquinas rotativas, la normativa estándar actual para evaluar la severidad de sus vibraciones en velocidad RMS es la Norma ISO 10816-3: 1998 (“Máquinas industriales con potencia nominal sobre 15kW y velocidades nominales entre 120 y 15,000 RPM”), la cual reemplaza a la ISO 2372 y a la ISO 3945.

En el caso de máquinas de movimiento alternativo (por ejemplo motor

Diesel), la norma es la ISO 10816-6: 1995.

En el caso de estructuras la normativa existente la severidad de sus vibraciones es el asa 95-1990 o ANSI S2.47. No es numérica, es cualitativa, indica los diferentes factores que deben ser considerados para su evaluación, como tomar en cuenta los diferentes tipos de estructuras o edificios existentes, las magnitudes y métodos de medición que pueden ser usados.

2.3 TÉCNICAS DE ANÁLISIS VIBRACIONAL

2.3.1 Nivel de Vibración Total

A través de esta técnica se puede identificar rápidamente la severidad de la condición vibracional en un punto de apoyo determinado. Con este valor se deben graficar tendencias en el tiempo que permitan detectar algún punto de inflexión, reflejo de que algo está ocurriendo con el equipo. Lamentablemente ese algo, no puede ser identificado con esta técnica, pues para ello se requiere del análisis del espectro de vibración; sólo posible con un equipo analizador. Es por ello que esta técnica se complementa con las técnicas que a continuación se indican.

2.3.2 Análisis Espectral FFT

A través de esta técnica, haciendo uso de la Transformada de Fourier incorporada en los Analizadores de Vibraciones, se pueden identificar los niveles de vibración por cada frecuencia (rpm o ciclos por minuto) que se presentan en el equipo monitoreado. Con la identificación de estos niveles de

vibración por frecuencia, se puede determinar el problema mecánico que se está presentando en el equipo, tal como Desbalance, Desalineamiento, Soltura, Back lash, Fallas en Rodamientos, etc., explicados más adelante en el punto 2.4.

2.3.3 Análisis de la Forma de Onda

A través de esta técnica, podemos obtener información acerca de los eventos que ocurren con respecto al tiempo. Principalmente se utiliza para detectar dientes rotos, solturas, lubricación deficiente, para lo cual se utiliza la forma de onda en aceleración la cual es producto de las fuerzas existentes.

2.3.4 Análisis de la Envoltente de Aceleración

Es una técnica utilizada para detectar problemas incipientes en los elementos rodantes de los cojinetes, que no pueden ser detectados en el análisis espectral común por sus bajas amplitudes y altas frecuencias.

La técnica consiste en aplicar primero un filtro de paso de banda a la forma de onda para extraer sólo las amplitudes que nos interesan. Seguidamente la forma de onda, ya filtrada, donde se pueden observar más claramente los picos, se rectifica (lo negativo pasa a positivo) y finalmente se envuelve, obteniendo de esta forma de onda final, los espectros de vibración donde podrán identificarse claramente, de presentarse, los problemas de rodamientos.

2.4 ESPECTROS DE VIBRACIÓN TÍPICOS EN MOLINOS CON PROBLEMAS MECÁNICOS

2.4.1 Desalineamiento Angular

Ocurre cuando el eje del motor y el eje conducido unidos en el acople, no son paralelos (figura 2.7). Caracterizado por altas vibraciones axiales a 1X y 2X, son las más comunes, con desfase de 180 grados a través del acople. También se presenta 3X RPS.

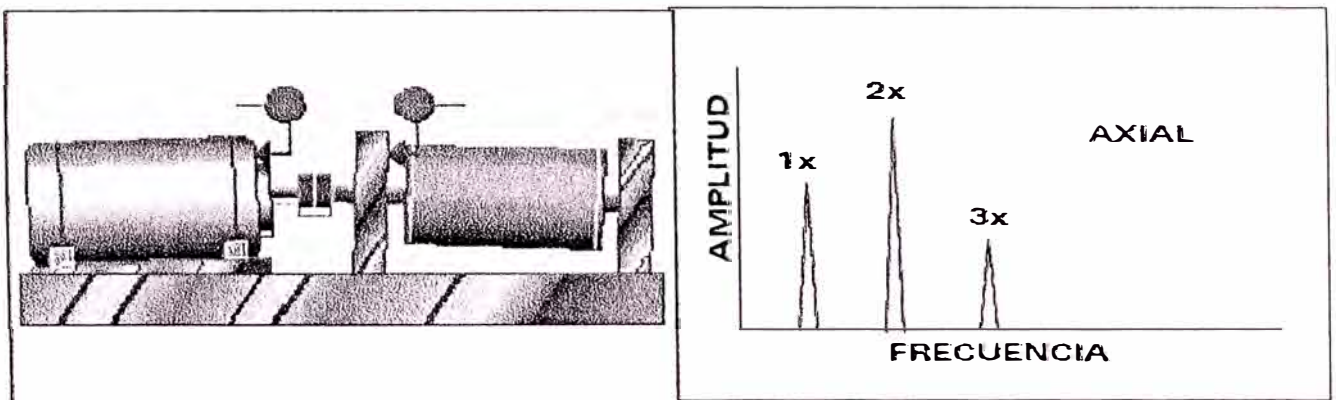


Figura 2.7 (Ref. Tutorial Vibraciones A-MAQ S.A. Ene 2005)

2.4.2 Desalineamiento Paralelo

Ocurre cuando los ejes del motor y del rotor conducido están paralelos, pero no son colineales (figura 2.8). Se pueden detectar altas vibraciones radiales a 2X, predominante, y a 1X, con desfase de 180 grados a través del acople. Cuando aumenta la severidad, genera picos en armónicos mayores a 4X.

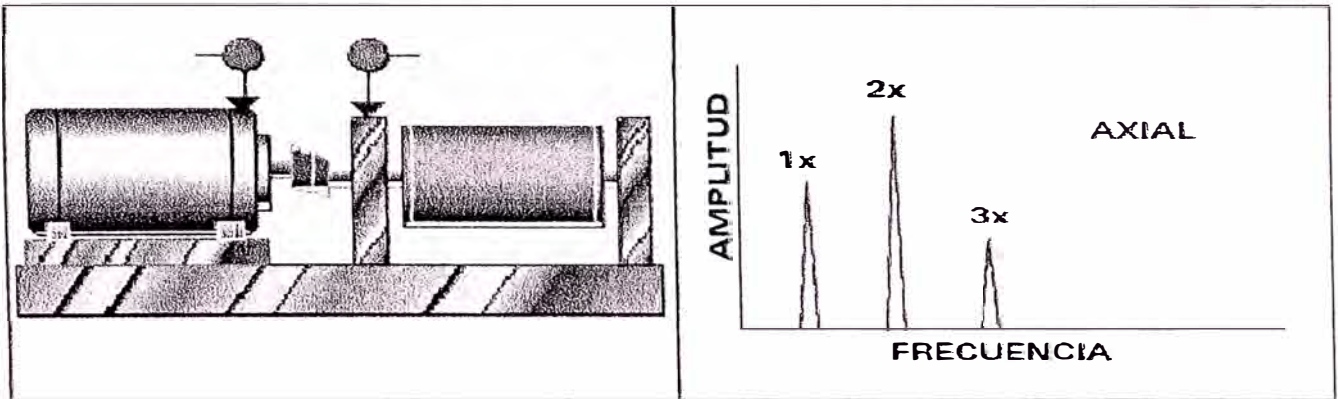


Figura 2.8 (Ref. Tutorial Vibraciones A-MAQ S.A. Ene 2005)

2.4.3 Espectro de Fallas por Holgura

Las fallas por holgura se presentan por aflojamiento de manguitos, juegos incorrectos, etc, (figura 2.9). La falla genera múltiples armónicos y subarmónicos de 1X, destacándose los armónicos fraccionarios $\frac{1}{2}X$, $\frac{1}{3}X$, $1.5X$, $2.5X$, etc. Frecuentemente la fase es inestable y la forma de onda aparece truncada.

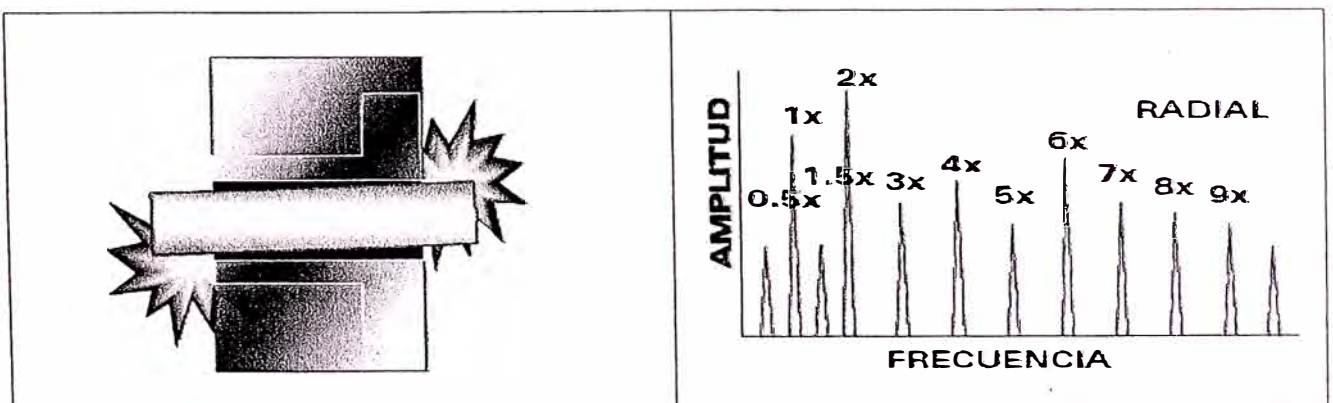


Figura 2.9 (Ref. Tutorial Vibraciones A-MAQ S.A. Ene 2005)

2.4.4 Espectro de Fallas por Soltura

Vibración originada por holgura o aflojamiento de los pernos de sujeción de

la base (figura 2.10). El espectro presenta vibración a 1X con desfase a 180 grados entre los elementos de anclaje, altamente direccional en la dirección de la sujeción

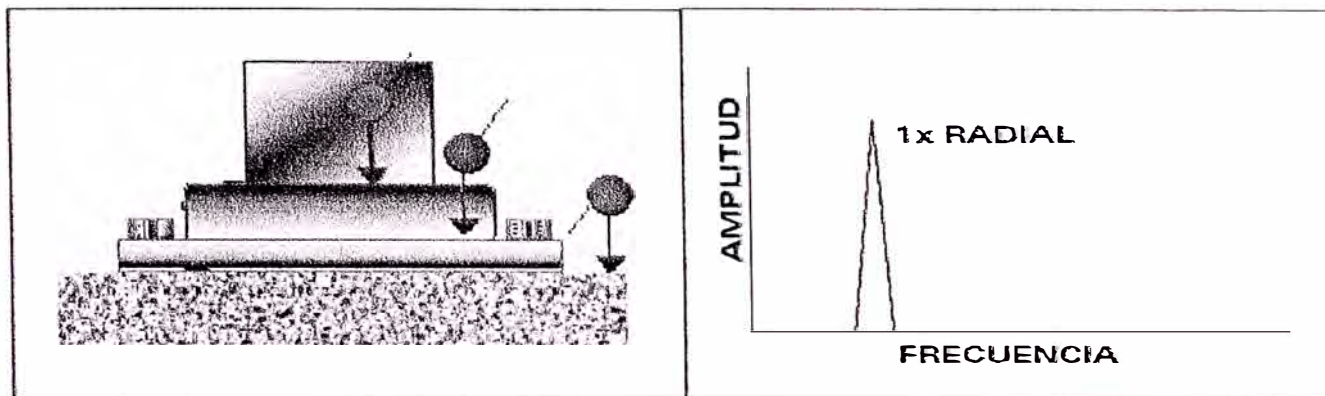


Figura 2.10 (Ref. Tutorial Vibraciones A-MAQ S.A. Ene 2005)

2.4.5 Eje Doblado o Pandeado

Se produce por esfuerzos excesivos en el eje (figura 2.11). Se presenta en la componente axial con diferencia de fase de 180 grados medida en los dos soportes del rotor. La vibración dominante es de 1X si el pandeo está cercano al centro del eje, y es de 2X si el pandeo está cerca del rodamiento.

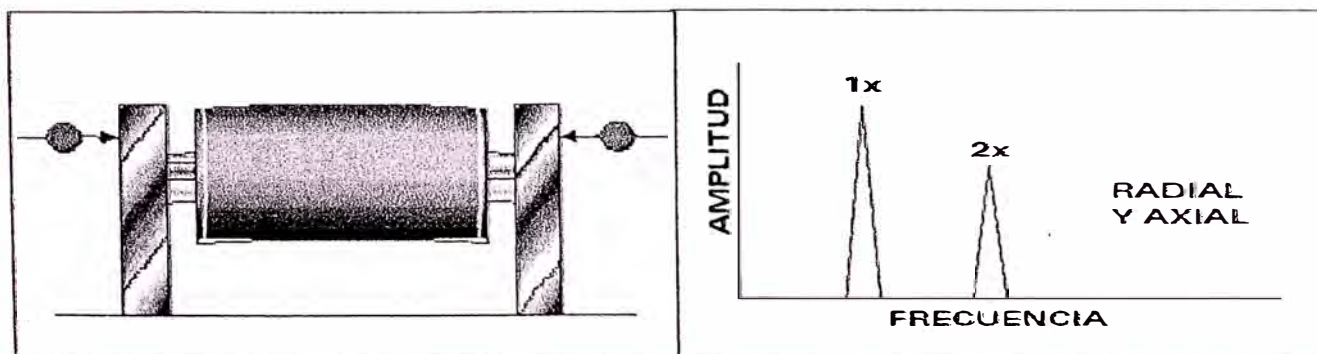


Figura 2.11 (Ref. Tutorial Vibraciones A-MAQ S.A. Ene 2005)

2.4.6 Desgaste en diente

El espectro de desgaste también se presenta cuando existe contaminación de la grasa lubricante o existen elementos extraños circulando en la caja del engranaje (figura 2.12).

En su espectro se observa bandas laterales alrededor de la frecuencia natural de vibración (f_n) del engranaje defectuoso. El espaciamiento de las bandas laterales es $1X$ del engranaje defectuoso. Si el desgaste es avanzado, hay sobreexcitación de la GMF (Gear Mesh Frequency)

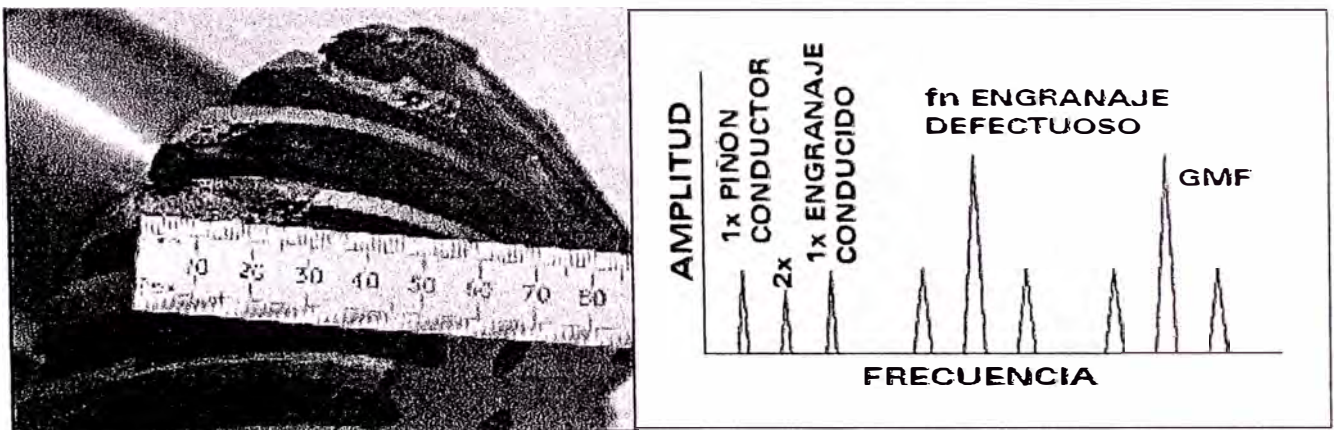


Figura 2.12 (Ref. Tutorial Vibraciones A-MAQ S.A. Ene 2005)

2.4.7 Sobrecarga en engranaje

Se visualiza en el espectro una alta amplitud en el GMF (Frecuencia de engrane de dientes) pero sólo significará un problema si las bandas laterales también son altas (figura 2.13)

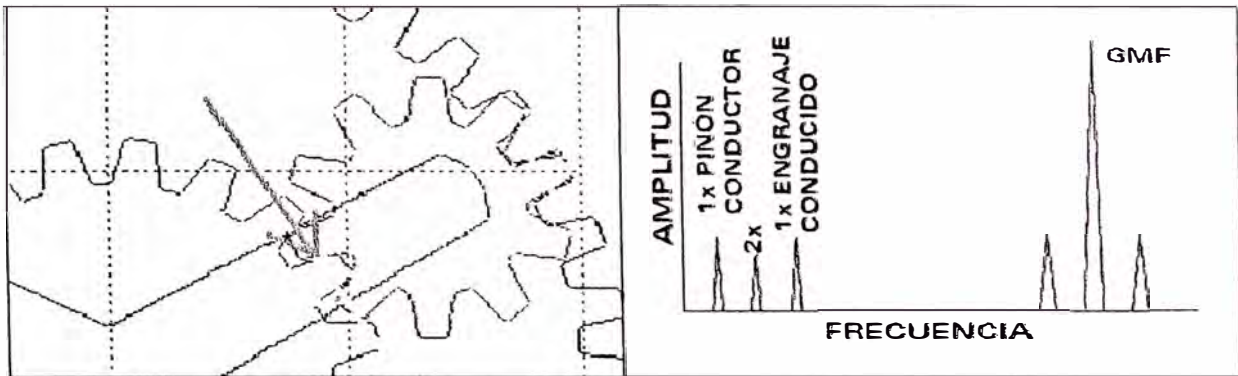


Figura 2.13 (Ref. Tutorial Vibraciones A-MAQ S.A. Ene 2005)

2.4.8 Excentricidad o backlash

La excentricidad ocurre cuando el centro de simetría no coincide con el centro de rotación (figura 2.14). El backlash se produce cuando, al terminar el contacto entre dos dientes, los dos siguientes no entran inmediatamente en contacto.

El espectro muestra aumento considerable de las bandas laterales alrededor del la GMF. El engranaje con problemas es indicado por el espaciado de las bandas laterales. Si el problema es backlash, la GMF debe disminuir con el aumento de la carga

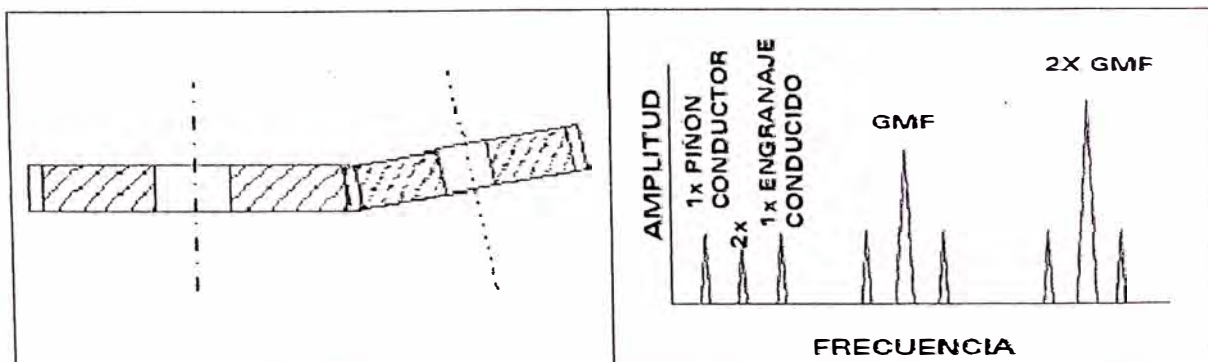


Figura 2.14 (Ref. Tutorial Vibraciones A-MAQ S.A. Ene 2005)

2.4.9 Falla en Pista Interna de Rodamiento

Las fallas en rodamientos se producen por malos montajes, sobreesfuerzos, corrosión, partículas externas o deficiente lubricación.

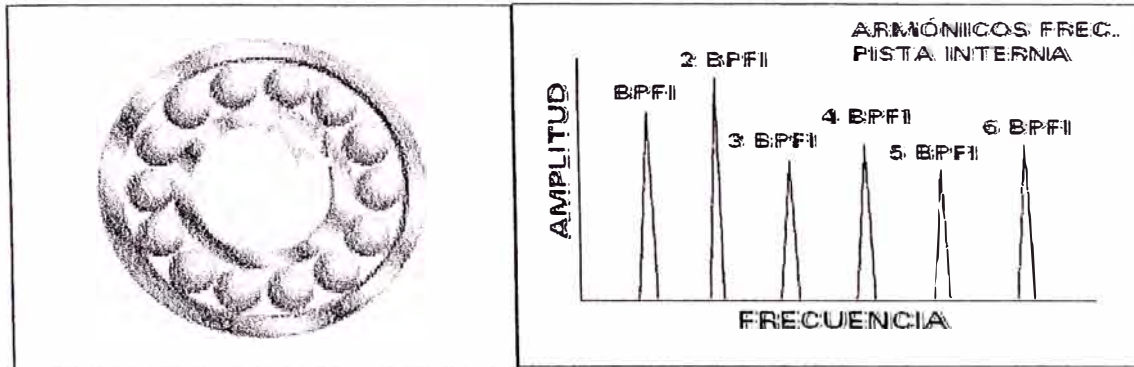


Figura 2.15 (Ref. Tutorial Vibraciones A-MAQ S.A. Ene 2005)

La B.P.F.I. (Frecuencia de paso de las billas por la pista interior, figura 2.15), se calcula de la siguiente forma:

$$B.P.F.I. = (N / 2) \Omega \{1 + (B_d / P_d) \cos \Phi\}$$

Donde (ver figura 2.16):

- Φ Ángulo de contacto formado entre la línea perpendicular al eje y la línea donde la billa hace contacto con la pista
- N Número de elementos rodantes (billas o rodillos)
- Pd Diámetro primitivo, en pulgadas.
- Bd Diámetro de la billa o del rodillo. Valor promedio para los rodamientos cónicos, en pulgadas.
- Ω RPS, Velocidad de rotación en revoluciones por segundo.

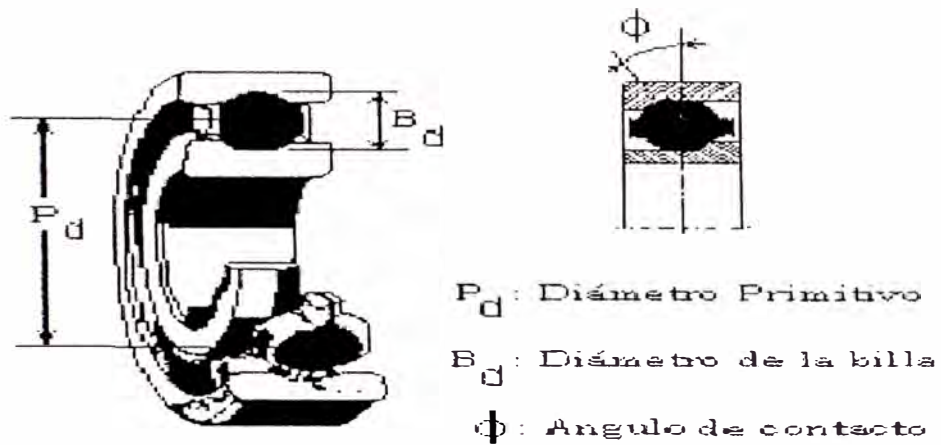


Figura 2.16 (Ref. Tutorial Vibraciones A-MAQ S.A. Ene 2005)

2.4.10 Falla en Pista Externa de Rodamiento

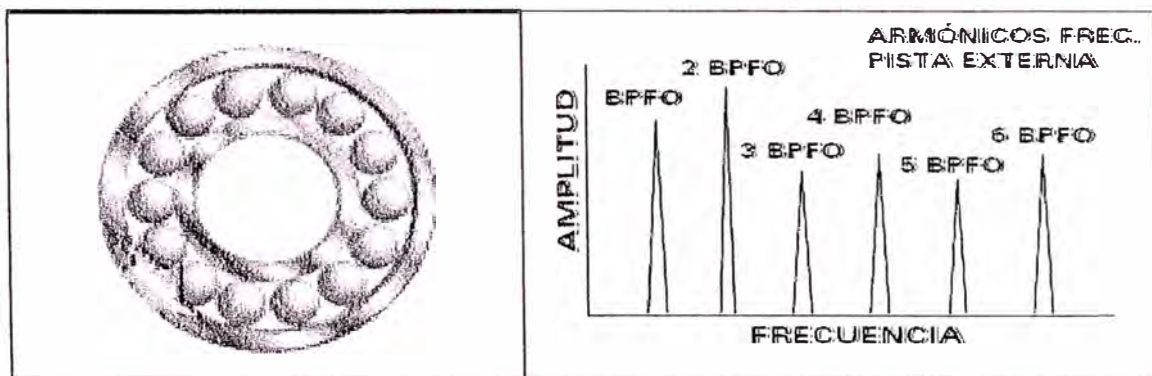


Figura 2.17 (Ref. Tutorial Vibraciones A-MAQ S.A. Ene 2005)

La BPFO (Frecuencia de paso de las billas por la pista exterior, figura 2.17), se calcula de la siguiente forma:

$$BPFO = (N / 2) \Omega \{1 - (B_d / P_d) \cos \Phi\}$$

2.4.11 Falla en Elemento Rodante de Rodamiento

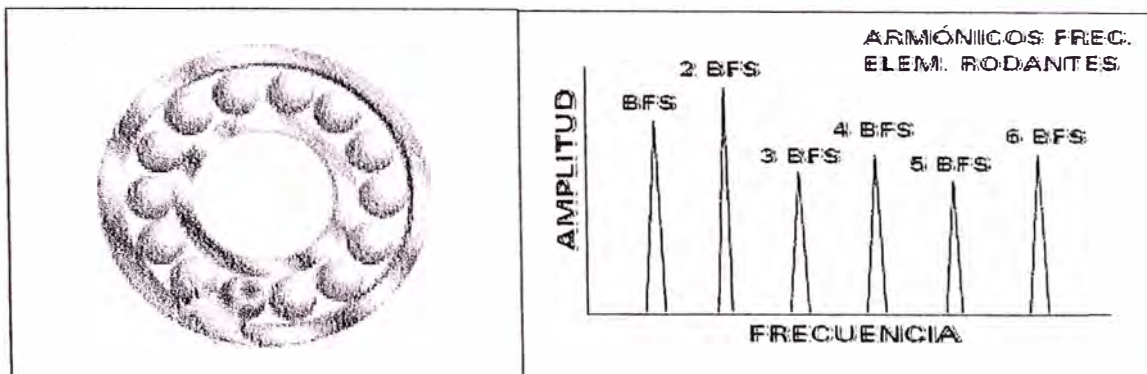


Figura 2.18 (Ref. Tutorial Vibraciones A-MAQ S.A. Ene 2005)

La BSF (Frecuencia de giro de la billa o rodillo, figura 2.18), se calcula de la siguiente forma:

$$BSF = (P / 2B) \Omega \{1 - (Bd / Pd)^2 \cos^2 \Phi\}$$

2.4.12 Falla en Canastilla de Rodamiento

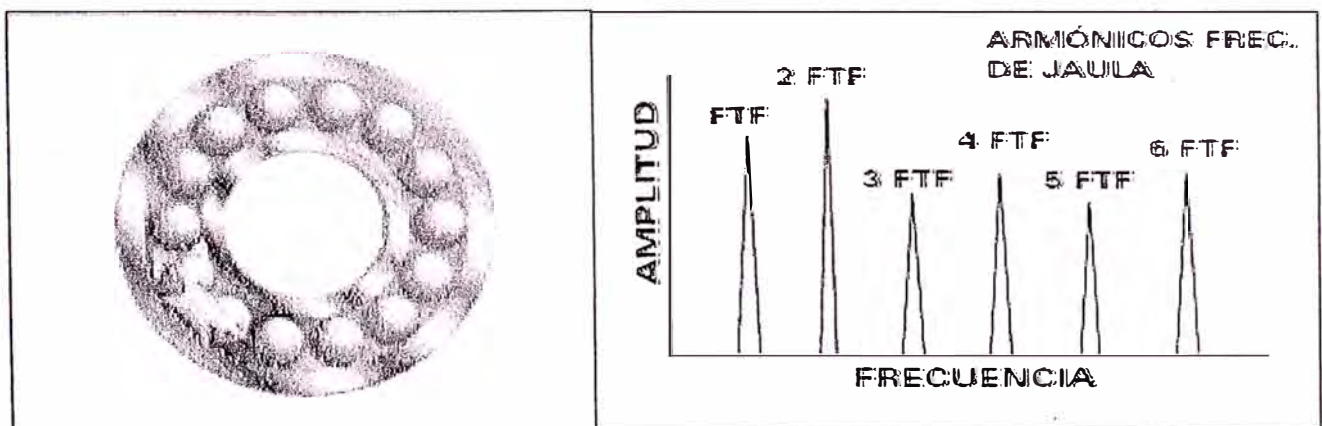


Figura 2.19 (Ref. Tutorial Vibraciones A-MAQ S.A. Ene 2005)

La FTF (Frecuencia fundamental del tren), se calcula de la siguiente forma:

$$FTF = (\Omega / 2) \{1 - (B / P) \cos \Phi\}$$

Resumen Fallas en Rodamientos

Defecto o Condición	Frecuencia	Forma de onda en el tiempo y del espectro	Comentarios
Defecto en la pista exterior	BPFO y múltiplos	Múltiplos DE BPFO	Descascaramiento poco profundo se incrementa después de un año
Defecto en la pista interior	BPMI y múltiplos	Las armónicas disminuyen en amplitud	Descascaramiento poco profundo
Defecto en la pista interior	BPMI y múltiplos	Las armónicas disminuyen en amplitud y están moduladas por la velocidad de operación	Rodamiento fallará en 14 días
Defecto en la billa	BSF o FTF y múltiplos	Frecuencias naturales moduladas por FTF	Cascabeleo de las billas del rodamiento en su frecuencia natural

CAPITULO III

REDUCCIÓN DE FALLAS MECÁNICAS EN MOLINO DE BARRAS USANDO ANÁLISIS VIBRACIONAL

3.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

- ✓ ¿Como brindar mayor confiabilidad y disponibilidad al molino de barras de la planta concentradora Paragsha?
- ✓ ¿Como garantizar un proceso productivo mecánicamente rentable del molino de barras?
- ✓ ¿Como ampliar las frecuencias de mantenimiento preventivo del molino de barras?
- ✓ ¿Cómo eliminar las paradas intempestivas del molino de barras?
- ✓ ¿Cómo disminuir los costos de mantenimiento del molino de barras?

3.1.1 Variable Independiente

Mantenimiento Predictivo basado en análisis vibracional

3.1.2 Variables Dependientes

- ✓ Mantenimiento Preventivo
- ✓ Mantenimiento Correctivo

- ✓ Paradas imprevistas de maquina
- ✓ Costo de mantenimiento
- ✓ Tiempo disponible
- ✓ Tiempo de funcionamiento
- ✓ Tiempo productivo neto
- ✓ Tiempo perdido por paradas no programadas

3.1.3 Datos Técnicos de los Componentes y de los Sistemas

Principales del molino

Sistema Motriz

Motor 258 RPM

Sistema de Transmisión

Acoplamiento Flexible

Piñón Contraeje, Acero 4140, 19 dientes, helicoidal simple

Catalina, Acero 4140, 278 dientes, helicoidal simple

Chumacera con rodamiento lado libre, Acero fundido

Chumacera con rodamiento lado acoplamiento

Sold plate contraeje

Sistema Lubricación

Bombas de aceite que lubrican los dos trunnion (de alimentación y de descarga)

Bombas de grasa que lubrican piñón y catalina

Sistema Chasis (Estructura)

Casco

Forro con cuñas y pernos de sujeción para casco

Tapa trunnion alimentación

Forro con cuñas y pernos de sujeción para tapa alimentación, Acero al manganeso

Cono de alimentación (Forro de alimentación), Acero al manganeso

Spoud Feeder

Cajón de alimentación

Tapa trunnion descarga

Forro con cuñas y pernos de sujeción para tapa descarga, Acero al manganeso

Trunnion liner (Forro de descarga), Acero al manganeso

Chumacera alimentación

Chumacera descarga

Casquillo alimentación, Babbit / Bronce

Casquillo descarga

Sold plate alimentación

Sold plate descarga

Sistema de Refrigeración

Intercambiador de calor para aceite trunnions

Serpentín de tuberías de agua

Sistema de Control y Protección

RTD de Trunnion

Presostato de baja presión de aceite de lubricación de los trunnion

Flujómetro de caudal de aceite de ingreso a los trunnion

RTD Chumaceras del motor eléctrico

Sistema Eléctrico

Arrancador

Tablero Eléctrico

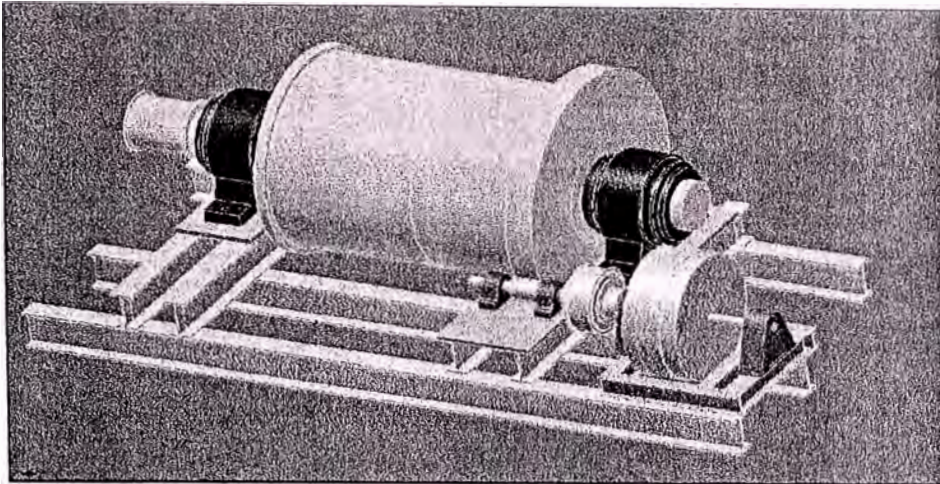


Figura 3.1 Gráfico del Molino en 3D



Figura 3.2 Foto del Molino Rodmill # 03

3.1.4 Datos Técnicos de Operación del molino

Nro dientes piñón contraeje	:	19
Nro dientes catalina	:	278
Potencia motor	:	500 HP (373 kW)
Velocidad motor / contraeje	:	256.5RPM
Velocidad molino	:	17,53RPM

3.1.5 Datos Técnicos de los Tipos de Mantenimiento que se aplicaban al molino

Los tipos de mantenimiento que se aplicaban al molino eran el preventivo (ver anexo 1), el correctivo reactivo y el correctivo programado.

3.1.6 Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF)

A continuación se presenta el análisis de modos y efectos de falla del Sistema de Transmisión, que es donde se identificarán las fallas a reducir, materia del presente informe de suficiencia.

Parte o Sistema	Descripción de Función
Transmisión - Acoplamiento	Transmisión de la potencia del motor eléctrico hacia el molino
Transmisión - Contraeje, catalina	Transmisión de la potencia del acoplamiento hacia el contraeje
Transmisión - Chumaceras, rodamientos	Soporte dinámico de la estructura del molino

#	Estándar de ejecución - FUNCION	#	Falla Funcional	#	Modo de falla	Frecuencia ocurrencia del modo del falla	#	Efecto de Falla
1	El acoplamiento permite la unión entre el eje del motor eléctrico con el eje del piñón dentado.	A	Desalineamiento	1	Generalmente ocurre cuando las caras de las bridas no son paralelas.	1 evento cada tres meses	A	La desalineación de acoplamientos producen vibraciones, los cuales originan desgastes en los componentes de las máquinas.
				2	Existencia de velocidades mayores a las permitidas registradas en la zona de acople	2 eventos cada dos meses	A	Esto significa un momento crítico, pues las consecuencias afectarían al mismo acople. Dañado el acople y de no tener repuestos en el momento, significaría un retraso importante en la producción
2	En cuanto al piñón y catalina, son los engranajes que sirven como mecanismo de transmisión de movimiento. El motor del molino acciona un contraeje al que está adosado el piñón, este es encargado de accionar la catalina la que proporciona movimiento al molino	B	Deficiencia estructural de los piñones de la catalina	1	Exceso de velocidad por parte del piñón	2 eventos en 3 años	A	Este evento ha ocurrido pocas veces como puede apreciarse en la frecuencia anotada. Al momento de suceder, comprometió varias partes de la molina, y ha detenido la producción incluso llegando a 3 días, lo cual causó serios perjuicios económicos para la co
				2	Deficiencias en el material de la catalina	1 evento en 8 años	A	El material de la catalina estipulada es acero 4140. Adquirir una catalina cuyo material está por debajo de las cualidades requeridas, no llegan a durar a más de dos días de su reemplazo. Como consecuencia de ello compromete la maquinaria y la seguridad d
3	Las chumaceras y rodamientos se comportan como soporte del molino y a la vez base sobre la que gira el molino	C	Desgaste de chumaceras	1	Falla producto de partículas que provocan el desgaste	1 evento cada mes	A	Debido al ambiente que rodea dicho componente y el desempeño, el desgaste de la chumacera es producido por el desgaste provocado. Esto ocasiona demoras en la producción debido a su reemplazo, cuando el desgastes es severo.
				2	Aplicación de lubricante de baja calidad	1 evento cada dos semanas	A	Mala lubricación atenta contra el desempeño de la chumacera, ocasionando pérdidas en la producción por reemplazo y análisis de la situación.

3.1.7 Indicadores de disponibilidad y de confiabilidad que tenía el molino antes de las acciones correctivas

Disponibilidad : 85%

Confiabilidad MTBR : 2 días

Confiabilidad MTTR : 12 horas

3.2 DESARROLLO DEL PROBLEMA

3.2.1 Análisis Pareto para identificar fallas más significativas

Para realizar este análisis, en primer lugar obtenemos el total de fallas históricas ocurridas en el Molino Rodmill # 03 durante el 2008. Seguidamente clasificamos y agrupamos estas fallas por tipo, y las ordenamos en forma descendente en base al impacto económico que produjo cada tipo de falla. Este impacto económico no es más que la suma de lo que costó reparar el molino para eliminar esa falla, más lo que se dejó de ganar (lucro cesante) por tener el molino parado.

El lucro cesante lo calculamos de la siguiente manera:

Producción: 12,000TPD

Líneas de producción de la planta: 4

Producción por Línea: 125 Ton/hora

Producción de Zinc por línea (10%): 12.5 Ton/hora

Valor del Zinc concentrado: \$ 1,095/Ton

Valor del Zinc refinado (45%): \$ 492.75/Ton

Valor ingreso por hora de producción por línea: \$6,159/hora

Costo de producción por hora por línea : \$4,659/hora

Costo de lucro cesante por hora, por línea: \$1,500/hora

El impacto económico de lucro cesante por falla será entonces el producto de las horas paradas por los \$1,500/hora obtenidos líneas arriba.

Estos cálculos se resumen en la Tabla A.

Tipo Falla	Datos				
	# Fallas	Horas Paradas	Costos Reparación \$	Lucro Cesante \$	Costo_Total \$
Falla Catalina	5	480	156,827.3	720,000.0	876,827.3
Falla estructural	19	427.5	91,800.1	641,250.0	733,050.1
Falla lubricación	16	230	12,713.2	345,000.0	357,713.2
Desalineamiento	20	210	24,212.1	315,000.0	339,212.1
Falla Contraeje	2	120	74,063.9	180,000.0	254,063.9
Otros	9	135	13,271.1	202,500.0	215,771.1
Falla Operativa	10	93	780.5	139,500.0	140,280.5
Falla Refrigeración	6	60	7,321.1	90,000.0	97,321.1
Ajuste pernos	7	61.5	1,357.7	92,250.0	93,607.7
Falla Instrumentación	8	60.5	1,769.2	90,750.0	92,519.2
Falla chute	5	60	2,199.4	90,000.0	92,199.4
Iluminación	3	30	462.8	45,000.0	45,462.8
Falla cajón	2	20	859.3	30,000.0	30,859.3
Falla Motor Eléctrico	2	20	266.7	30,000.0	30,266.7
Falla chumaceras	1	10	178.1	15,000.0	15,178.1
Falla faja	1	10	27.8	15,000.0	15,027.8
Total general	116	2027.5	388,110.3	3,041,250.0	3,429,360.3

Tabla A. Costos de reparación y de lucro cesante por Tipo de Falla en el Molino Rodmill # 03 de Planta Paragsha durante el 2008

Graficando esta Tabla A para interpretar mejor los resultados tenemos:

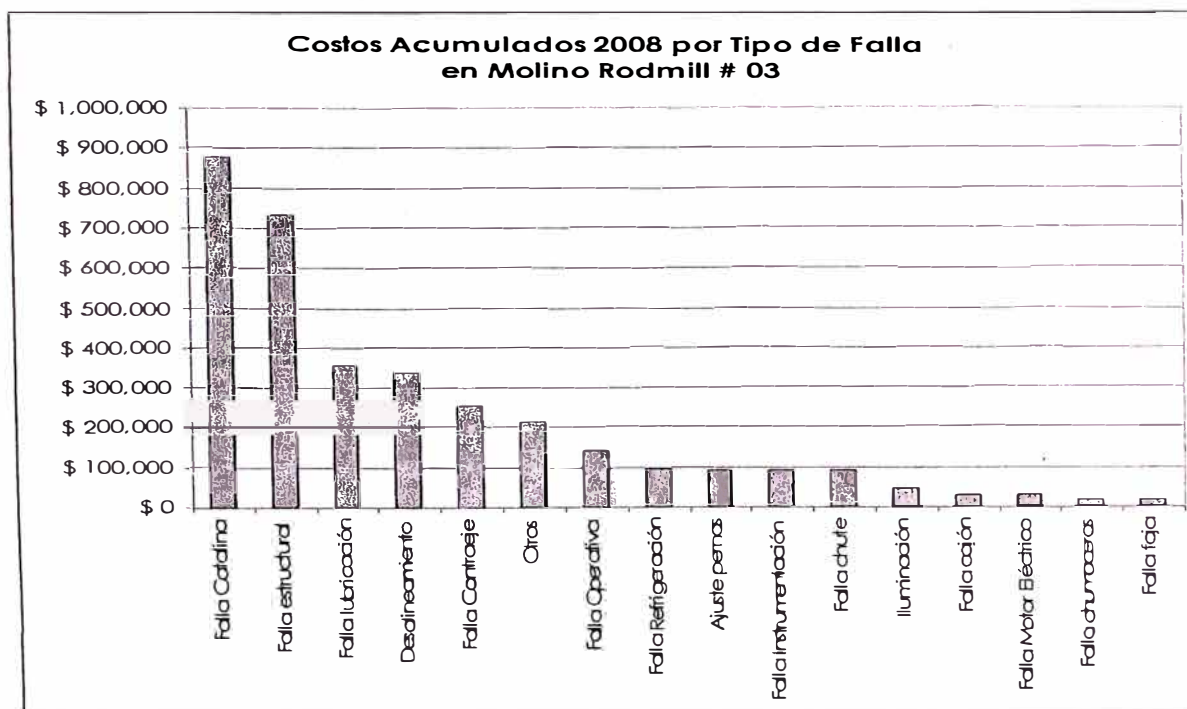


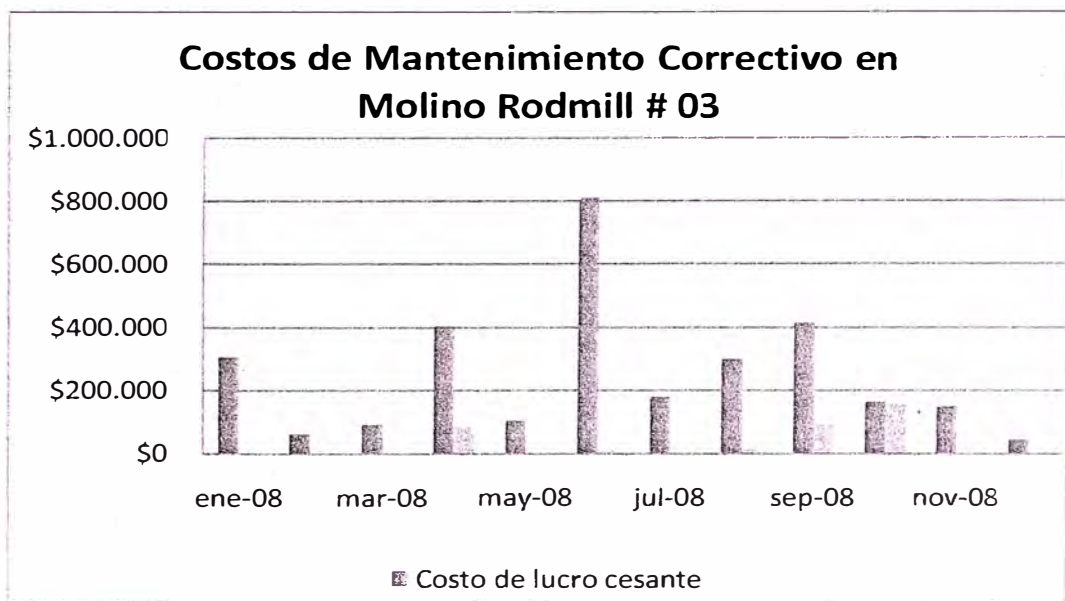
Tabla B. Costos de reparación y de lucro cesante por Tipo de Falla en el Molino Rodmill # 03 de Planta Paragsha durante el 2008

De la Tabla B, comprobando Pareto, observamos que el 20% de fallas representan más del 80% del impacto económico. Entonces las 04 fallas más representativas desde el punto de vista de costos que ocurrieron durante el 2008 fueron:

- ✓ Falla Catalina
- ✓ Falla Estructural
- ✓ Falla Lubricación
- ✓ Desalineamiento

Siendo estas fallas, salvo la de lubricación, detectables y controlables a través del análisis vibracional, materia de este informe.

En el siguiente gráfico podemos visualizar mejor la relación entre el lucro cesante y los costos de reparación

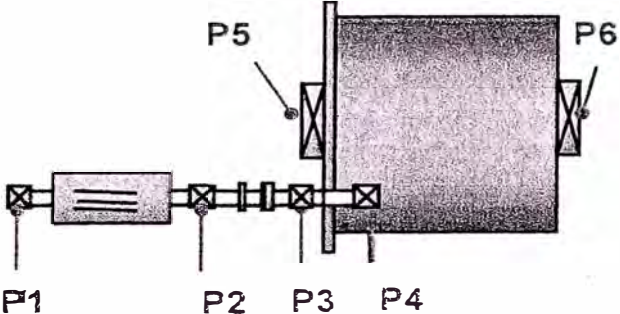


Tab

la C. Costos mensuales de reparación y lucro cesante 2008 en Rodmill #03

De la Tabla C podemos visualizar la gran diferencia existente entre el impacto del lucro cesante y el costo de reparación. El lucro cesante es alto porque una parada de este equipo significa pérdidas de producción considerables. De ahí la importancia de detectar y eliminar a tiempo las fallas potenciales antes de que se produzcan.

3.2.2 Identificación de puntos de medición en el molino para monitoreo y diagnóstico predictivo

DESCRIPCION DEL EQUIPO		PUNTOS DE INSPECCION
Ubicación	PLANTA PARAGSHA	
Área	MOLIENDA	
Equipo	MOL-RD03-CE	
Denominación	Molino Rodmill 03	
Equipo utilizado	CSI 2130	

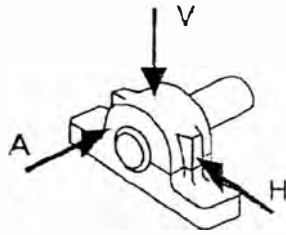
En el gráfico podemos apreciar los puntos de apoyo, donde colocaremos el sensor para registrar los valores de vibración:

Puntos de Apoyo

- P1. Motor eléctrico, lado libre
- P2. Motor eléctrico, lado acoplamiento
- P3. Contraeje lado acoplamiento
- P4. Contraeje lado libre
- P5. Muñón lado descarga

P6. Muñón lado entrada

Se han considerado 6 puntos de apoyo para la medición de la vibración. La teoría vibracional indica que la medición en cada punto debe realizarse en 03 direcciones: horizontal, vertical y axial.



3.2.3 Establecimiento de niveles de alarma de vibración global para el molino

Para establecer los niveles de alarma de vibración global que aplican a nuestro molino 9'x12', aplicaremos la norma internacional ISO 10816-3.

ISO 10816-3		Machinery Groups 2 and 4		Machinery Groups 1 and 3	
Velocity		Rated Power			
CMVP 40 m/sec eq. Peak	CMVP 50 mm/sec RMS	15 kW - 300 kW		Group 1: 300 kW - 50 MW Group 3: Above 15 kW	
0.61	11.0		DAMAGE OCCURS		
0.39	7.1		RESTRICTED OPERATION		
0.25	4.5		UNRESTRICTED OPERATION		
0.19	3.5				
0.16	2.8		NEWLY COMMISSIONED MACHINERY		
0.13	2.3				
0.08	1.4		NEWLY COMMISSIONED MACHINERY		
0.04	0.7				
0.00	0.0				
Foundation		Rigid	Flexible	Rigid	Flexible

Tabla D. Norma Internacional ISO 10816-3

Para identificar en qué columna nos ubicamos, revisamos la potencia de nuestro motor eléctrico así como las condiciones flexibles o rígidas de la cimentación del conjunto motor molino. De acuerdo a los datos técnicos de operación presentados en el punto 3.1.4 la potencia de nuestro motor es de 313 kW por lo tanto nos encontramos en la zona de máquinas tipo 1. En cuanto a la cimentación ésta fue construida del tipo flexible. Por lo tanto nos ubicamos en la última columna, donde los niveles de alarma serán:

Límites de Alarma y Parada

Límites permisibles de Vibración (mm/seg. – RMS)

Normal	Alarma	Parada
4.5	4.5 @ 7.1	7.1

Tabla E. Límites de Alarma y de Parada determinados para el Rodmill #03

Es necesario mencionar que estos límites de alarma no deben ser tomados de manera estricta. La norma recomienda estos valores de tolerancia de manera genérica según la cimentación y potencia del equipo. Sin embargo en la práctica estos límites deben establecerse considerando además el comportamiento vibracional histórico de cada equipo, de manera que se obtengan límites vibratoriales particulares para cada equipo. Esto porque no todos se comportan igual, ya que existen factores exógenos, como la cercanía a otros equipos que pueden inducir vibración en el mismo, las condiciones climatológicas, de altitud, temperatura, presión, etc.

3.2.4 Establecimiento de programa y frecuencia de monitoreo del molino

La frecuencia de monitoreo vibracional seleccionada para este molino, se establece en cada 02 días, porque el MTBR (Tiempo Promedio entre Reparaciones) era de 02 días, lo que significaba que cada 02 días paraba el molino por alguna razón mecánica. Cada dos días entonces tomaremos lecturas con el analizador de vibraciones y analizaremos tanto el comportamiento de su tendencia global, como el de sus espectros resultantes.

3.2.5 Identificación de fallas por análisis de espectros en mediciones que superaron los niveles de alarma

Para identificar las fallas que pueden existir en la operación del molino Rodmill # 03, será necesario monitorear la vibración en cada uno de los direcciones, horizontal, vertical y axial de los puntos de apoyo identificados en el apartado 3.2.2.

Se revisarán los espectros obtenidos con el analizador de vibraciones Emerson CSI 2130 que nos arrojará indicios de fallas potenciales mecánicas existentes en el conjunto motor-molino. Es decir identificaremos fallas existentes en el sector sector P-F.

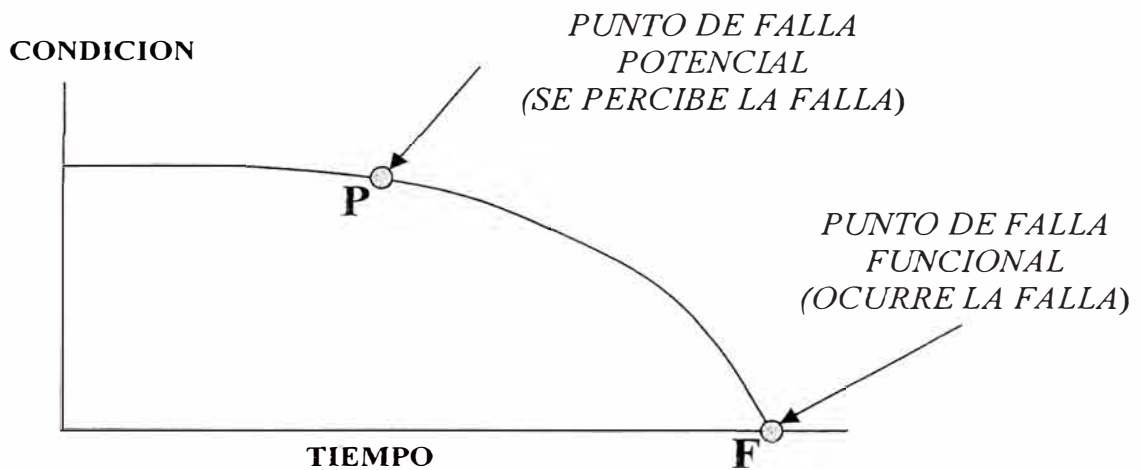


Figura 3.3 Curva de Falla P - F

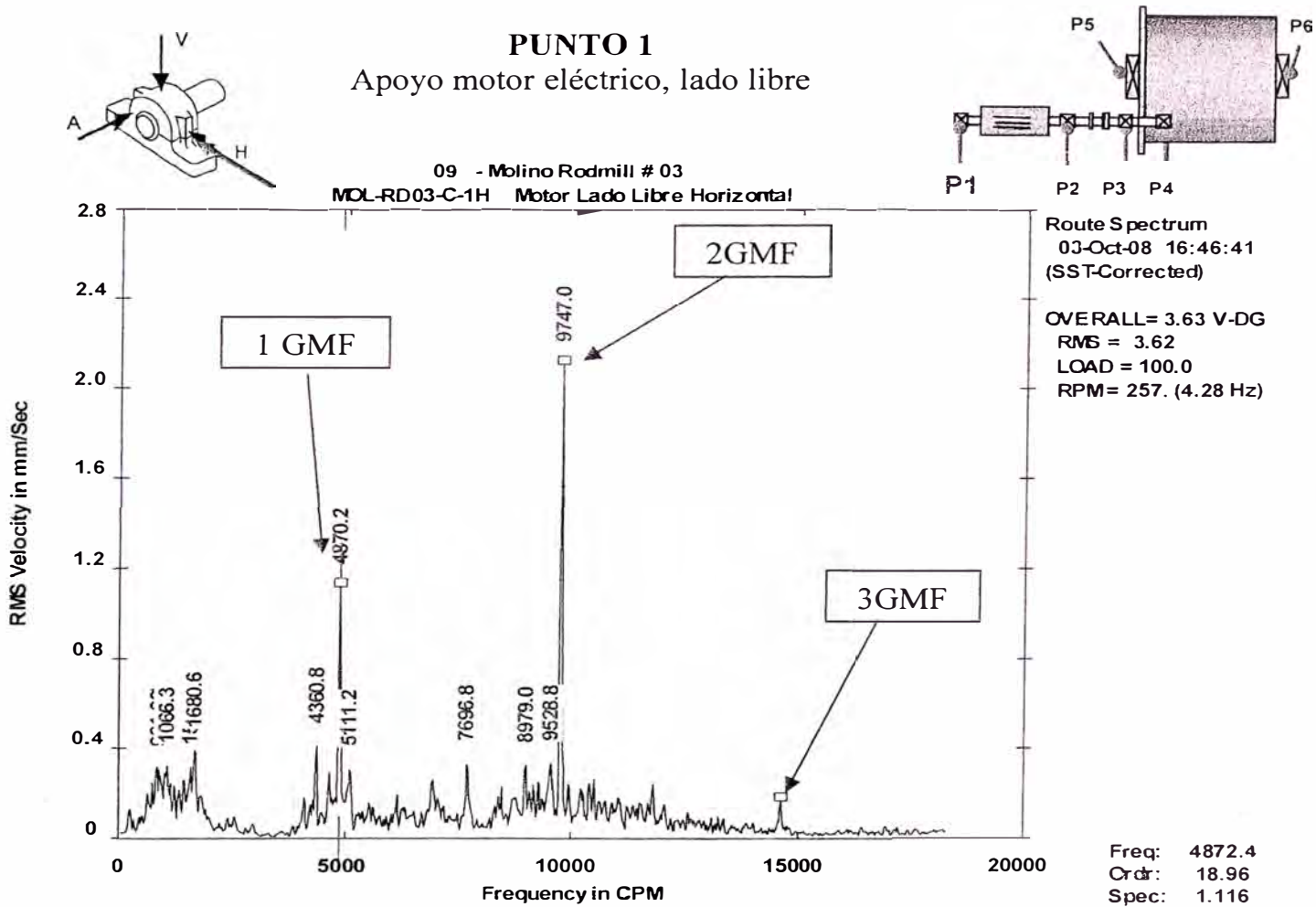
Como puede observarse en la figura 3.1, luego de que la falla se presenta, existe un intervalo de tiempo en el que se va degradando la condición mecánica del equipo hasta que finalmente falla y para. La idea justamente de este monitoreo vibracional es identificar esta falla potencial, de manera que pueda ser corregida a tiempo y se evite la falla y parada del equipo. Muchas veces esta falla se encuentra oculta o puede pasar desapercibida por los operadores y mantenedores.

Por otro lado, en lo que se refiere a los espectros que se analizarán a continuación, en algunos casos, el armónico del espectro no coincide exactamente con el GMF (Gear Mesh Frequency o Frecuencia de Engrane). La forma como se calcula este GMF será mostrado en el análisis del punto 1. La razón por la que no coincide, es que la resolución del espectro (determinado por el número de líneas configurado), es poco “densa” o baja. Esto se hace intencionalmente, porque si se aumenta el número de líneas, la

velocidad de monitoreo será demasiado lenta. Asimismo, un ancho de banda menor, nos haría perder posible data espectral importante, y un ancho de banda mayor restaría calidad de resolución obteniendo información irrelevante porque la velocidad de la maquina es baja. Por ello se ha configurado a 20,000 cpm la frecuencia máxima en los puntos 1 y 2 (motor), 3 y 4 (contraeje piñón); y a 6,000 cpm la frecuencia máxima de los muñones de apoyo (trunnion).

Análisis Vibracional de cada uno de los puntos del molino

A continuación se presentan todos los espectros de cada uno de los puntos de apoyo del molino. Debe tenerse en cuenta que en cada punto se mide la vibración tres sentidos (horizontal, vertical y axial).



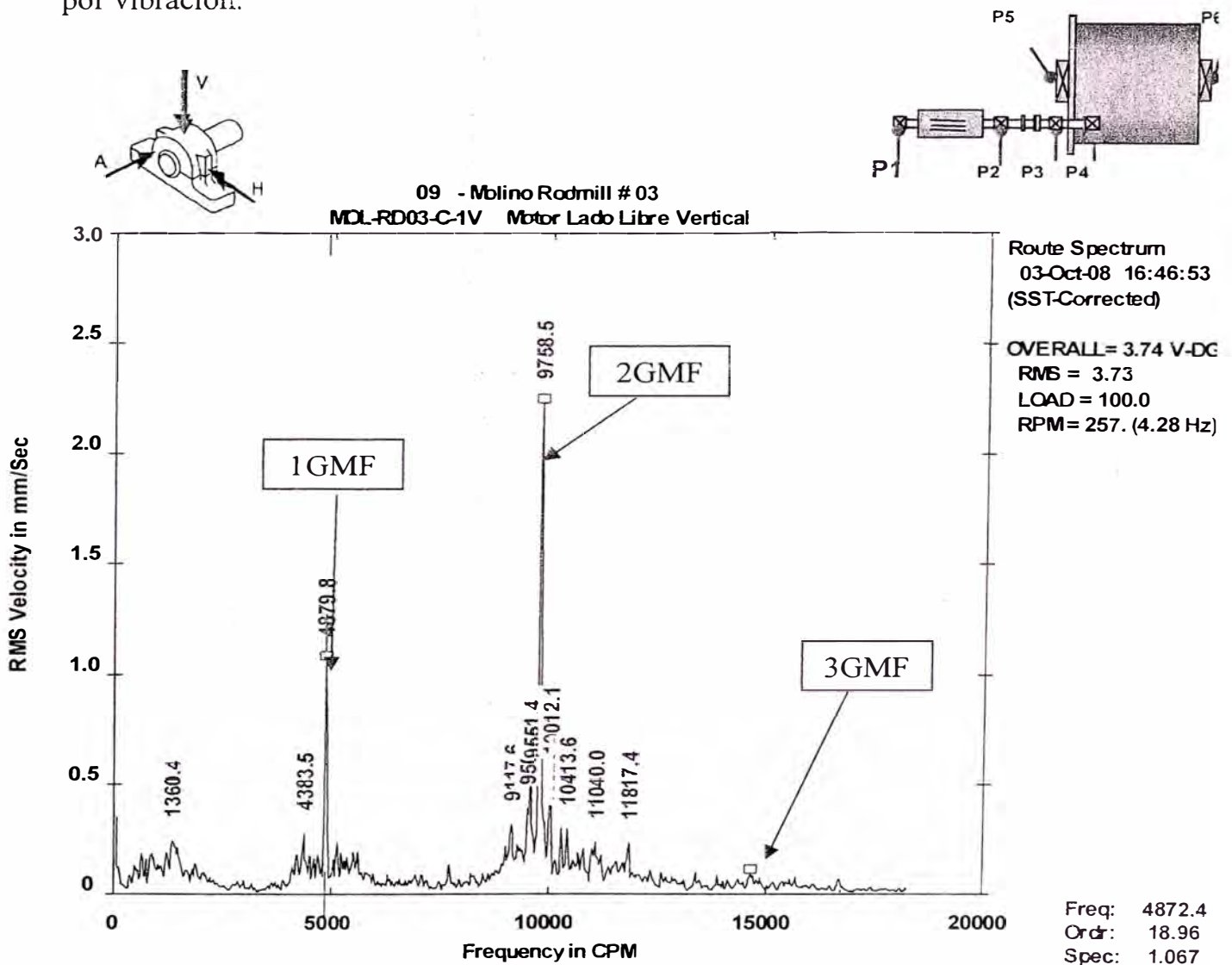
Del análisis espectral del punto de apoyo N° 1 en la dirección horizontal se observa que se presentan picos vibratoriales a las armónicas del GMF (Gear Mear Frecuency ó Frecuencia de Engranaje). El GMF se calcula multiplicando el número de dientes del engranaje por su velocidad, así:

$$Pico\ vibratorio\ (GMF) = (RPM) (N^{\circ}\ dientes\ piñón)$$

$$Pico\ vibratorio\ (GMF) = (256.5\ RPM) (19\ dientes)$$

$$Pico\ vibratorio\ (GMF) = 4873.5cpm$$

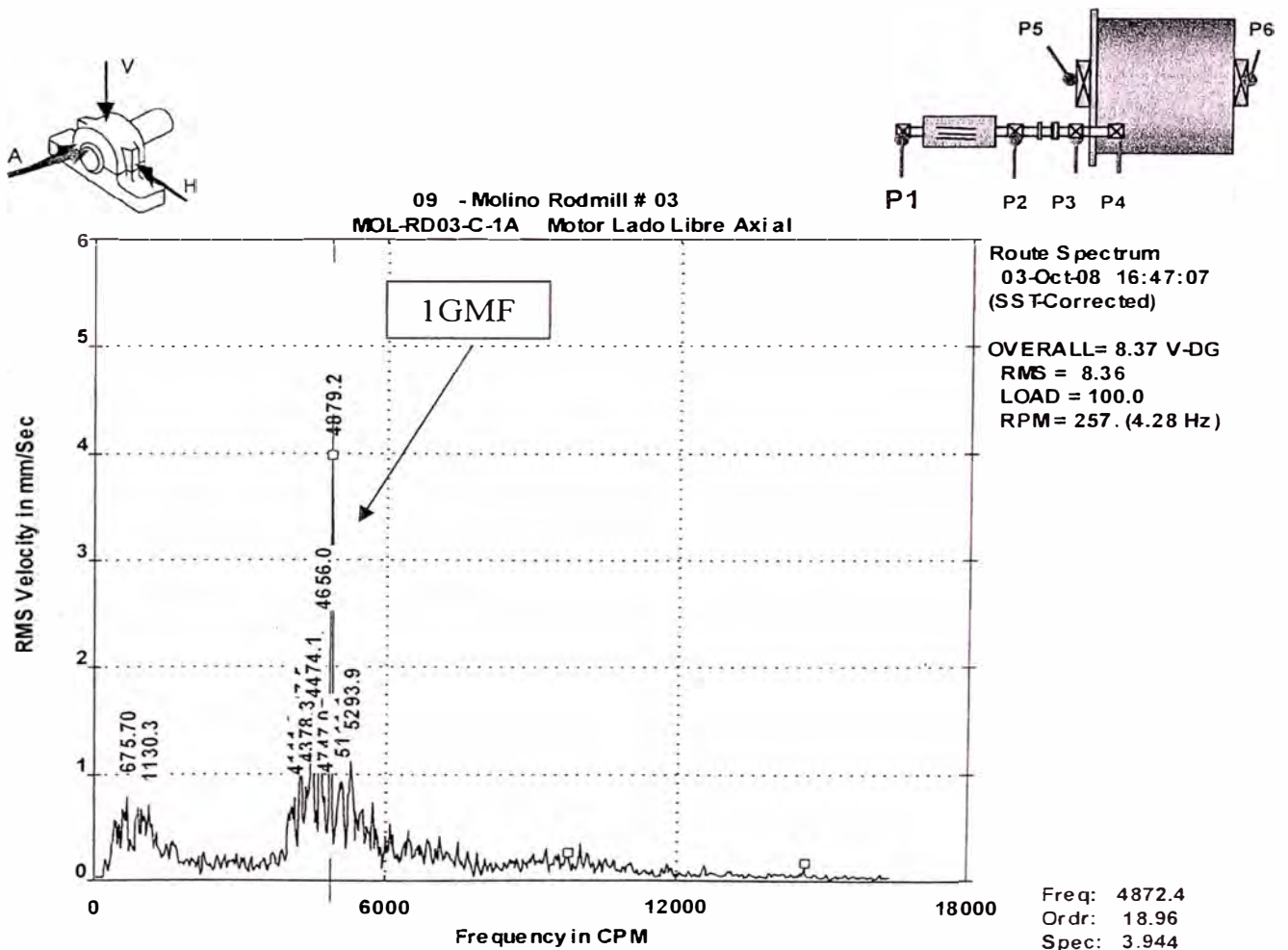
Estos picos son el efecto del encuentro entre dientes entre el piñón y catalina que se reflejan en el motor. Como podemos observar en la leyenda del gráfico, el RMS es mínimo: 3.62 mm/sg por lo que de acuerdo a la norma ISO 10816 y al comportamiento histórico de este motor, este valor global es aceptable, concluyéndose que no se tiene problemas mecánicos originados por vibración.



Del análisis espectral del punto de apoyo N°1 en la dirección vertical se observa que se presentan picos a las armónicas del GMF (Gear Mear Frequency).

Estos picos, tal como se indicó en el punto 1H, son el efecto del encuentro entre dientes entre el piñón y catalina que se reflejan en el motor. Como podemos observar en la leyenda del gráfico, el RMS es mínimo: 3.73 mm/sg por lo que de manera similar al análisis anterior, este valor global es aceptable.

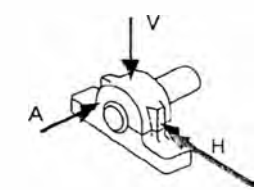
Sin embargo se observa que tanto en el punto 1H como en el 1V, la segunda armónica del GMF es mayor que la primera, lo que indica, según la teoría vibracional, que se estaría produciendo un desalineamiento entre el piñón y la catalina, lo cual se verificará en el análisis de los punto de apoyo del contraeje, puntos 3 y 4.



Del análisis espectral del punto de apoyo N°1 en la dirección axial se observa que se presenta un solo pico en la primera armónica del GMF (Gear Mesh Frequency ó Frecuencia de Engrane) acompañado de bandas laterales.

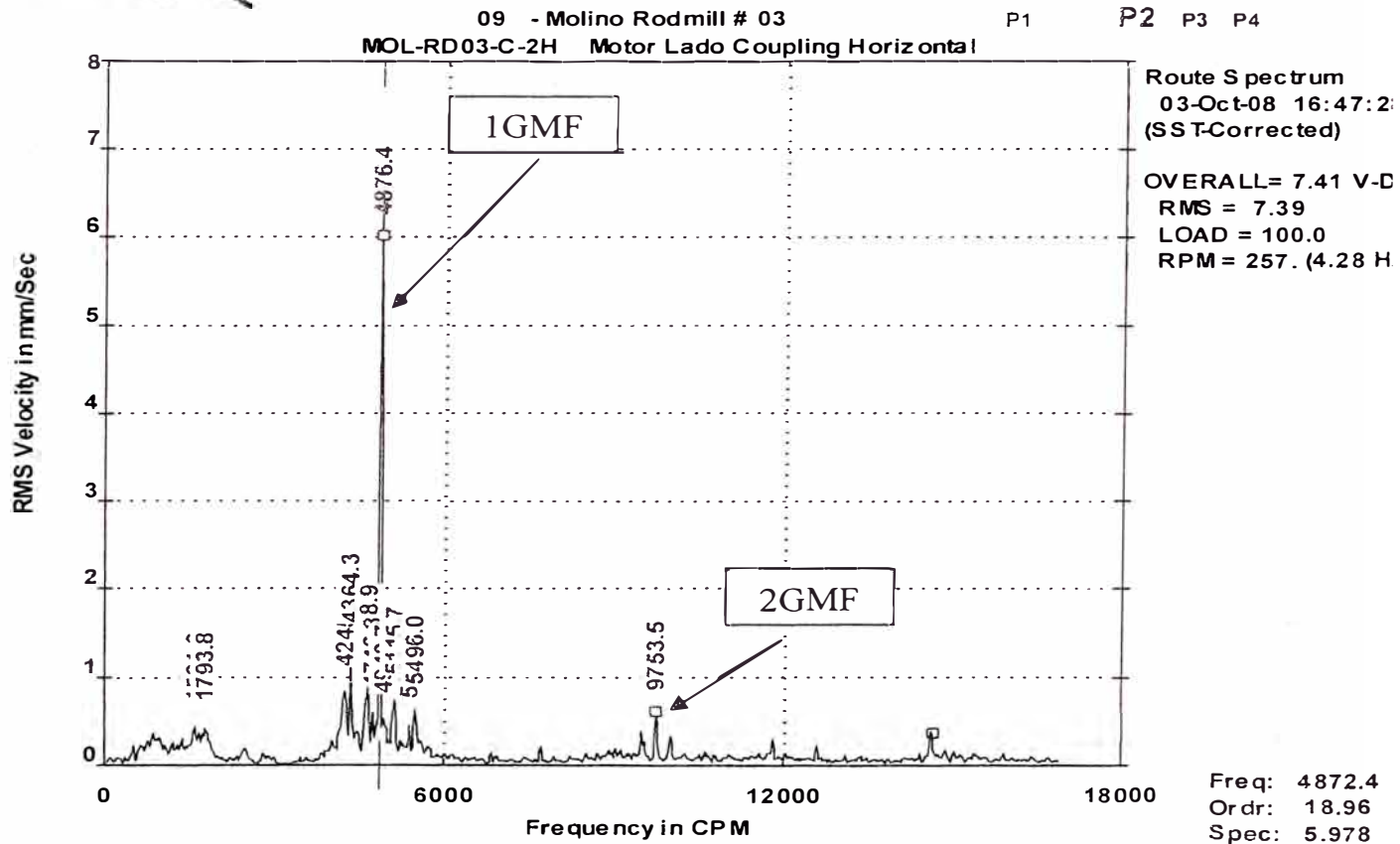
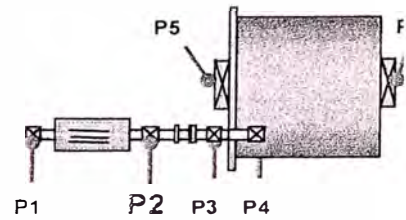
Si observamos en la leyenda del gráfico, el RMS es ligeramente alto: 8.36 mm/sg por lo que de acuerdo a la norma ISO 10816 y al comportamiento histórico de este motor, este valor global es inaceptable, concluyéndose que existe un problema mecánico. Este problema mecánico se interpreta como un golpeteo axial que está ocurriendo a la frecuencia de engrane. Recordemos que los engranajes son helicoidales por lo que el encuentro entre dientes producirá fuerzas en las componentes radiales (vertical y horizontal) y axiales.

La componente axial está originando fuerte vibración en este punto, lo que nos indica que está existiendo soltura en la chumacera de este punto de apoyo del motor.



PUNTO 2

Apoyo motor eléctrico, lado acoplamiento

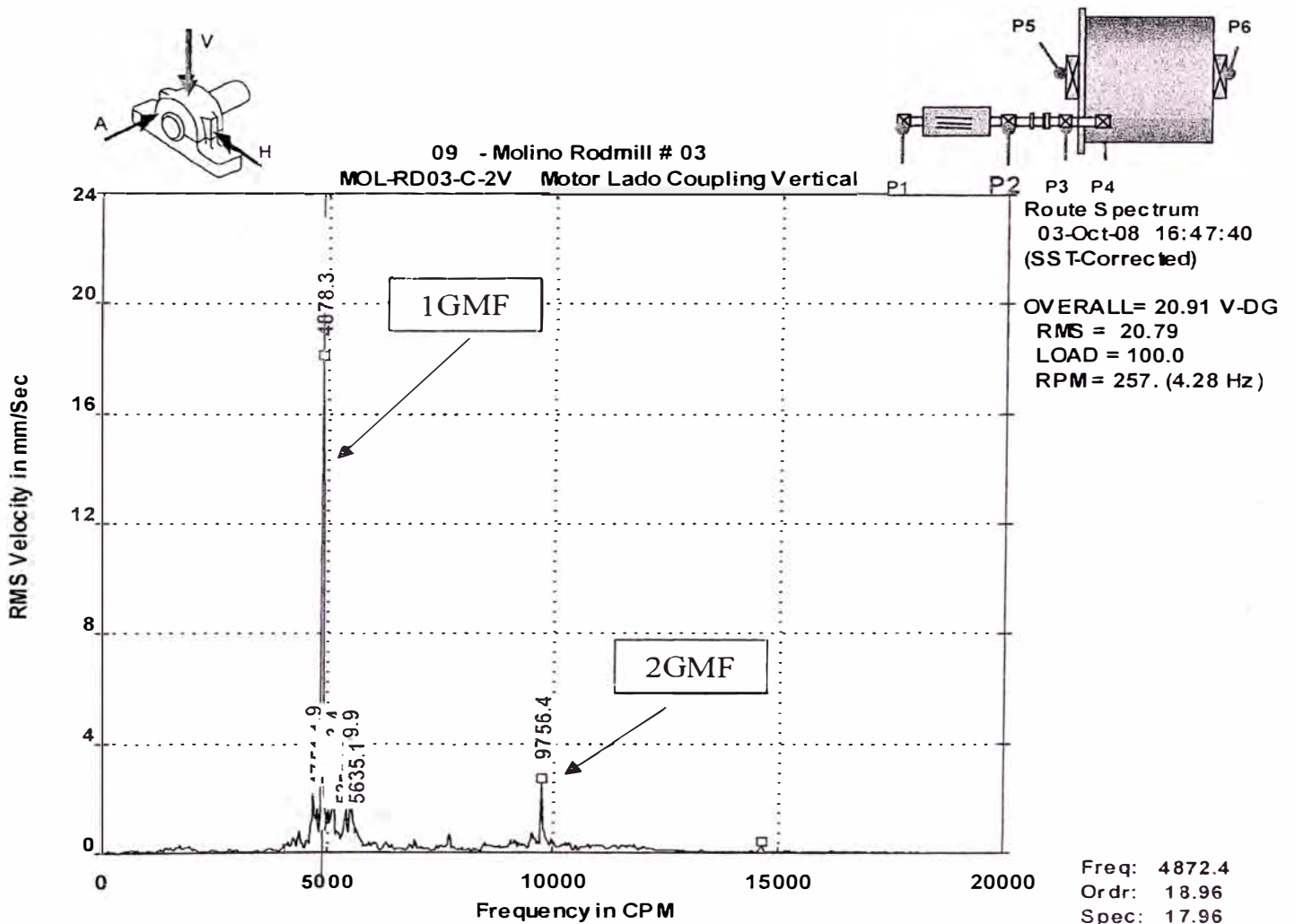


Del análisis espectral del punto de apoyo N°2 en la dirección horizontal se observa que se presentan picos a la primera y a la segunda armónica del GMF (Gear Mesh Frequency o Frecuencia de Engrane).

Estos picos, tal como se indicó en el análisis del punto anterior, son el efecto del encuentro entre dientes entre el piñón y catalina que se reflejan en el motor.

Del gráfico, el RMS nos indica que nos encontramos en zona inadmisibles: 7.39 mm/sg, es decir ligeramente por encima del valor límite de 7.1 mm/sg (ver tabla E).

Dado que este valor está cercano al límite, es necesario analizar los valores RMS y los espectros de los otros componentes vibracionales de este punto para verificar así como identificar la existencia de una falla.



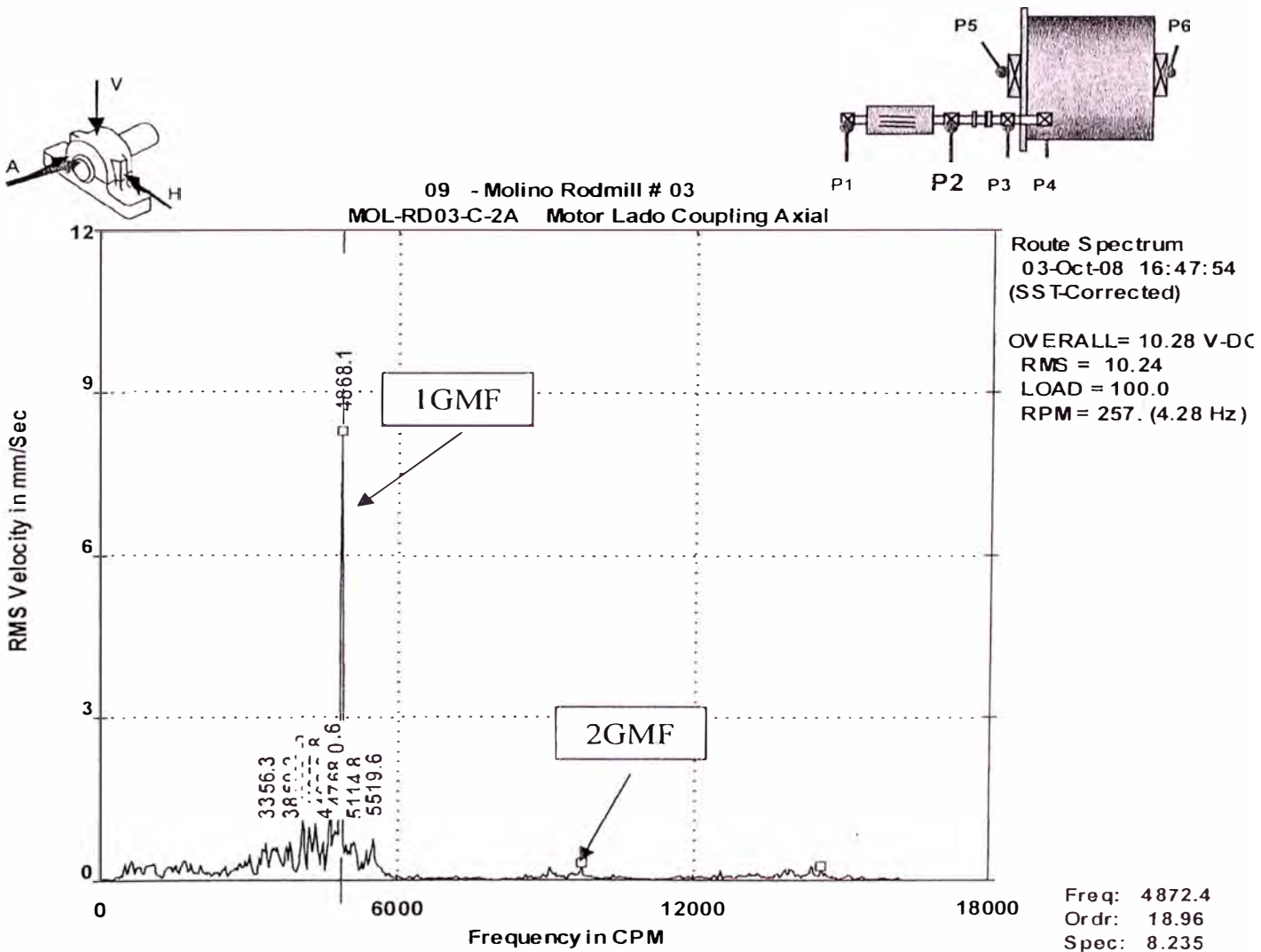
Del análisis espectral del punto de apoyo N°2 en la dirección vertical se observa que se presentan picos a la primera y a la segunda armónica del GMF (Gear Mear Frequency).

Estos picos, tal como se indicó en el análisis del punto anterior, son el efecto del encuentro entre dientes entre el piñón y catalina que se reflejan en el motor.

Del gráfico, el RMS nos indica que nos encontramos en zona inadmisible: 20.79 mm/sg, es decir totalmente fuera del valor límite de 7.1 mm/sg (ver tabla E).

Con este valor inadmisible de sólo esta componente, podemos concluir que definitivamente existe un problema mecánico en este punto.

Este problema, se interpreta como soltura en este punto de apoyo.

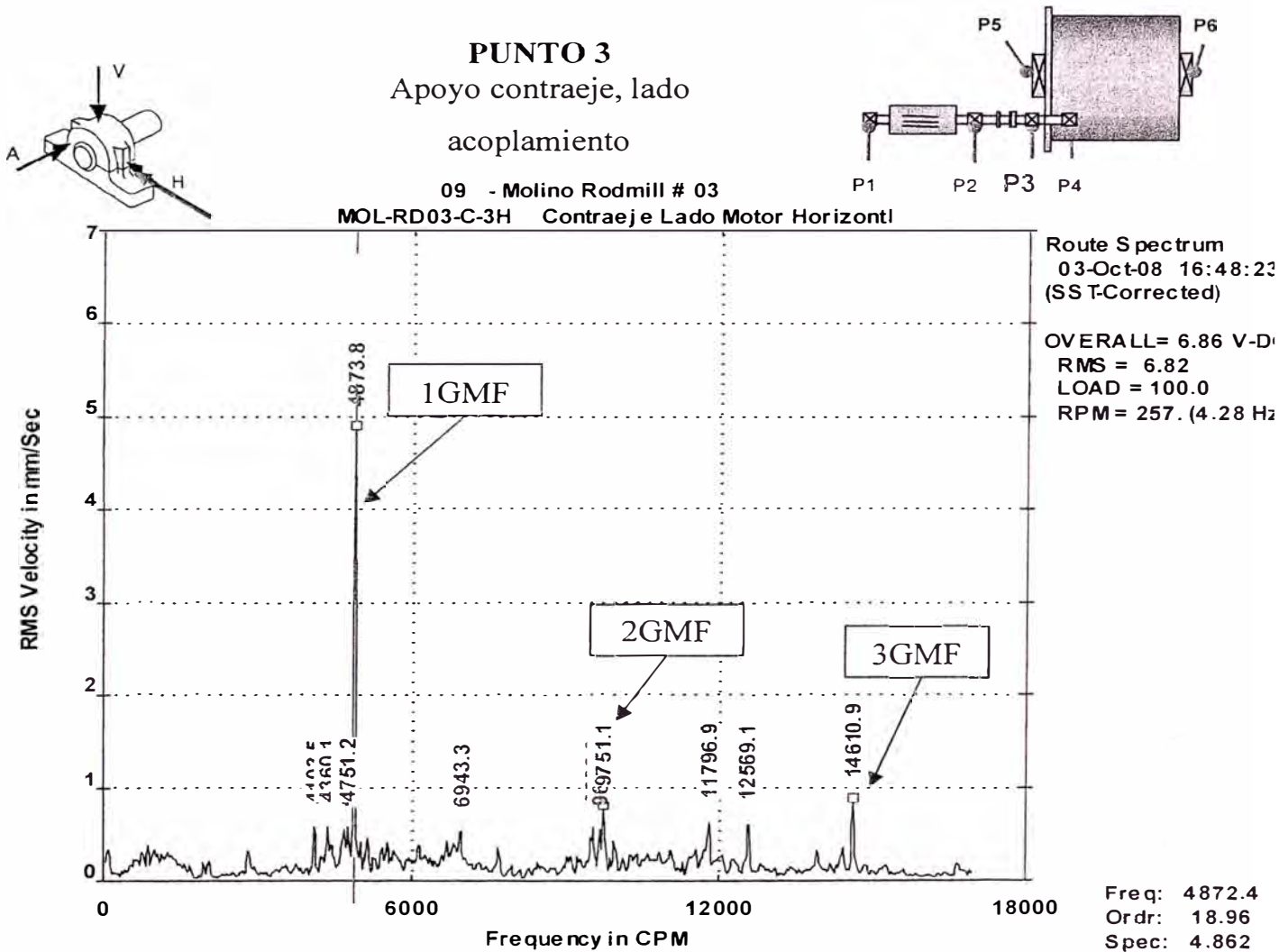


Del análisis espectral del punto de apoyo N°2 en la dirección axial se observa que se presenta un único pico a la primera armónica del GMF (Gear Mear Frecuency).

Estos picos, tal como se indicó en el análisis del punto anterior, son el efecto del encuentro entre dientes entre el piñón y catalina que se reflejan en el motor.

Del gráfico, el RMS nos indica que nos encontramos en zona inadmisibile: 10.24 mm/sg, es decir fuera del valor límite de 7.1 mm/sg (ver tabla E).

Este valor inadmisibile comprueba la condición de falla potencial en este punto detectada en el análisis del punto 2V. Este problema, se interpreta como soldadura en este punto de apoyo.

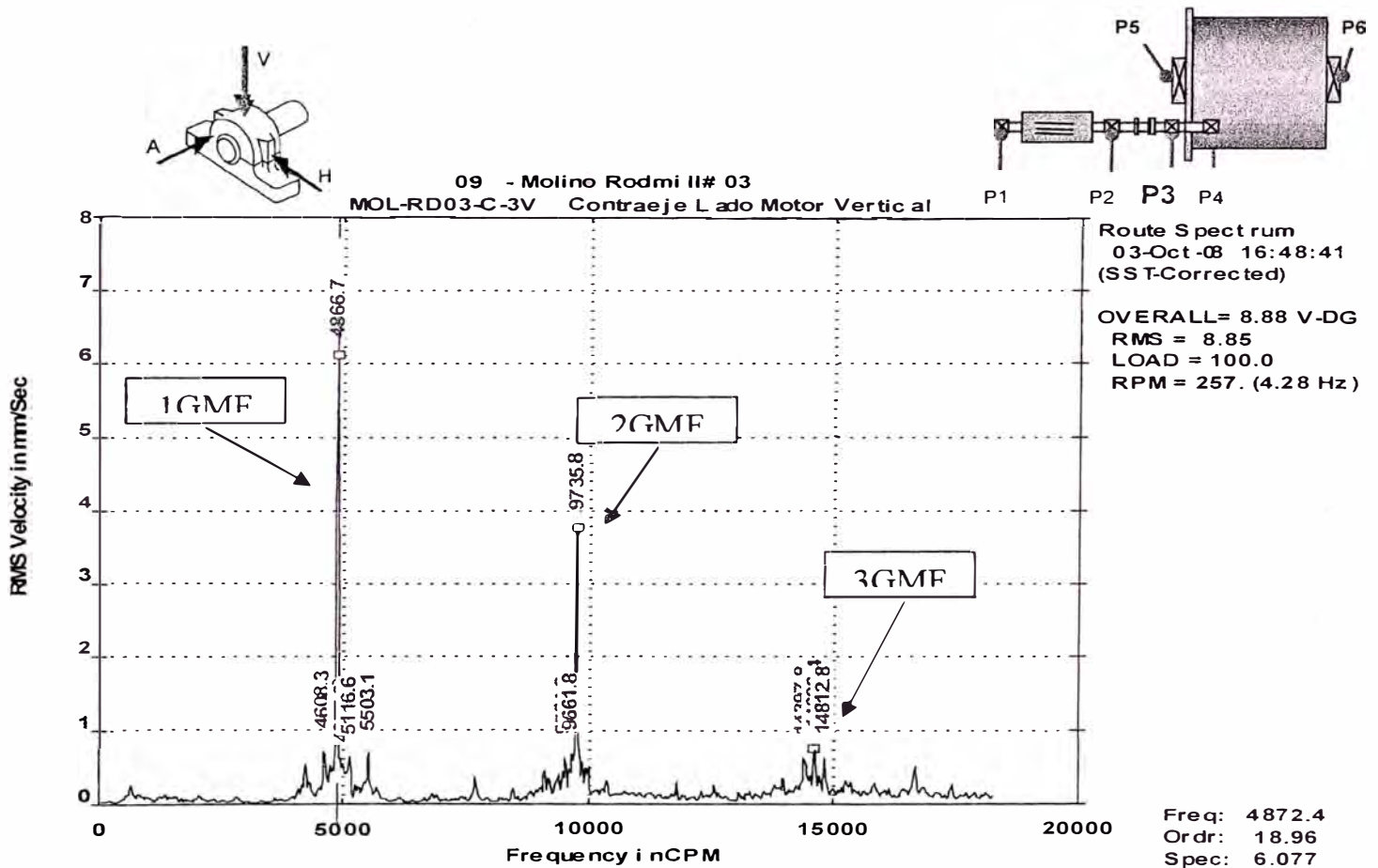


Del análisis espectral del punto de apoyo N°3 en la dirección horizontal se observa que se presentan picos a los armónicos del GMF (Gear Mesh Frequency).

Estos natural encontrar estos armónicos que se originan por el encuentro entre dientes entre piñón y catalina, y cuyo efecto incluso se refleja en los otros puntos de apoyo, tal como vimos en el análisis de los puntos 1 y 2.

El valor RMS que vemos en la leyenda del gráfico nos indica que nos encontramos en zona admisible: 6.82 mm/sg, es decir por debajo del valor límite de 7.1 mm/sg (ver tabla E).

Por lo tanto sólo con el espectro de este punto podríamos decir que no se tienen problemas mecánicos. Sin embargo habrá que ver los espectros en las otras direcciones de este punto 03, para sacar conclusiones.

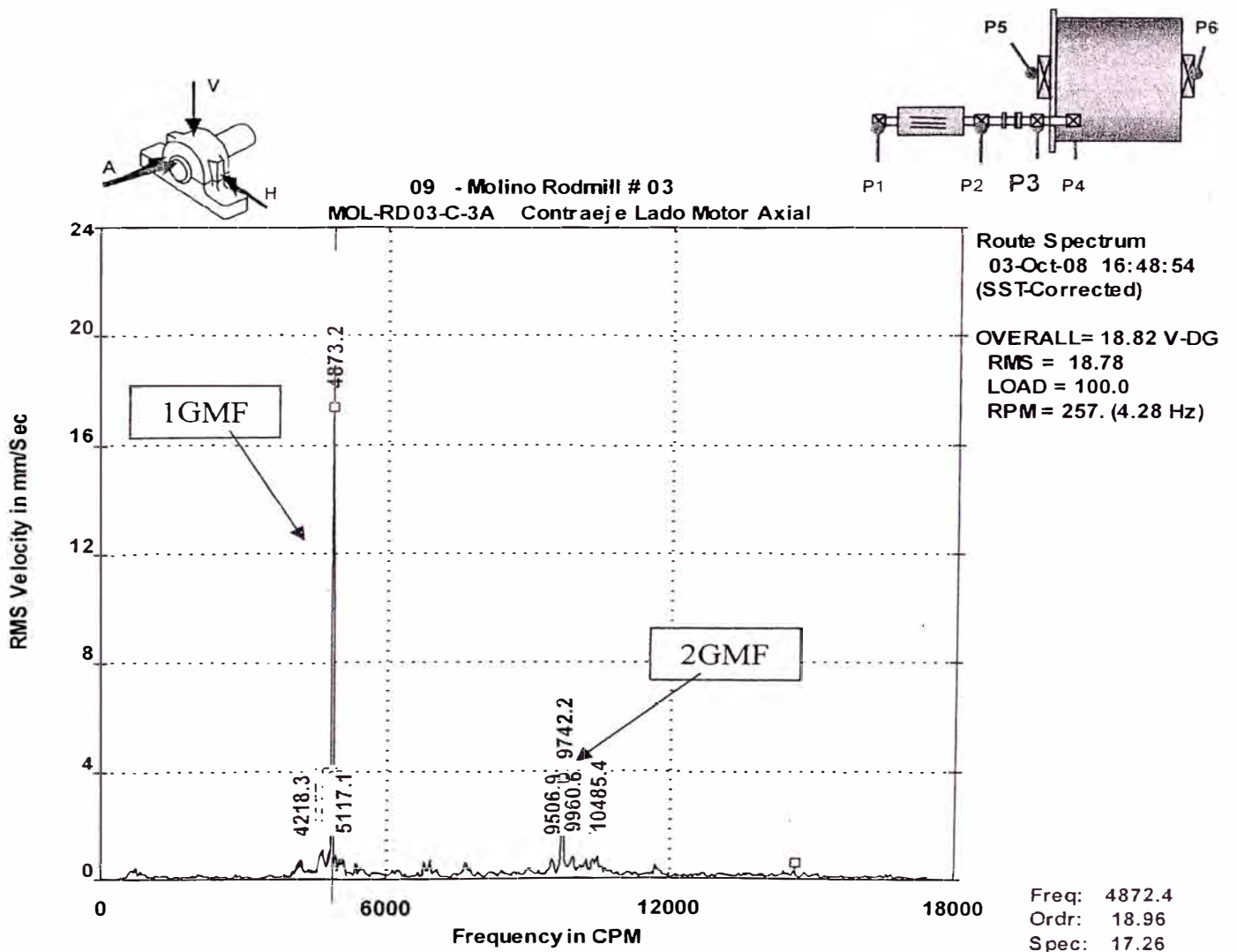


Del análisis espectral del punto de apoyo N°3 en la dirección vertical, se observa que se presentan picos a los armónicos del GMF (Gear Mear Frecuency).

Como decíamos anteriormente, es natural encontrar estos armónicos que se originan por el encuentro entre dientes entre piñón y catalina, y cuyo efecto

incluso se refleja en otros puntos de apoyo. Lo que no es natural es que el valor RMS esté por encima de valor límite admisible según ISO 10816-3, El valor RMS que vemos en la leyenda del gráfico nos indica que nos encontramos en zona inadmisibles: 8.88 mm/sg, es decir por encima del valor límite de 7.1 mm/sg (ver tabla E).

Sin embargo este valor no está muy por encima del valor límite, por lo que habrá que ver los espectros en las otras direcciones de este punto 03, para sacar conclusiones.



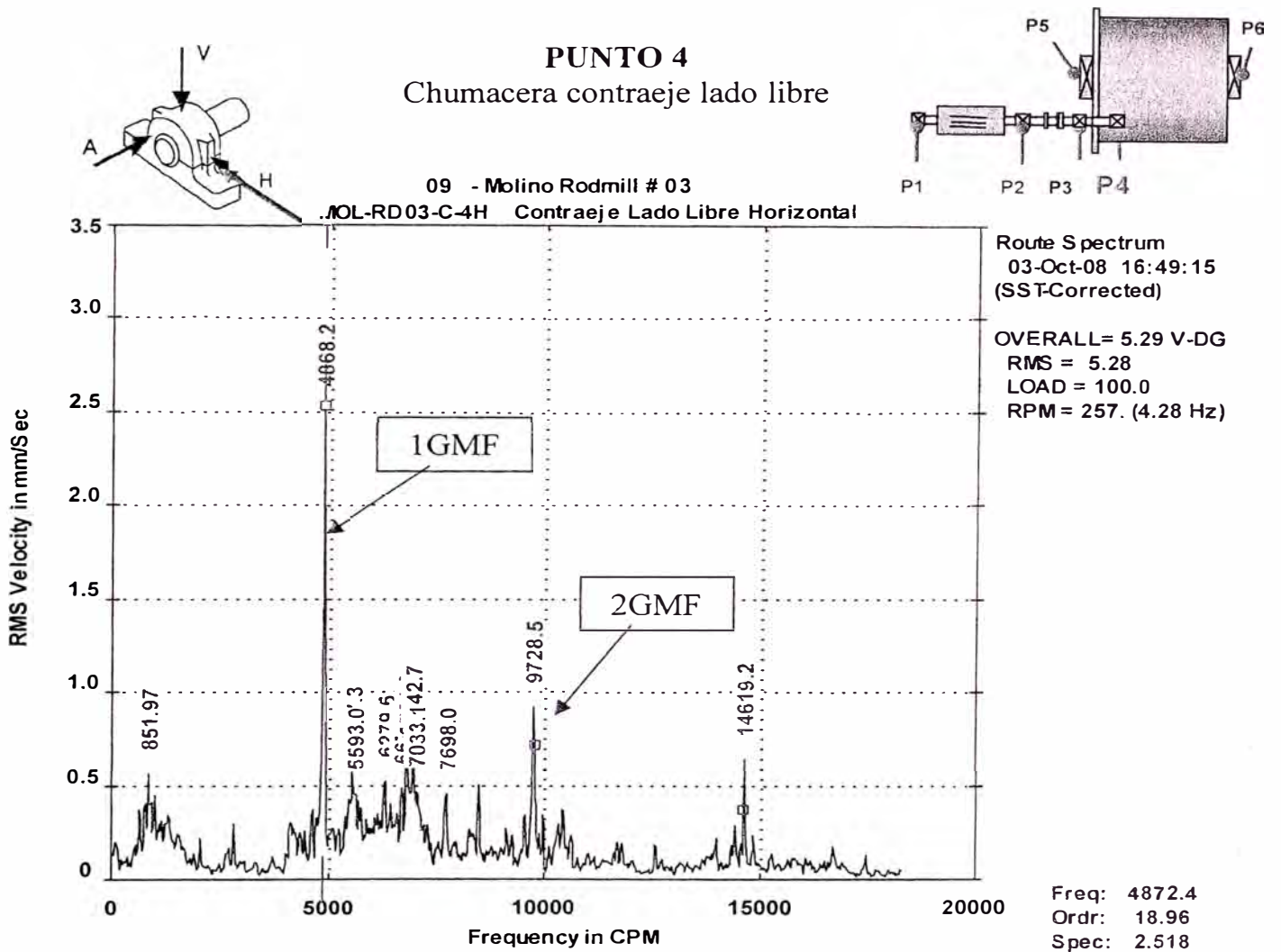
Del análisis espectral del punto de apoyo N°3 en la dirección axial, se observa que se presentan picos a la primera y segunda armónica del GMF (Gear Mear Frecuency).

El valor RMS que vemos en la leyenda del gráfico nos indica que nos encontramos en zona inadmisibile: 18.78 mm/sg, es decir por encima del valor límite de 7.1 mm/sg (ver tabla E).

Por lo tanto se verifica que existe un problema mecánico en este punto de apoyo que había sido sospechado en el análisis del punto anterior 3V.

De acuerdo a los espectros, se identifica como soldadura en la chumacera de este punto de apoyo. Asimismo se verifica desalineamiento que había sido sospechado en el análisis del punto 1.

Se descarta desgaste entre dientes porque no se visualizan bandas laterales en los armónicos del GMF.

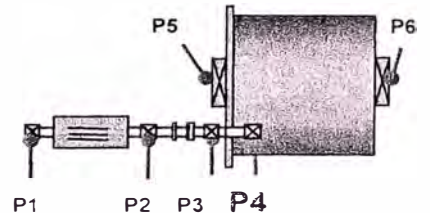
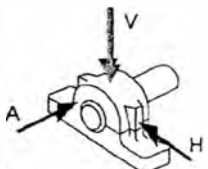
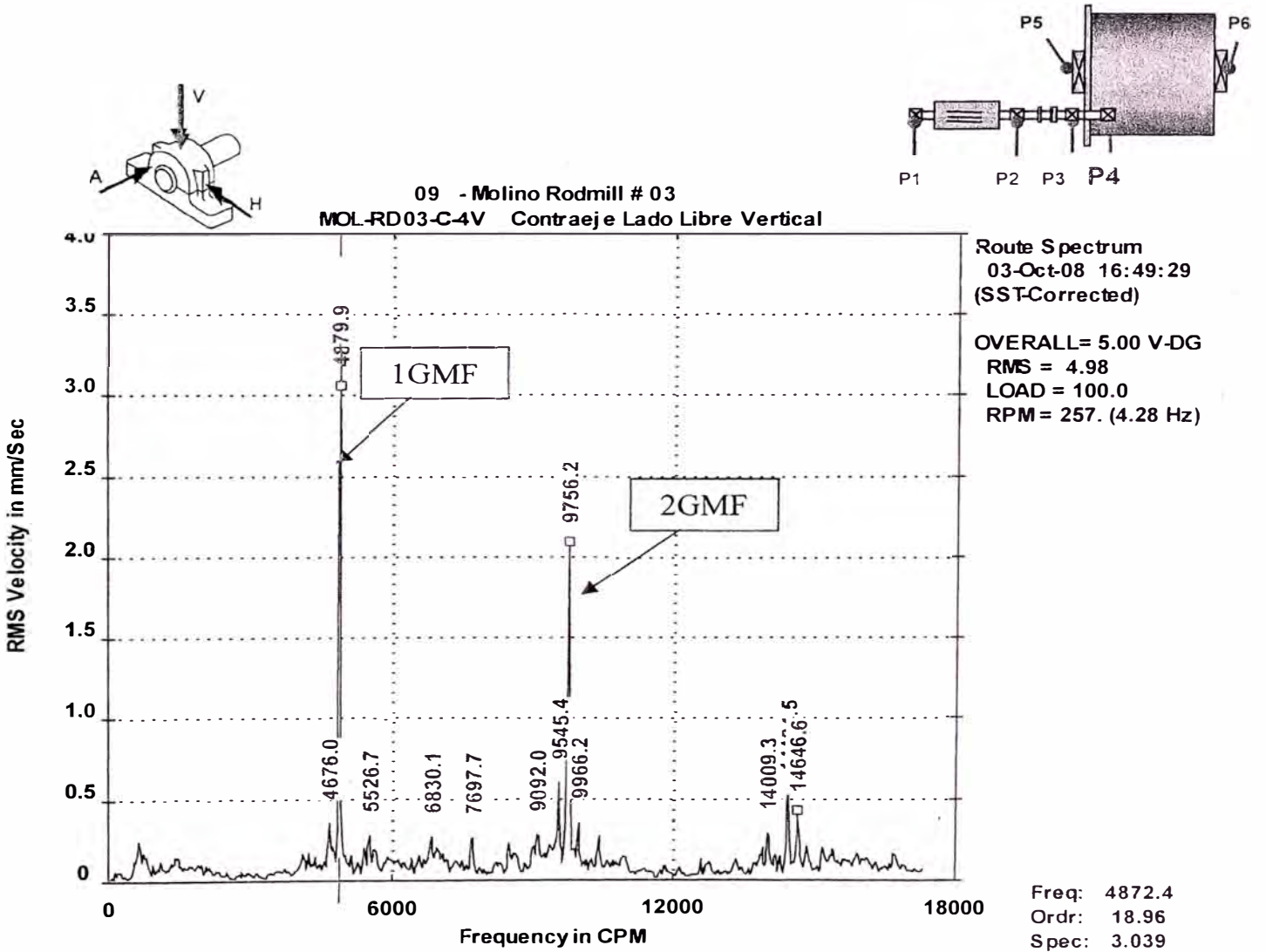


Del análisis espectral del punto de apoyo N° 4 en la dirección horizontal se observa que se presentan picos a los armónicos del GMF (Gear Mear Frequency).

Como decíamos anteriormente es natural encontrar estos armónicos que se originan por el encuentro entre dientes entre piñón y catalina, más aún si estamos observando los espectros del punto de apoyo N° 4, que es uno de los apoyos del contraeje.

El valor RMS que vemos en la leyenda del gráfico nos indica que nos encontramos en zona admisible: 5.28 mm/sg, es decir por debajo del valor límite de 7.1 mm/sg (ver tabla E).

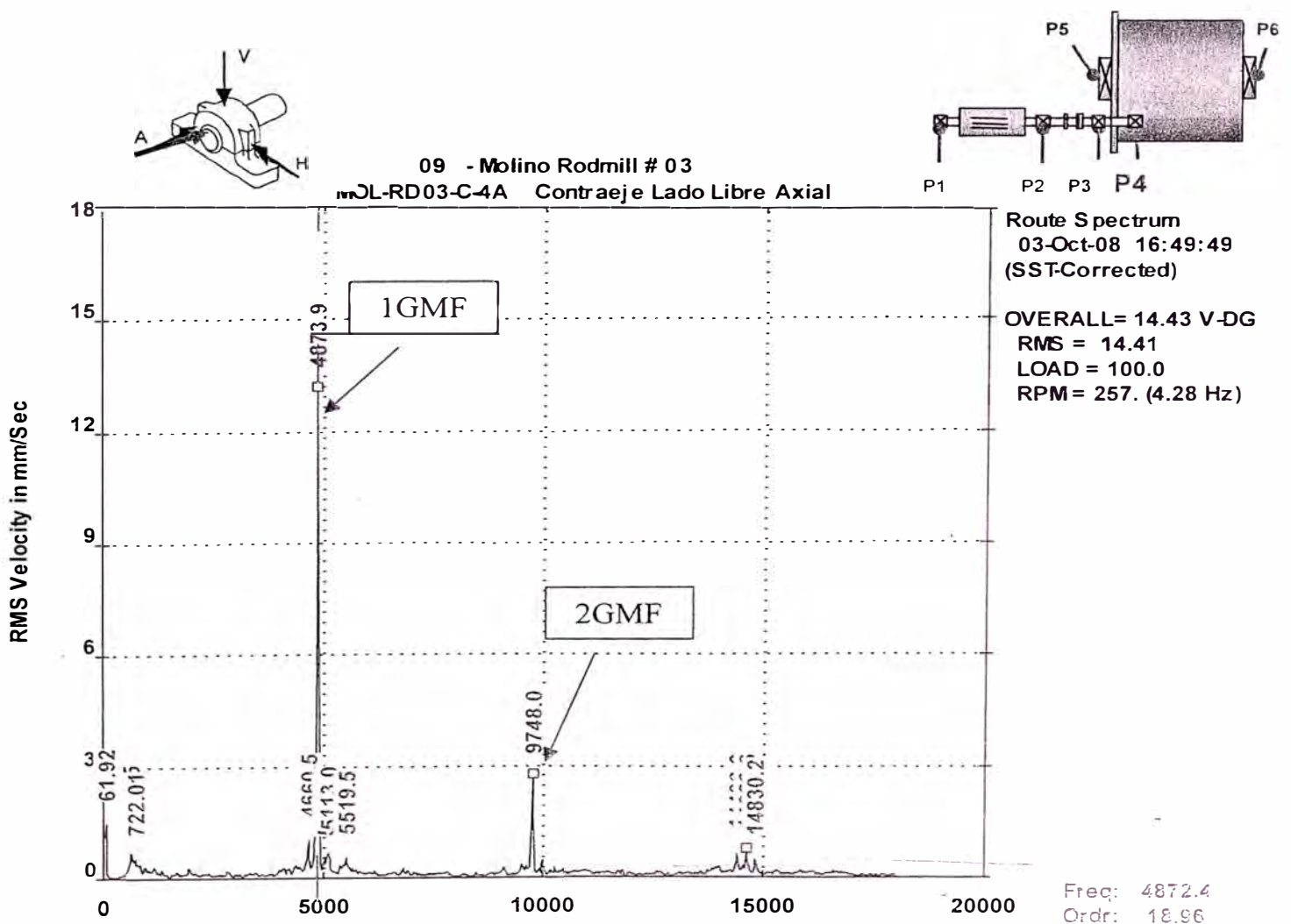
Por lo tanto sólo con el espectro de este punto podríamos decir que no se tienen problemas mecánicos. Sin embargo habrá que ver los espectros en las otras direcciones de este punto 04, para sacar conclusiones.



Del análisis espectral del punto de apoyo N° 4 en la dirección vertical, se observa que se presentan picos a los armónicos del GMF (Gear Mesh Frequency), lo cual es natural como decíamos anteriormente.

Veamos ahora si el valor RMS en este punto y en la vertical está por encima de valor límite admisible según ISO 10816-3. El valor RMS que vemos en la leyenda del gráfico nos indica que nos encontramos en zona admisible: 4.98 mm/sg, es decir por debajo del valor límite de 7.1 mm/sg (ver tabla E).

Por lo tanto en este punto tenemos dos valores RMS (horizontal y vertical) que están por debajo del valor límite. Veamos ahora la componente axial para verificar o hallar alguna falla que no haya sido detectada en los anteriores espectros.

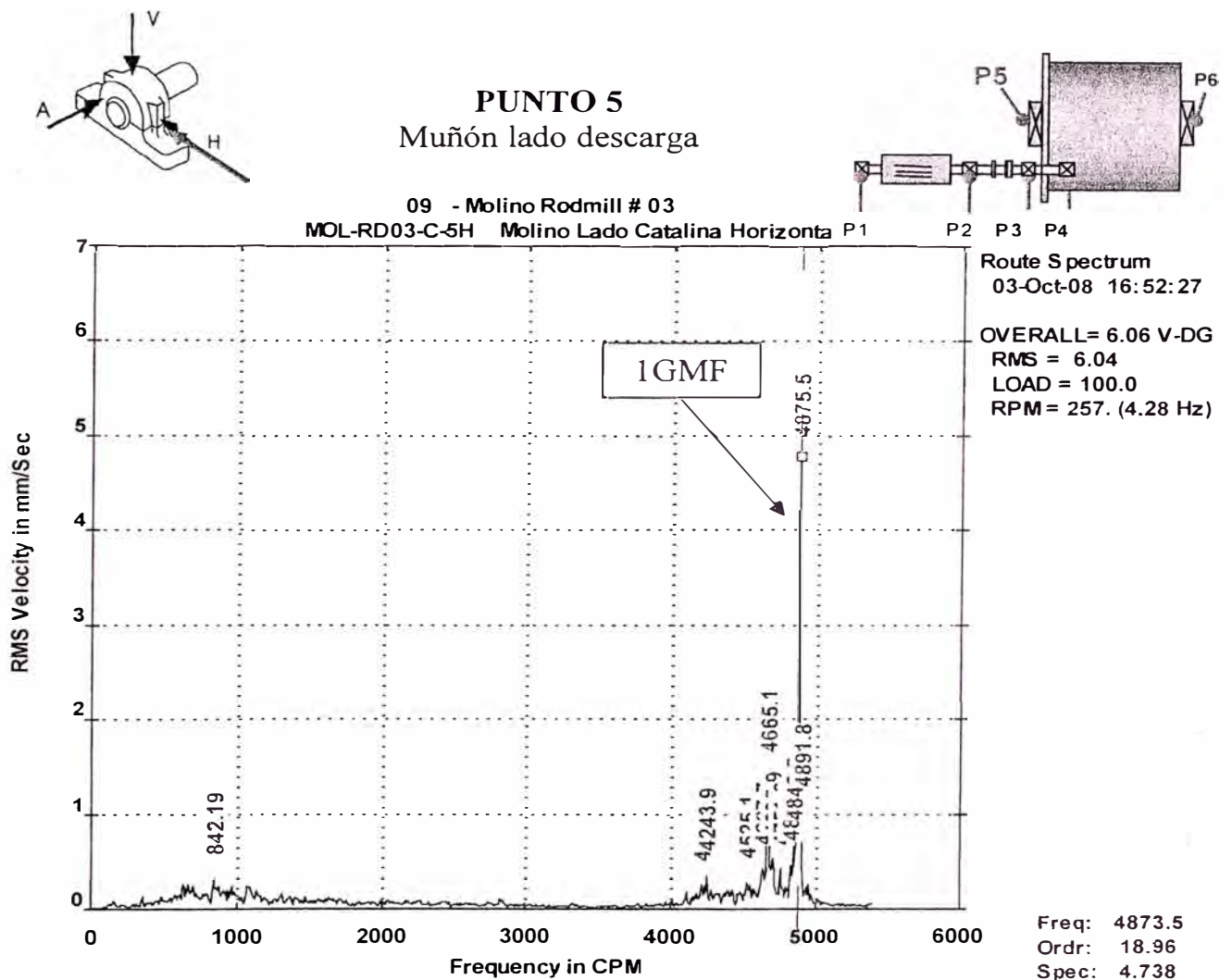


Del análisis espectral del punto de apoyo N° 4 en la dirección axial, se observa que se presentan picos a la primera y segunda armónica del GMF (Gear Mear Frecuency).

El valor RMS que vemos en la leyenda del gráfico nos indica que nos encontramos en zona inadmisibile: 14.41 mm/sg, es decir por encima del valor límite de 7.1 mm/sg (ver tabla E).

Por lo tanto observamos una falla potencial mecánica que no pudo ser detectada en el análisis de los espectros anteriores.

De acuerdo a los espectros, se identifica como soldadura en la chumacera de este punto de apoyo. Asimismo se verifica desalineamiento que había sido sospechado en el análisis del punto 1. Se descarta desgaste entre dientes porque no se visualizan bandas laterales en los armónicos del GMF.

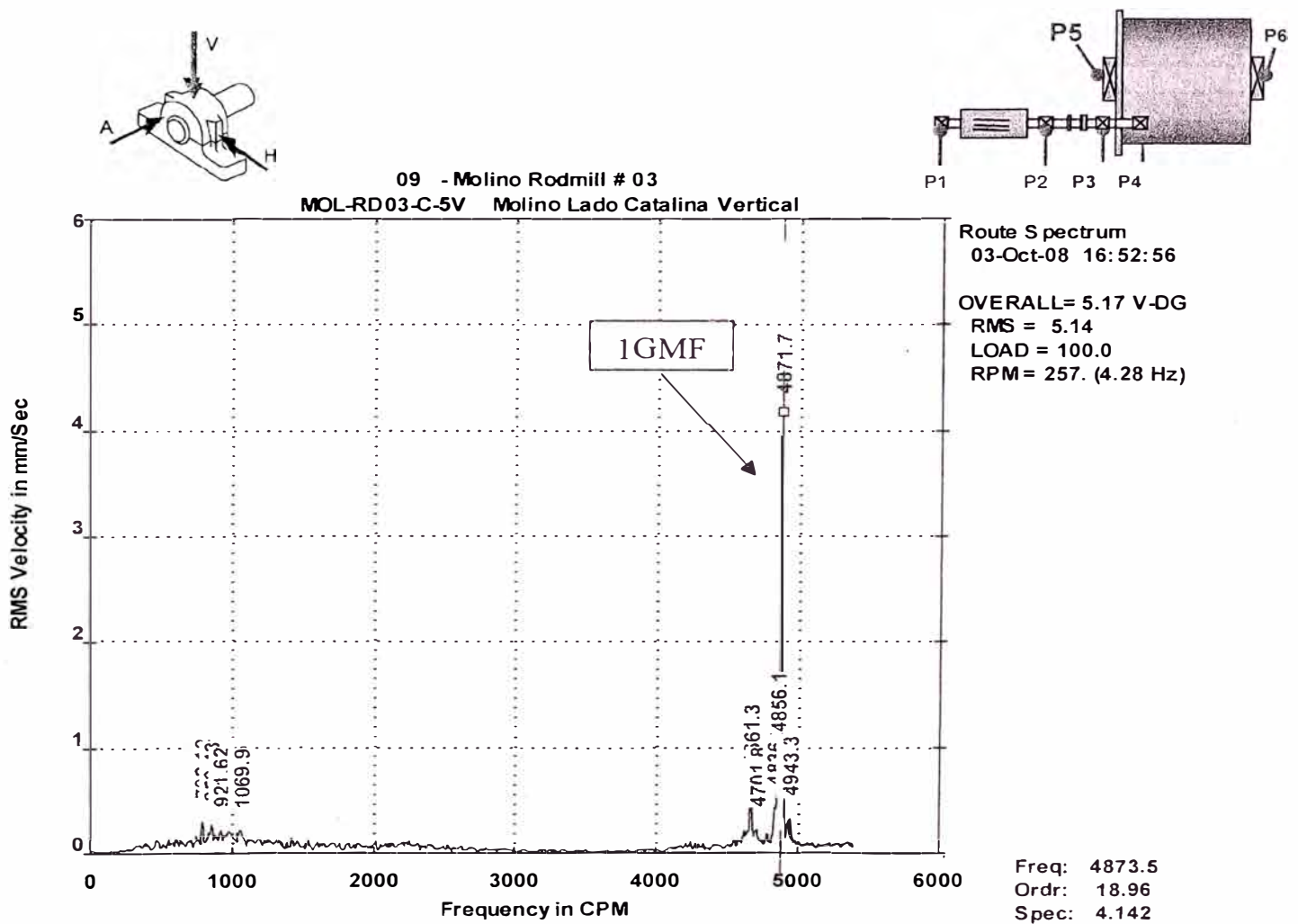


Del análisis espectral del punto de apoyo N° 5 en la dirección horizontal se observa que se presenta un pico en el primer armónico del GMF (Gear Mear Frecuency).

Como decíamos anteriormente es natural encontrar estos armónicos que se originan por el encuentro entre dientes entre piñón y catalina. Sin embargo para determinar si este efecto es relevante o no debemos revisar el valor RMS medido en este punto y en esta dirección.

El valor RMS que vemos en la leyenda del gráfico nos indica que nos encontramos en zona admisible: 6.04 mm/sg, es decir por debajo del valor límite de 7.1 mm/sg (ver tabla E).

Por lo tanto sólo con el espectro de este punto podríamos decir que no se tienen problemas mecánicos. Sin embargo habrá que ver los espectros en las otras direcciones de este punto 05, para sacar conclusiones.

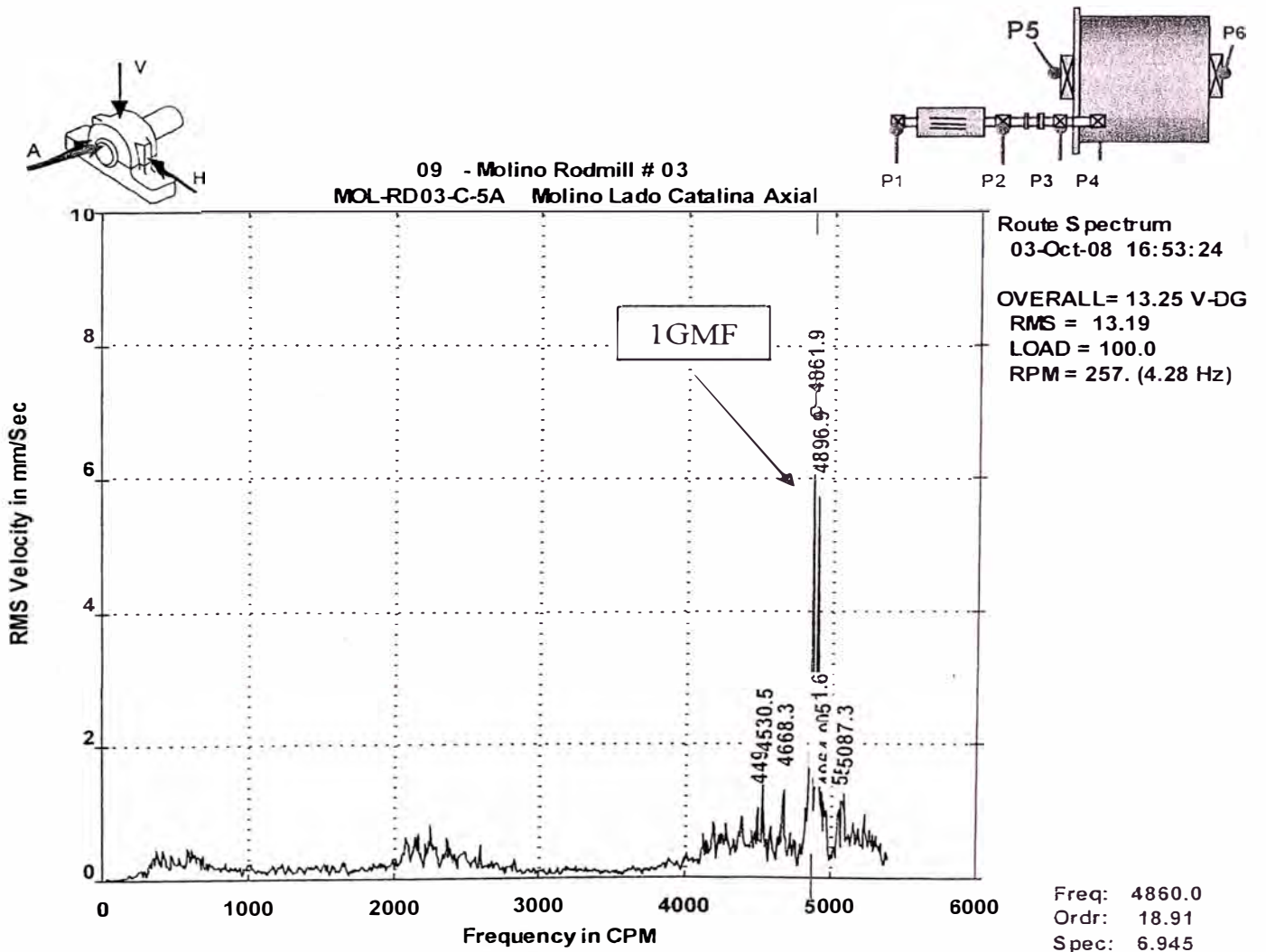


Del análisis espectral del punto de apoyo N° 5 en la dirección vertical, se observa que se presenta un pico en la primera armónica del GMF (Gear Mear Frecuency), lo cual es natural como decíamos anteriormente.

Veamos ahora si el valor RMS en este punto y en la vertical está por encima de valor límite admisible según ISO 10816-3.

El valor RMS que vemos en la leyenda del gráfico nos indica que nos encontramos en zona admisible: 5.14 mm/sg, es decir por debajo del valor límite de 7.1 mm/sg (ver tabla E).

Por lo tanto en este punto tenemos dos valores RMS (horizontal y vertical) que están por debajo del valor límite. Veamos ahora la componente axial para verificar o hallar alguna falla que no haya sido detectada en los anteriores espectros.

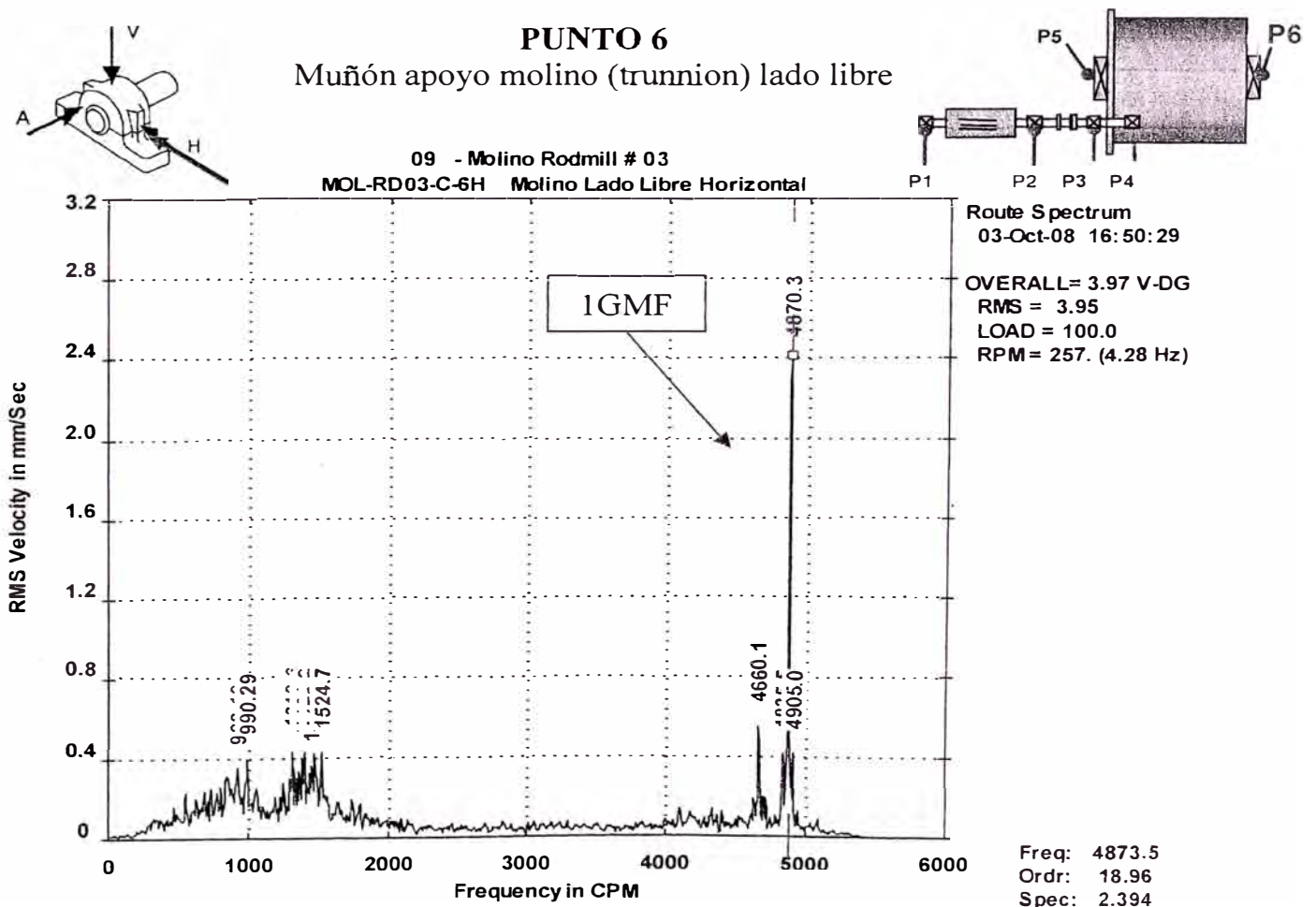


Del análisis espectral del punto de apoyo N° 5 en la dirección axial, se observa que se presenta un pico a la primera armónica del GMF (Gear Mesh Frequency), lo cual es natural como decíamos anteriormente.

El valor RMS que vemos en la leyenda del gráfico nos indica que nos encontramos en zona inadmisibile: 13.19 mm/sg, es decir por encima del valor límite de 7.1 mm/sg (ver tabla E).

Por lo tanto observamos una falla potencial mecánica que no pudo ser detectada en el análisis de los espectros anteriores.

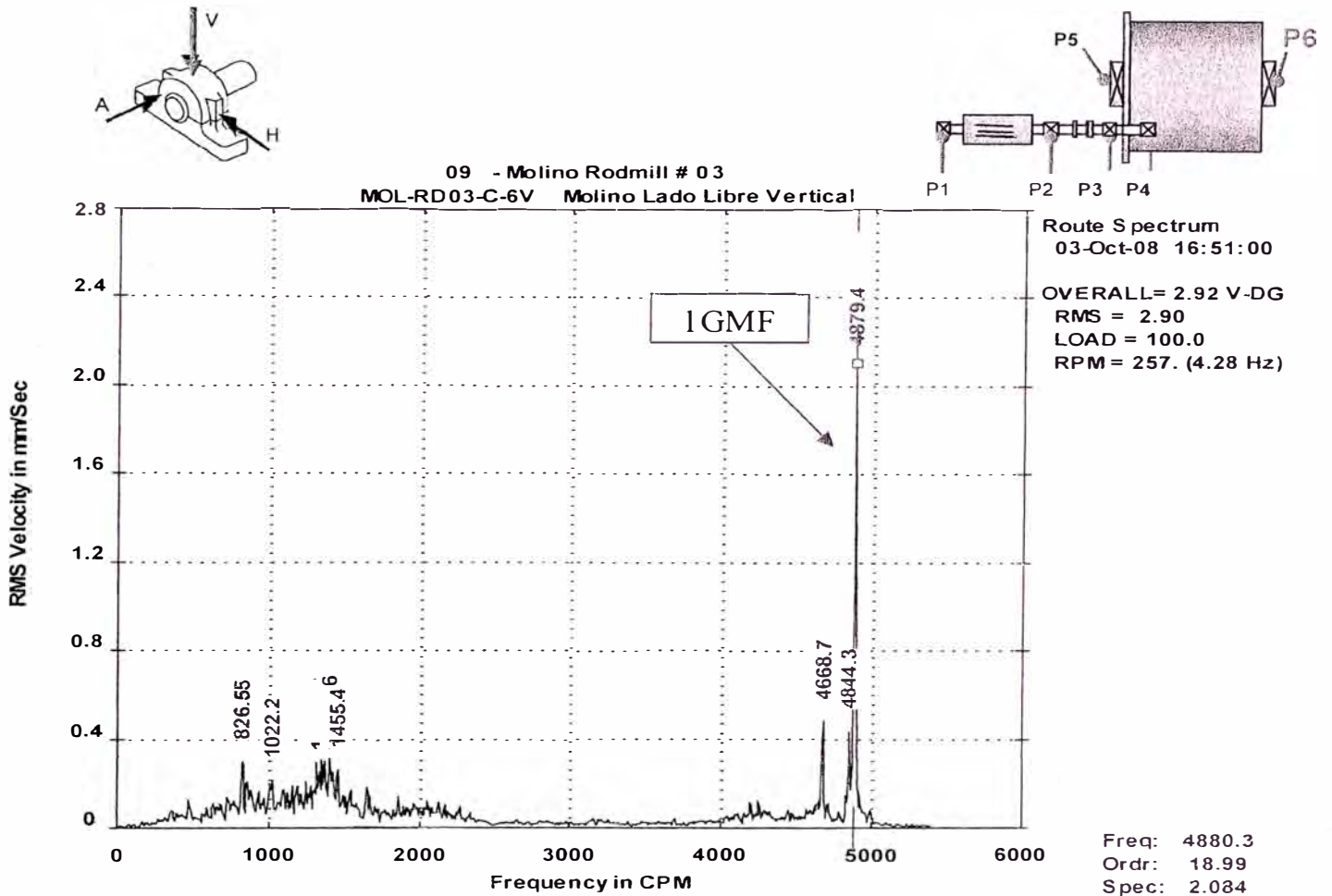
De acuerdo a los espectros, se identifica la falla como soltura tal como se determinó en los puntos 3 y 4, por lo que será necesario rebabitar esta chumacera.



Del análisis espectral del punto de apoyo N° 6 en la dirección horizontal se observa que se presenta un pico en el primer armónico del GMF (Gear Mear Frecuency).

Como decíamos anteriormente es natural encontrar estos armónicos que se originan por el encuentro entre dientes entre piñón y catalina. Sin embargo para determinar si este efecto es relevante o no debemos revisar el valor RMS medido en este punto y en esta dirección.

El valor RMS que vemos en la leyenda del gráfico nos indica que nos encontramos en zona admisible: 3.95 mm/sg, es decir por debajo del valor límite de 7.1 mm/sg (ver tabla E). Por lo tanto sólo con el espectro de este punto podríamos decir que no se tienen problemas mecánicos. Sin embargo habrá que ver los espectros en las otras direcciones de este punto 05, para sacar conclusiones.



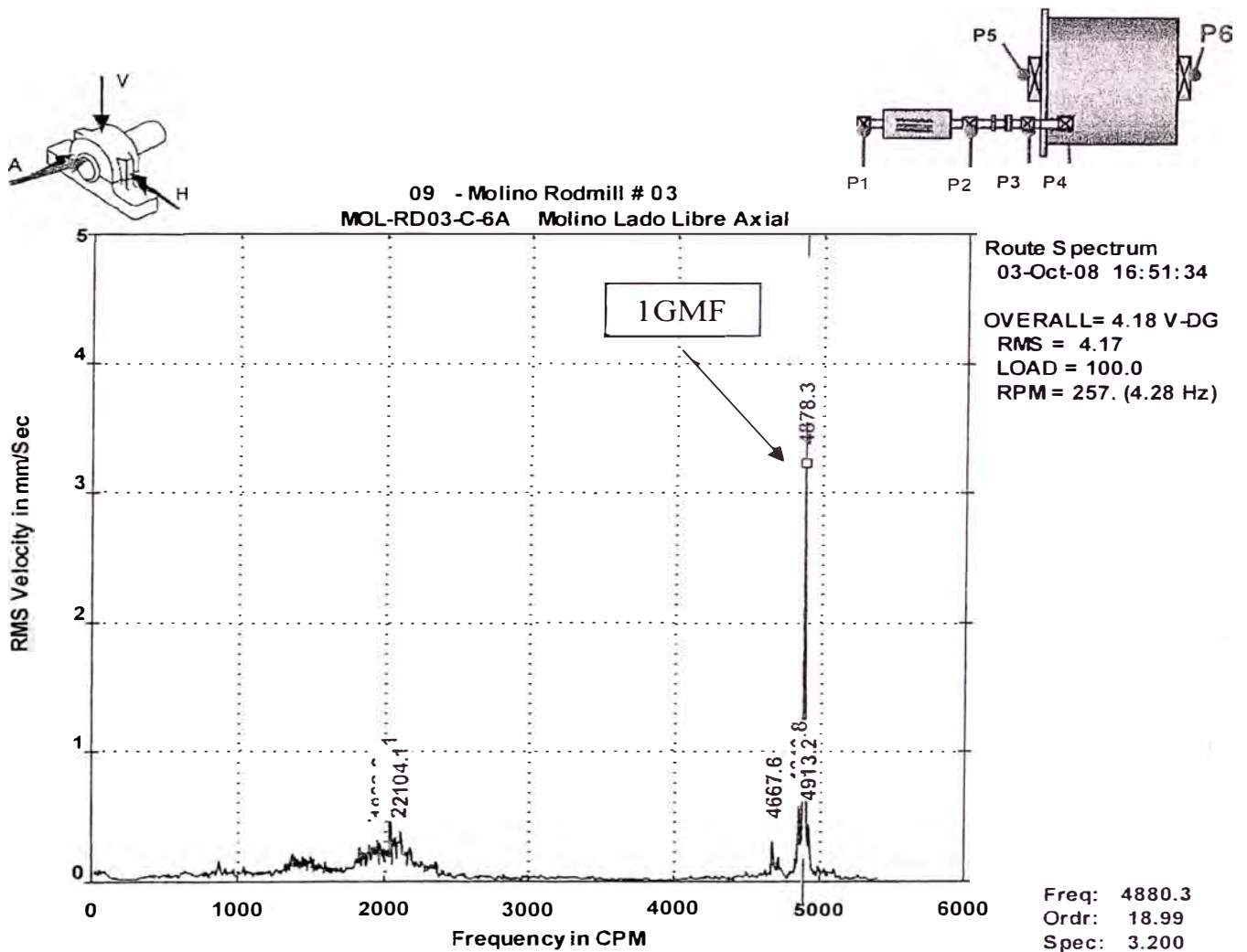
Del análisis espectral del punto de apoyo N° 6 en la dirección vertical, se observa que se presenta un pico en la primera armónica del GMF (Gear Mear Frecuency), lo cual es natural como decíamos anteriormente.

Veamos ahora si el valor RMS en este punto y en la vertical está por encima de valor límite admisible según ISO 10816-3.

El valor RMS que vemos en la leyenda del gráfico nos indica que nos encontramos en zona admisible: 2.90 mm/sg, es decir por debajo del valor límite de 7.1 mm/sg (ver tabla E).

Por lo tanto en este punto tenemos dos valores RMS (horizontal y vertical) que están por debajo del valor límite. Veamos ahora la componente axial para

verificar o hallar alguna falla que no haya sido detectada en los anteriores espectros.



Del análisis espectral del punto de apoyo N° 6 en la dirección axial, se observa que se presenta un pico a la primera armónica del GMF (Gear Mear Frequency), lo cual es natural como decíamos anteriormente.

El valor RMS que vemos en la leyenda del gráfico nos indica que nos encontramos en zona admisible: 4.17 mm/sg, es decir por debajo del valor límite de 7.1 mm/sg (ver tabla E).

Por lo tanto ningún espectro de este punto (horizontal, vertical, axial) arroja algún indicio de problema mecánico, por lo que concluimos que no se necesita hacer ninguna acción correctiva en este punto de apoyo.

Recomendación de acciones correctivas para eliminar fallas identificadas

A continuación presentaremos un cuadro resumen con los Problemas encontrados y acciones correctivas que se deben hacer en el conjunto motor-molino.

N° Punto	Descripción Punto Apoyo	Problema Encontrado	Acción Correctiva a Realizar
1	Motor eléctrico lado libre	Soltura chumacera	Cambiar chumacera
2	Motor eléctrico lado acoplamiento	Soltura chumacera	Cambiar chumacera
3	Contraeje lado acoplamiento	Soltura chumacera, desalineamiento axial	Cambiar chumacera con rodamiento, realizar alineamiento entre motor-contraeje
4	Contraeje lado libre	Soltura chumacera, desalineamiento axial	Cambiar chumacera con rodamiento, realizar alineamiento entre motor-contraeje
5	Muñón lado descarga	Soltura chumacera	Rebabitado chumacera
6	Muñón lado entrada	Ninguno	Ninguno

Además de los reemplazos y rebabitado de las chumaceras indicadas, deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

- ✓ Con respecto al alineamiento entre el piñón y catalina:
 - Juego backlash de 1/8" entre engranajes.
 - Luz o distancia desde raíz del diente a la cabeza del diente del otro engranaje 3/16".

- ✓ Debe verificarse la excentricidad de la catalina, considerando una variación máxima de $\frac{1}{4}$ " en toda su circunferencia.
- ✓ Debe verificarse las holguras o ajustes (tolerancias) de:
 - Rodamientos en las chumaceras de apoyo del contraeje.
 - Rodamientos sobre el eje del piñón contraeje
- ✓ Debe verificarse también las distancias entre el piñón contraeje y la catalina mediante la suma de sus radios primitivos.
- ✓ Debe verificarse las excentricidades de los cubos del acoplamiento que une motor con contraeje. Debe rectificarse y balancearse dinámicamente de ser necesario.
- ✓ Debe verificarse la regularidad y plenitud de las caras de los cubos. Esto es de suma importancia ya que en función a ello se efectuará el alineamiento entre el eje del motor y el contraeje
- ✓ El alineamiento se hará empleando lo siguiente:
 - Juego de Relojes Comparadores
 - Alineador láser CSI – Ultra Spec
 - Herramientas y accesorios: Torquímetro, juego de llaves necesarias de acuerdo a dimensiones de dispositivos de ajuste, juego de galgas, escuadra, wincha, tijera de hojalata, tiza jabón, nivel de precisión y micrómetro.
- ✓ Las tolerancias permisibles en el alineamiento son:

R.P.M.	PARALELO	ANGULAR
0 - 1000	0.09 mm	0.09 / 100 mm

- ✓ Gap o luz entre cubos del acoplamiento:

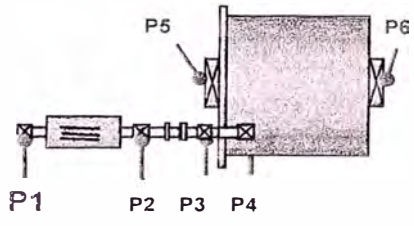
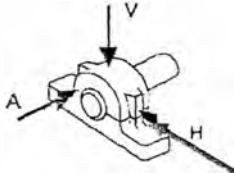
- Mínimo: 3/16"
- Máximo: 1/2"
- ✓ Se seguirá el siguiente procedimiento:
 - Inspeccionar el lugar de trabajo, accesos, la superficie, entorno, el grado de riesgo y dificultad del trabajo.
 - Trasladar todas las herramientas y accesorios necesarios para el trabajo y contar con la presencia del personal necesario para realizar el trabajo.
 - Limpieza de todas las superficies donde se vayan a montar y recorrer instrumentos de alineamiento.
 - Alineación aproximada con regla u otro acercando lo más posible a alineamiento exacto.
 - Montaje de unidades de medición: emisor y receptor en ambos ejes, su montaje debe ser según lo indique el manual del instrumento de alineamiento.
 - Mediciones de distancias de máquina para abastecer requerimientos según instrumento de alineación.
 - Inspección y/o corrección de patas cojas en el Equipo de acuerdo a primeras lecturas arrojadas por el equipo de alineamiento.
 - Medición de alineamiento y obtención de datos según instrumento utilizado.
 - Corrección de desalineamiento según resultados que aparecen en pantalla. Primero se recomienda corregir alineamiento vertical (axial y radial) y posteriormente el horizontal (axial y radial).

- Una vez obtenidos valores de desalineamiento aceptables (dentro de la tolerancia) se torquearan los pernos de anclaje hasta quedar en ajuste óptimo.
- Se volverán a montar las guardas y todos los dispositivos necesarios para que el equipo sea arrancado y probado
- ✓ Queda a consideración el cambio del acoplamiento mecánico, que es estructura rígida por otro acoplamiento neumático, ya que este último realiza el encrochamiento paulatinamente para vencer la inercia

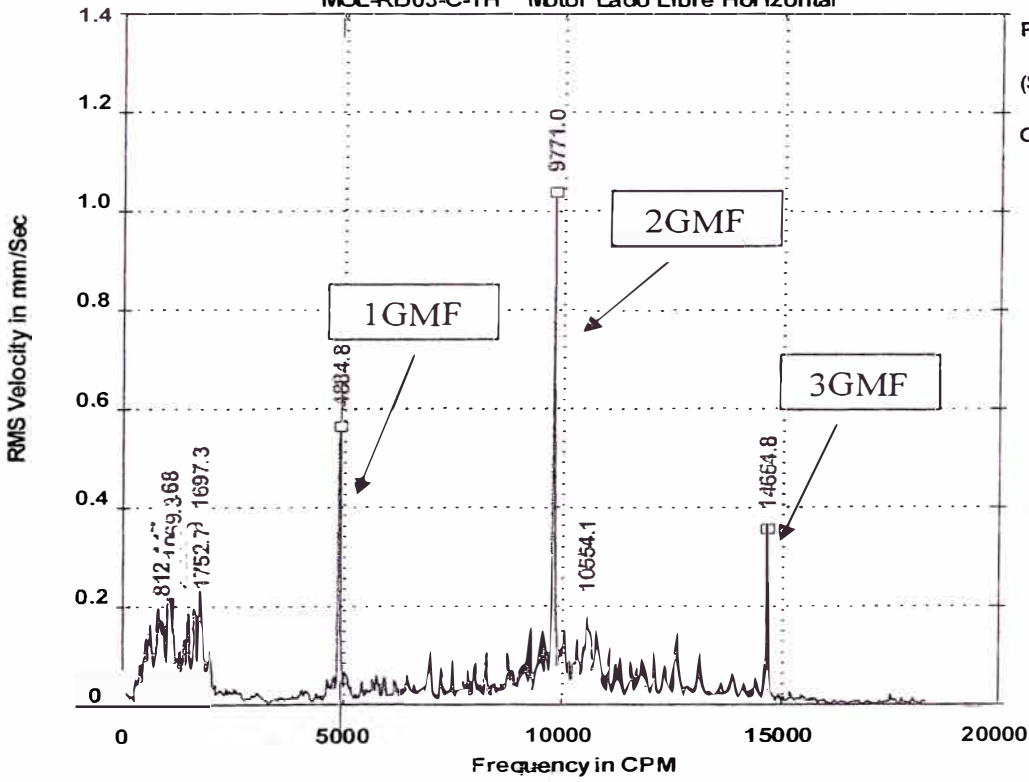
3.2.6 Análisis de espectros luego de acciones correctivas recomendadas

A continuación se mostrarán todos los espectros obtenidos luego de las acciones correctivas. Sin embargo no haremos un análisis detallado de cada uno, porque como se verificará, todos los valores RMS de cada uno de ellos están por debajo del valor límite de 7.1 mm/sg, lo que nos indica que luego de las acciones correctivas ejecutadas, no se presentaron más problemas mecánicos.

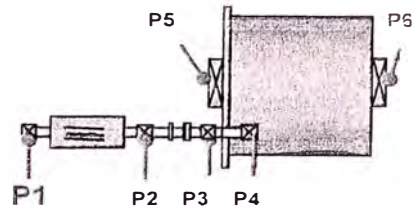
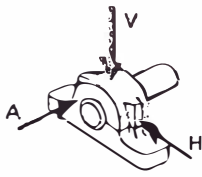
Más adelante revisaremos en forma gráfica la tendencia en el tiempo de los niveles de vibración globales y se observará cómo estos valores cayeron luego de las acciones correctivas realizadas.



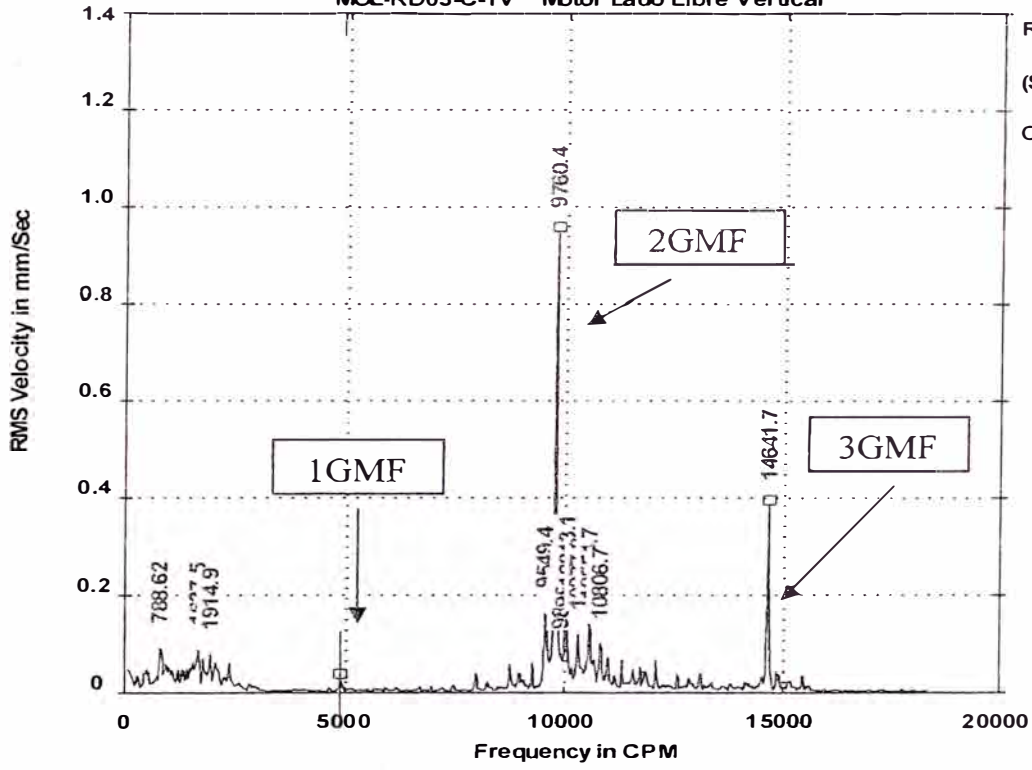
09 - Molino Rodmill # 03
 MOL-RD03-C-1H Motor Lado Libre Horizontal



Freq: 4895.3
 Ordr: 19.05
 Spec: .555



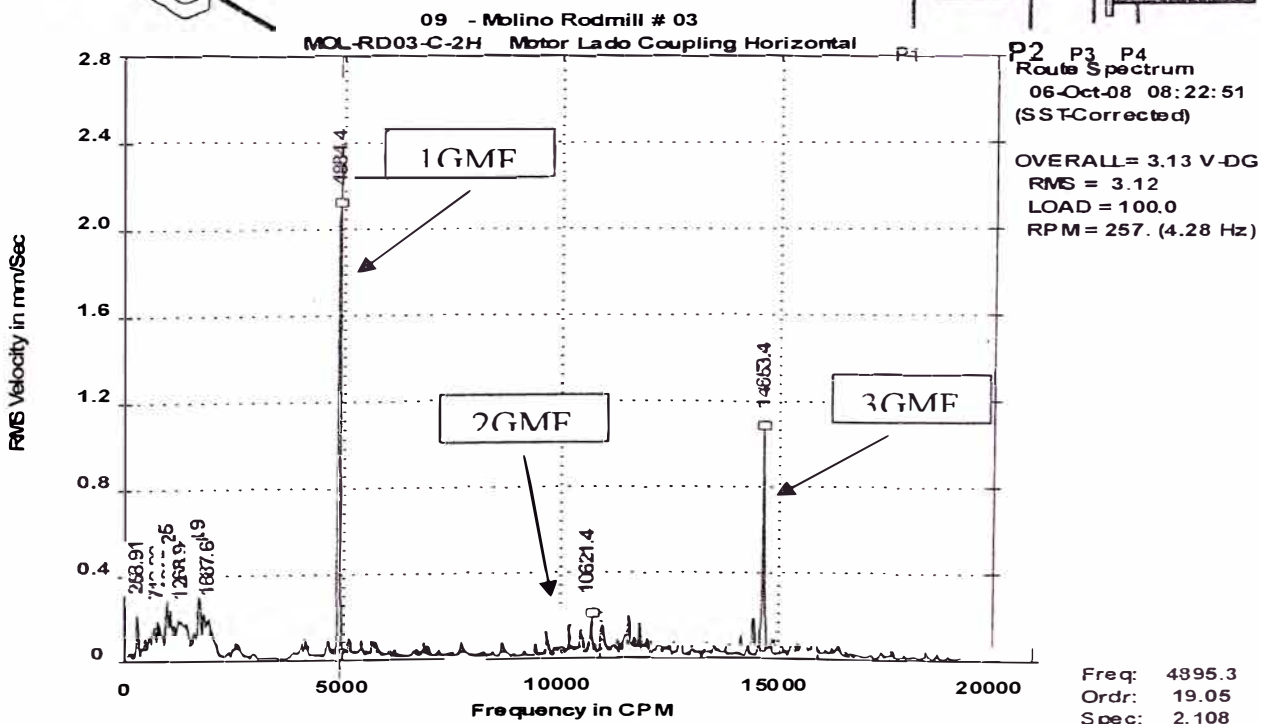
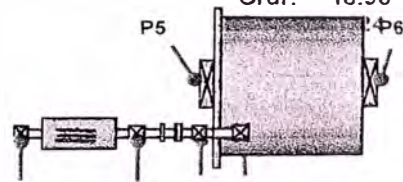
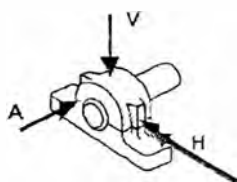
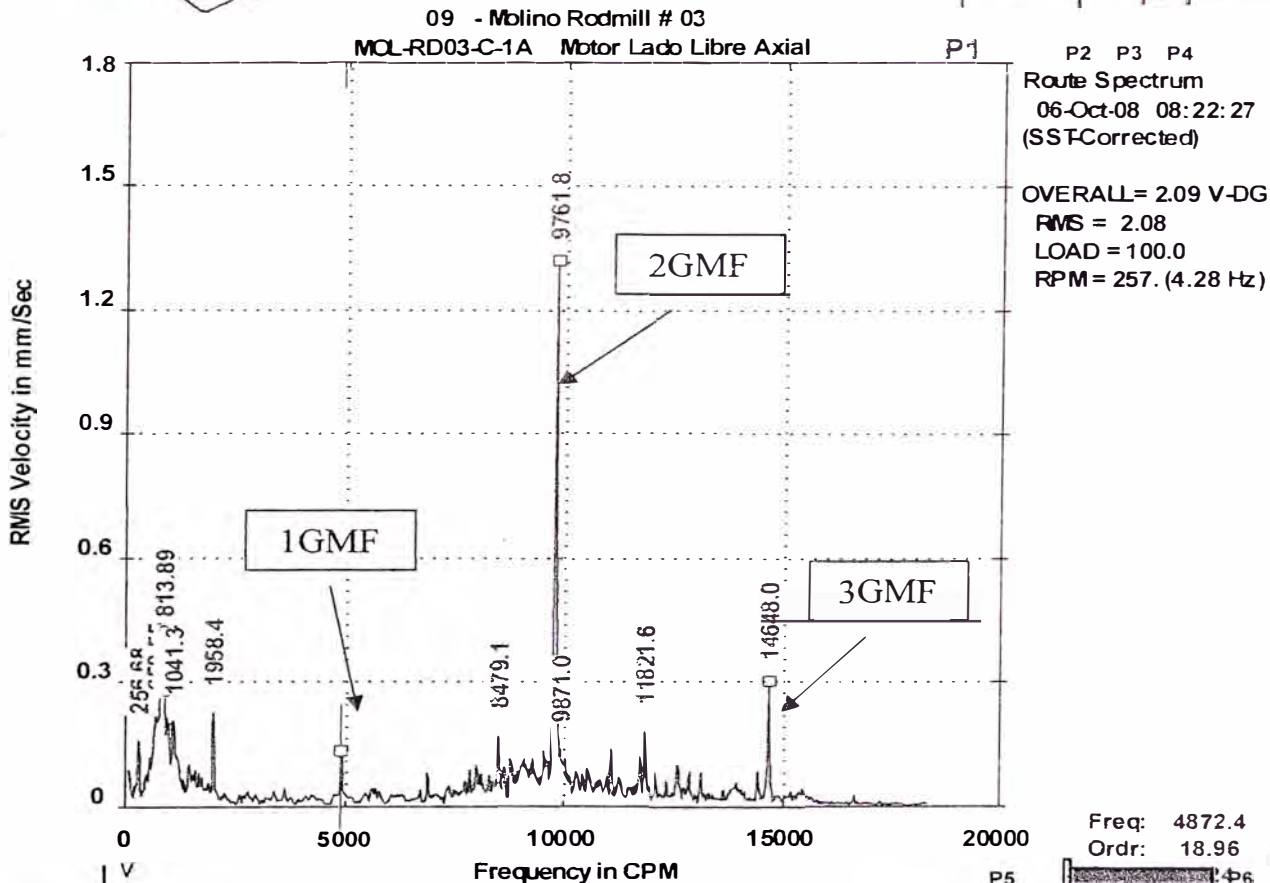
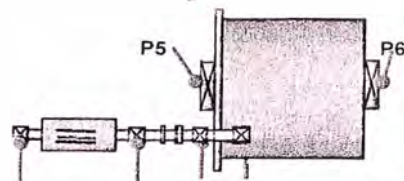
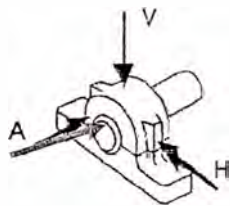
09 - Molino Rodmill # 03
MOL-RD03-C-1V Motor Lado Libre Vertical

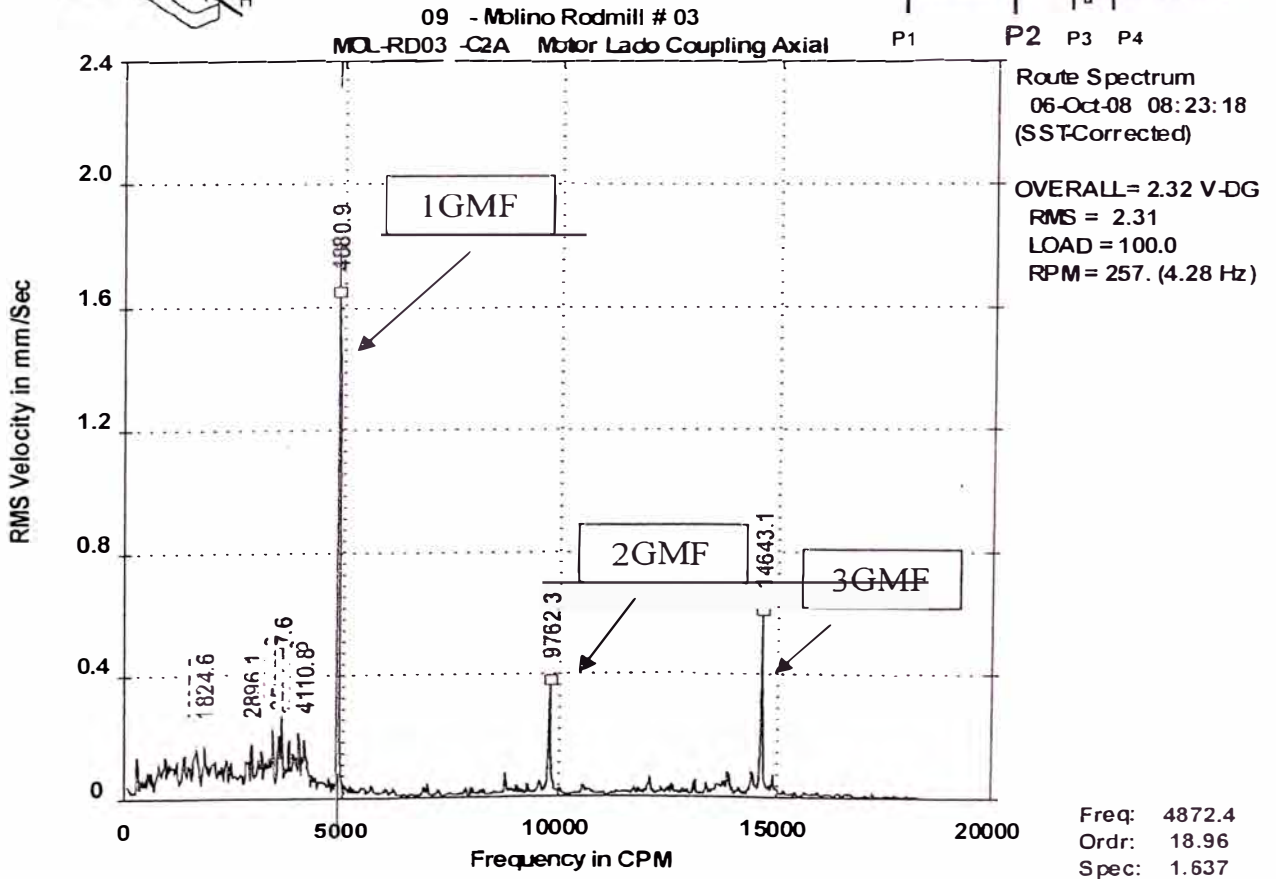
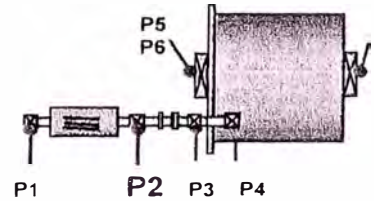
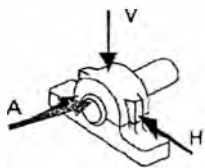
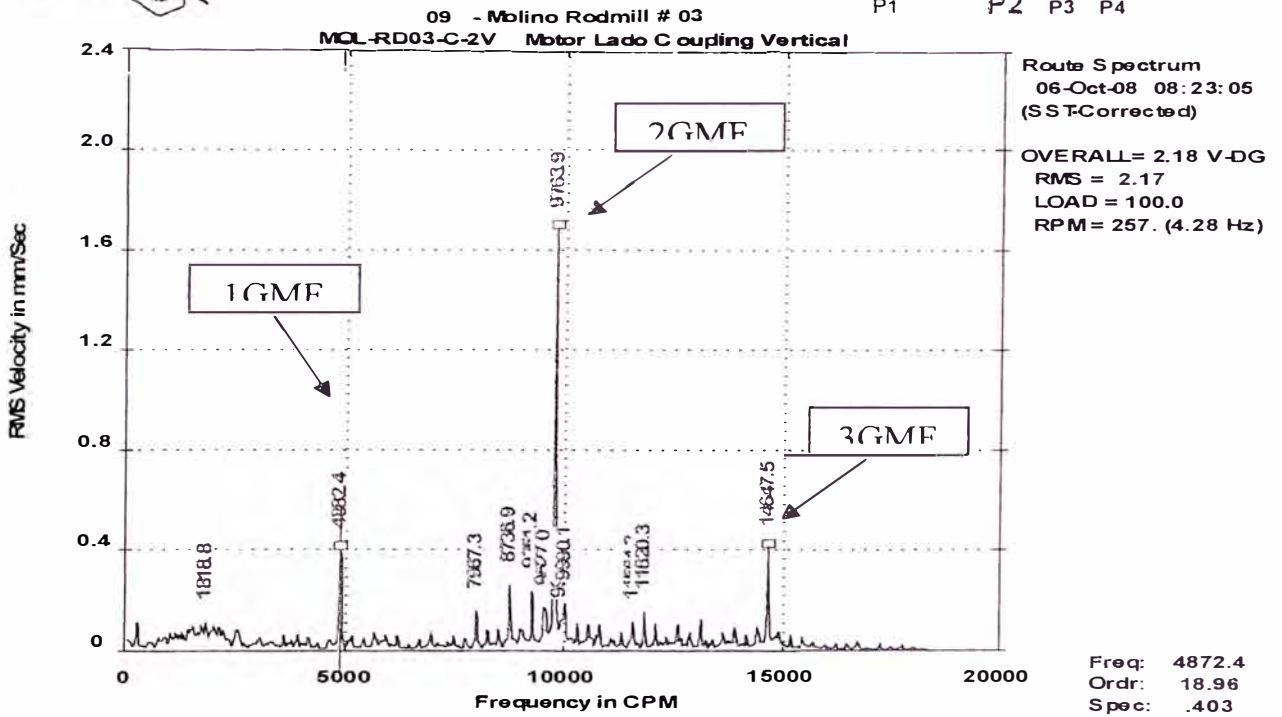
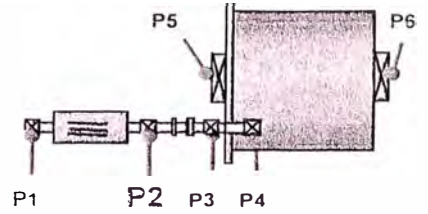
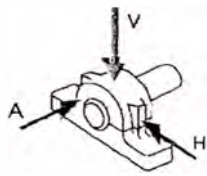


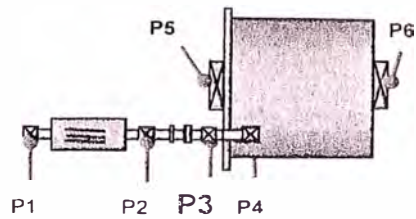
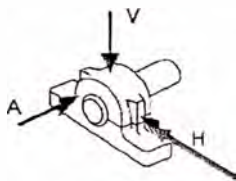
Route Spectrum
06-Oct-08 08:22:15
(SSTCorrected)

OVERALL= 1.31 V-DG
RMS = 1.30
LOAD = 100.0
RPM = 257. (4.28 Hz)

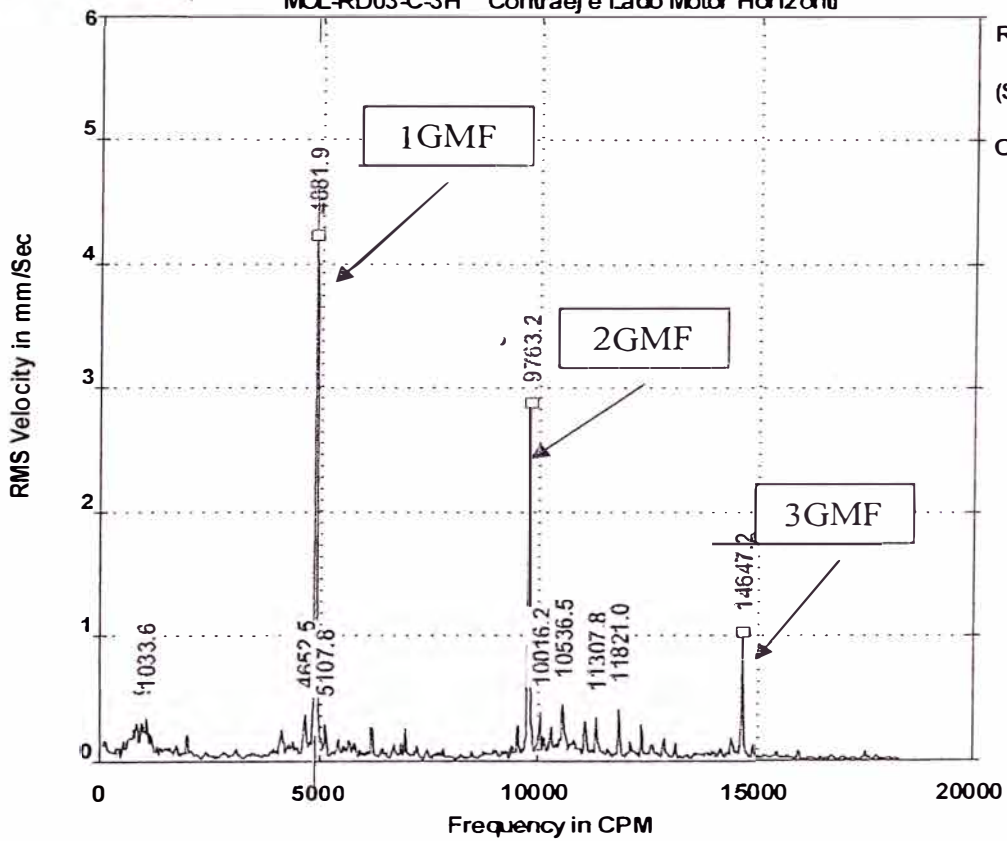
Freq: 4872.4
Ord: 18.96
Spec: .03042







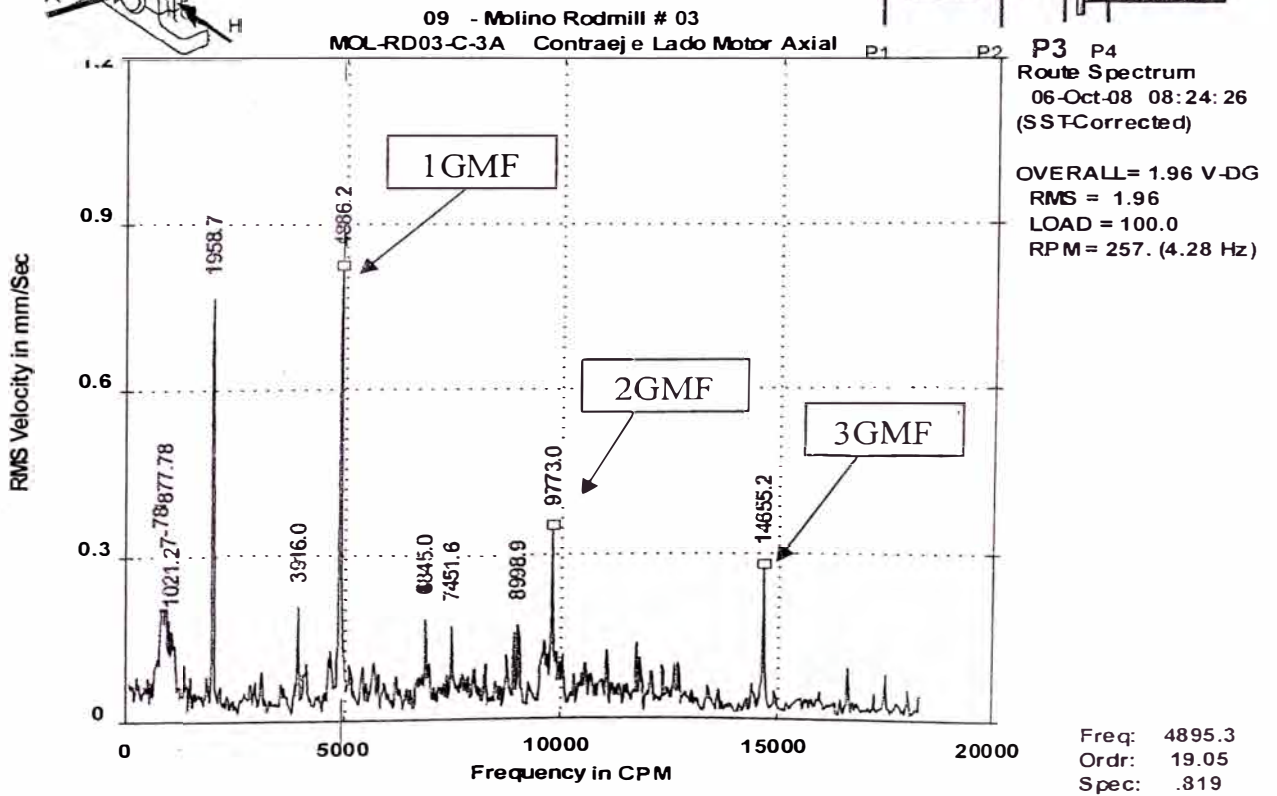
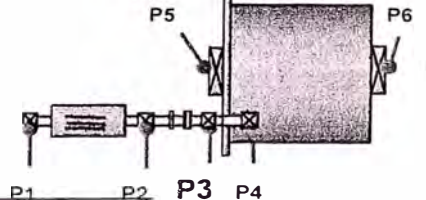
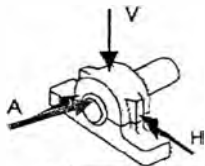
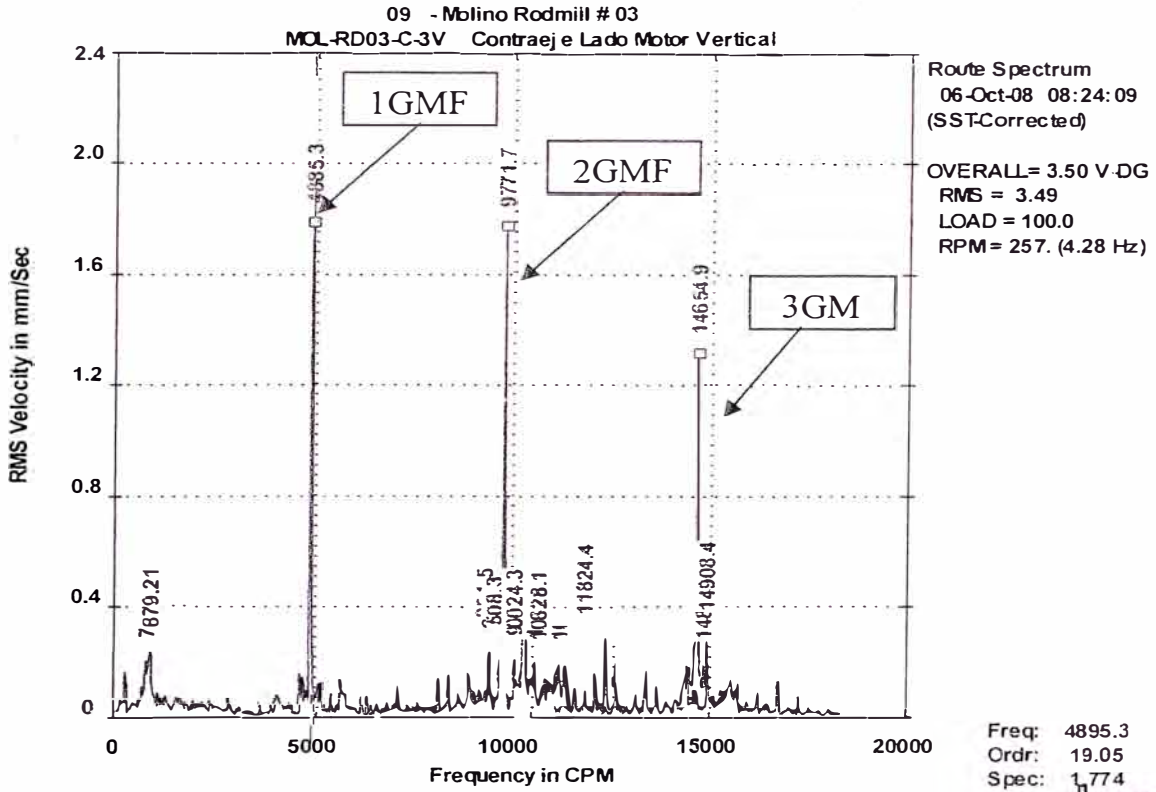
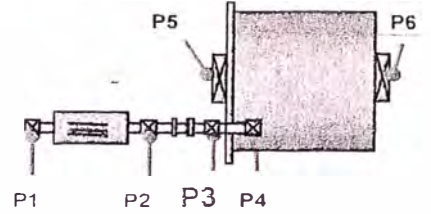
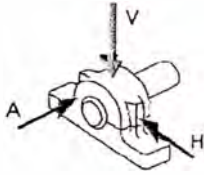
09 - Molino Rodmill # 03
MOL-RD03-C-3H Contraej e Lado Motor Horizontal

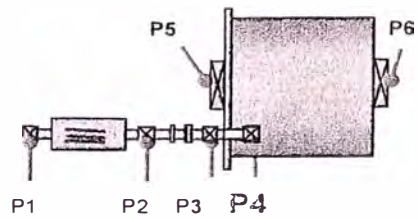
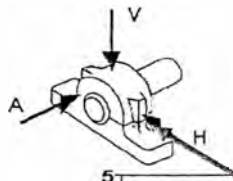


Route Spectrum
06-Oct-08 08:23:41
(SSTCorrected)

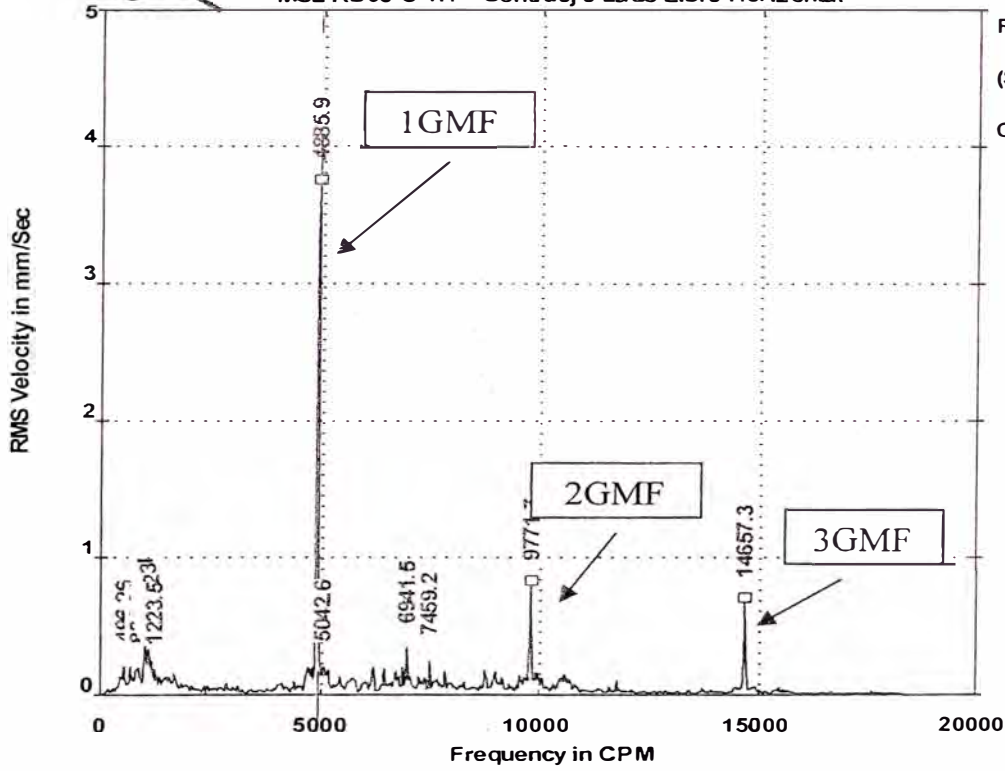
OVERALL= 6.23 V-DG
RMS = 6.22
LOAD = 100.0
RPM = 257. (4.28 Hz)

Freq: 4872.4
Ordr: 18.96
Spec: 4.192





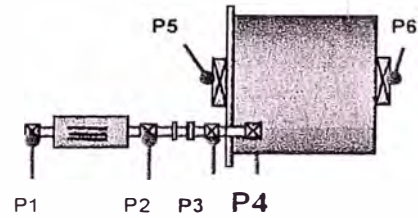
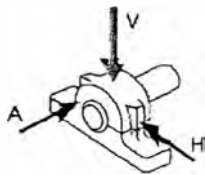
09 - Molino Rodmill # 03
MOL-RD03-C-4H Contraej e Lado Libre Horizontal



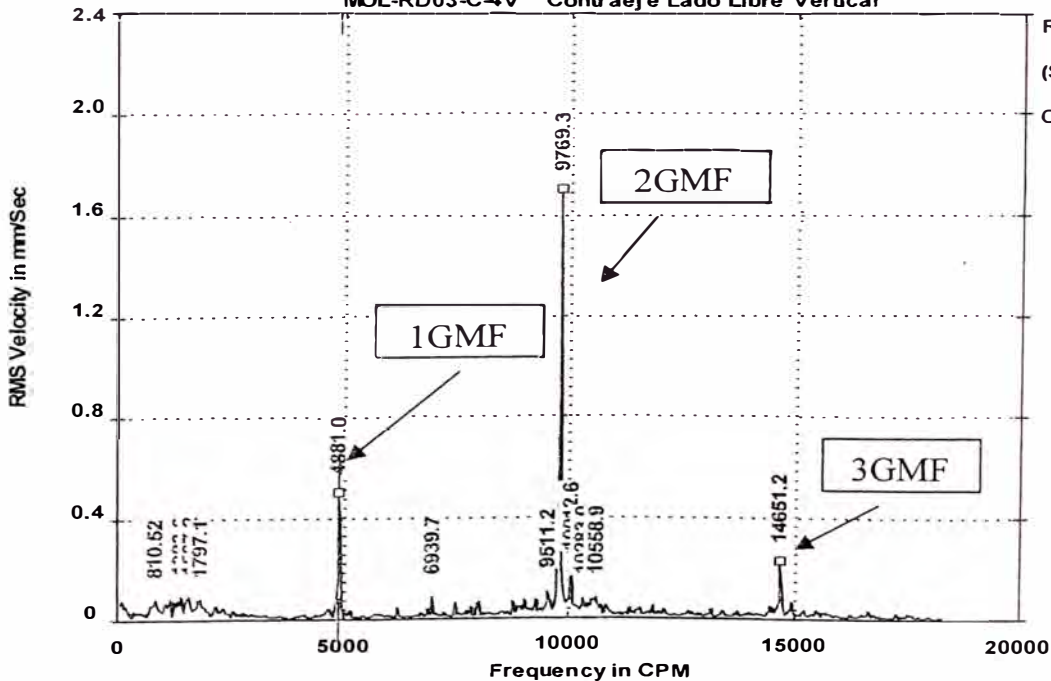
Route Spectrum
06-Oct-08 08:24:46
(SST-Corrected)

OVERALL= 4.67 V-DG
RMS = 4.66
LOAD = 100.0
RPM = 257. (4.28 Hz)

Freq: 4895.3
Ordr: 19.05
Spec: 3.721



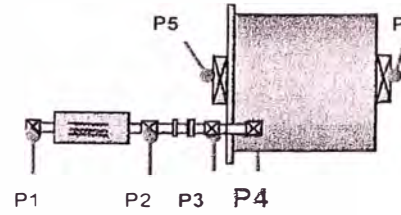
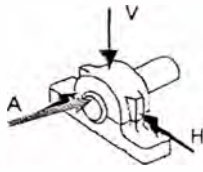
09 - Molino Rodmill # 03
MOL-RD03-C-4V Contraej e Lado Libre Vertical



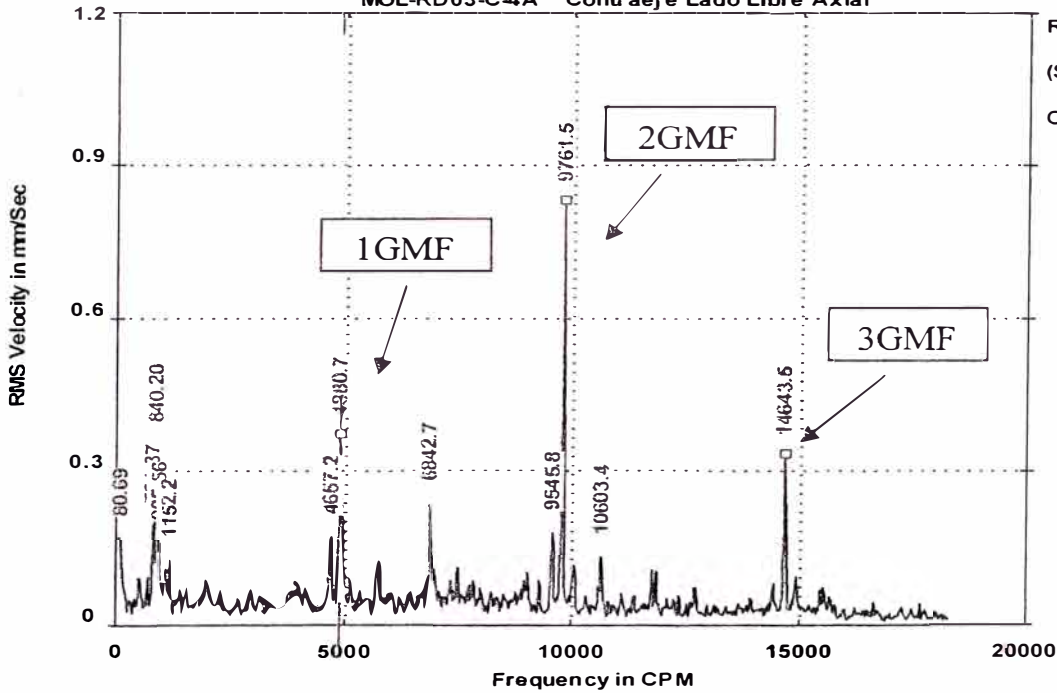
Route Spectrum
06-Oct-08 08:25:02
(SST-Corrected)

OVERALL= 2.03 V-DG
RMS = 2.02
LOAD = 100.0
RPM = 257. (4.28 Hz)

Freq: 4872.4
Ordr: 18.96
Spec: .490



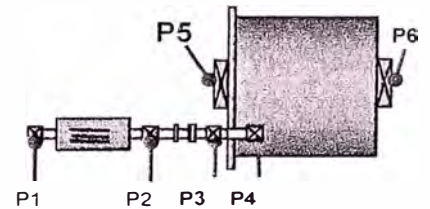
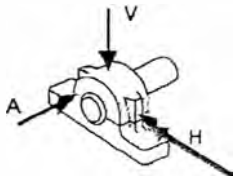
09 - Molino Rodmill # 03
MOL-RD03-C-4A Contraeje Lado Libre Axial



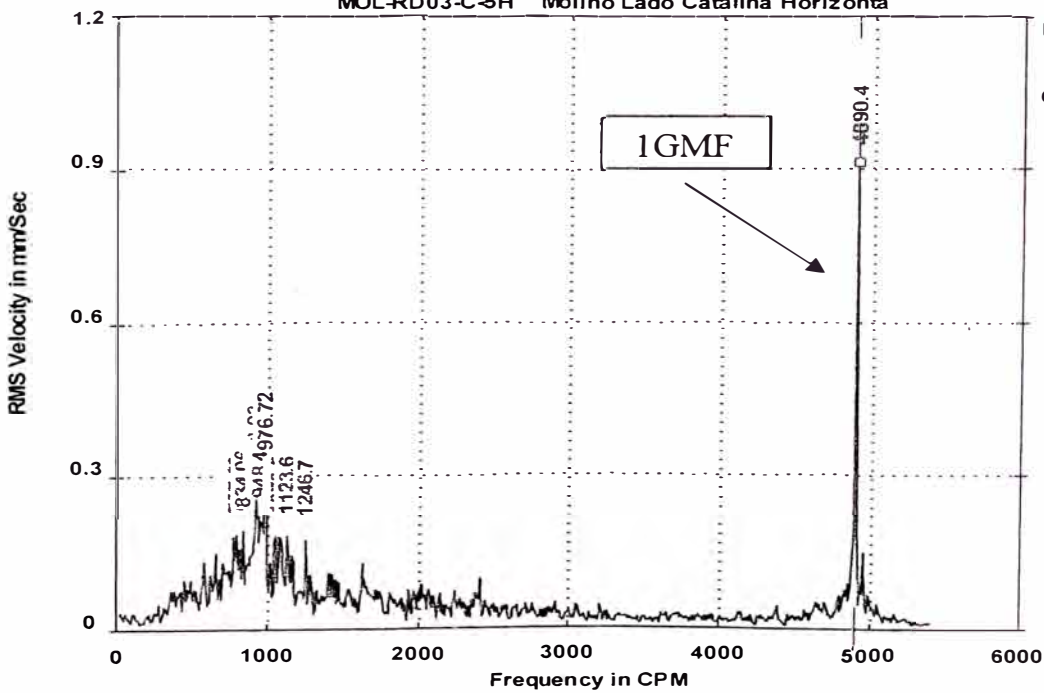
Route Spectrum
06-Oct-08 08:25:18
(SST-Corrected)

OVERALL= 1.65 V-DG
RMS = 1.64
LOAD = 100.0
RPM = 257. (4.28 Hz)

Freq: 4872.4
Ordr: 18.96
Spec: .367



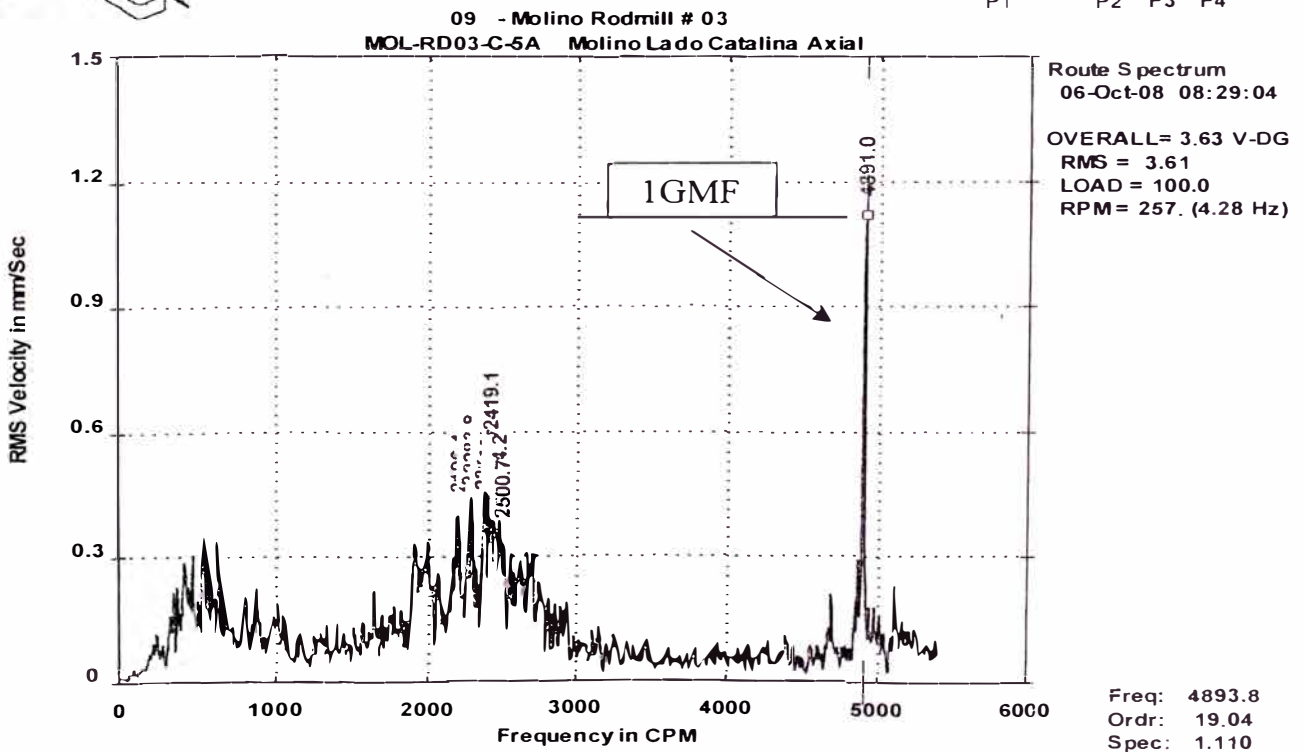
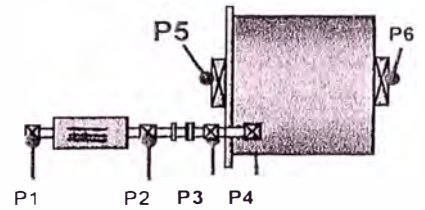
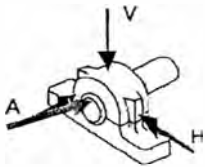
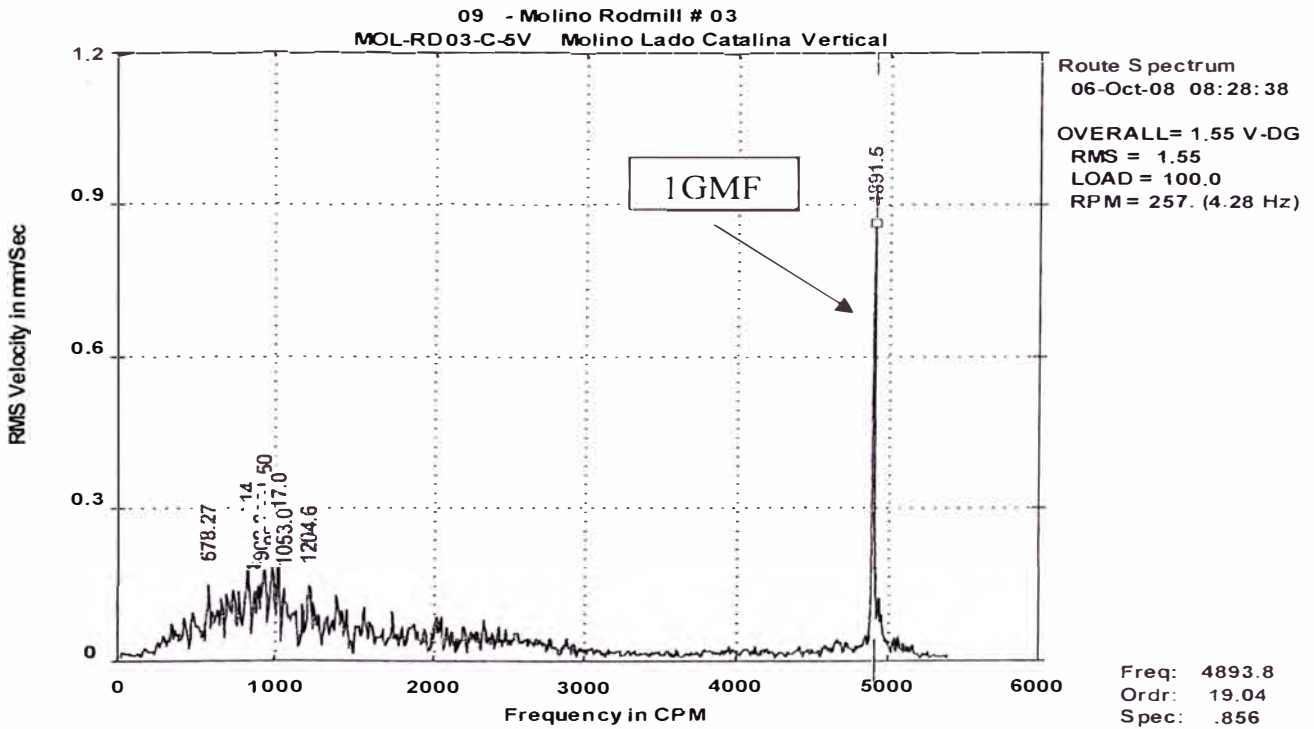
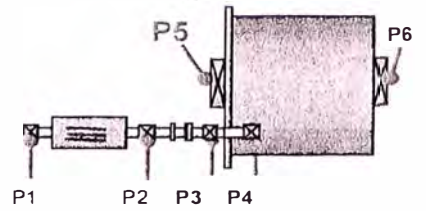
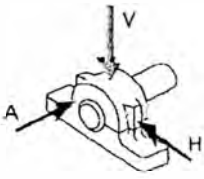
09 - Molino Rodmill # 03
MOL-RD03-C-5H Molino Lado Catalina Horizontal

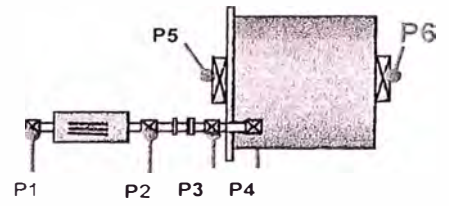
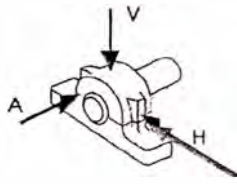


Route Spectrum
06-Oct-08 08:28:08

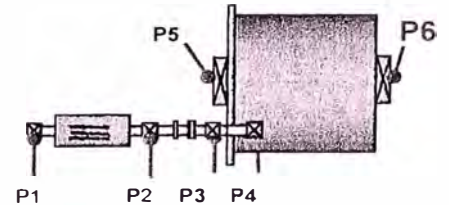
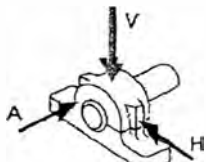
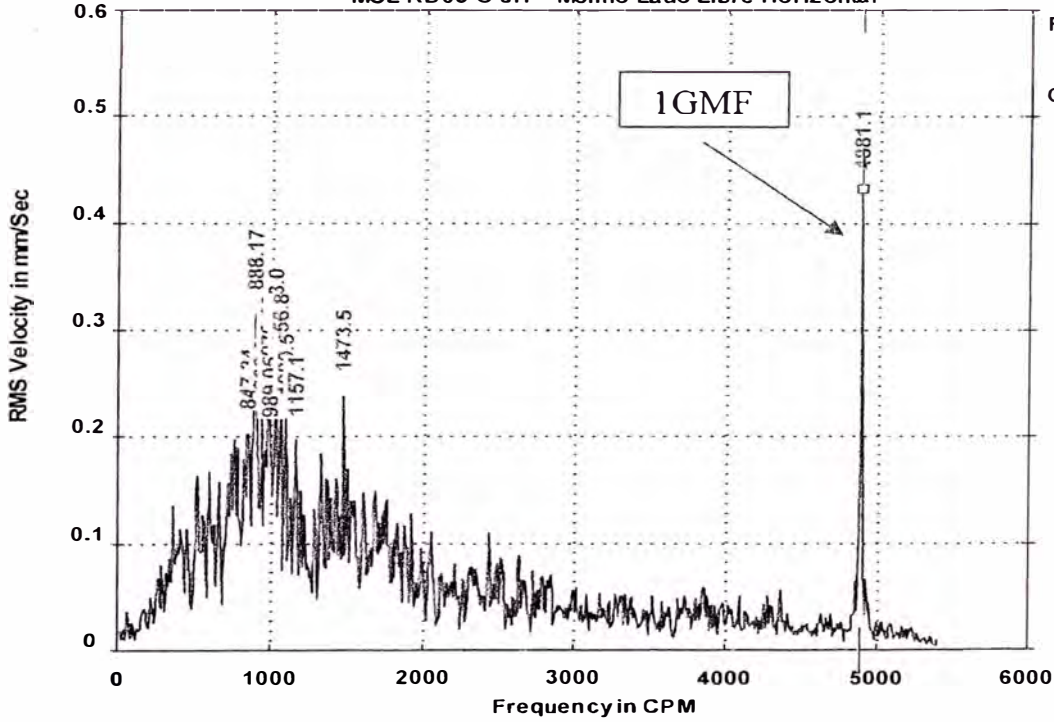
OVERALL= 1.80 V-DG
RMS = 1.80
LOAD = 100.0
RPM = 257. (4.28 Hz)

Freq: 4887.0
Ordr: 19.02
Spec: .905

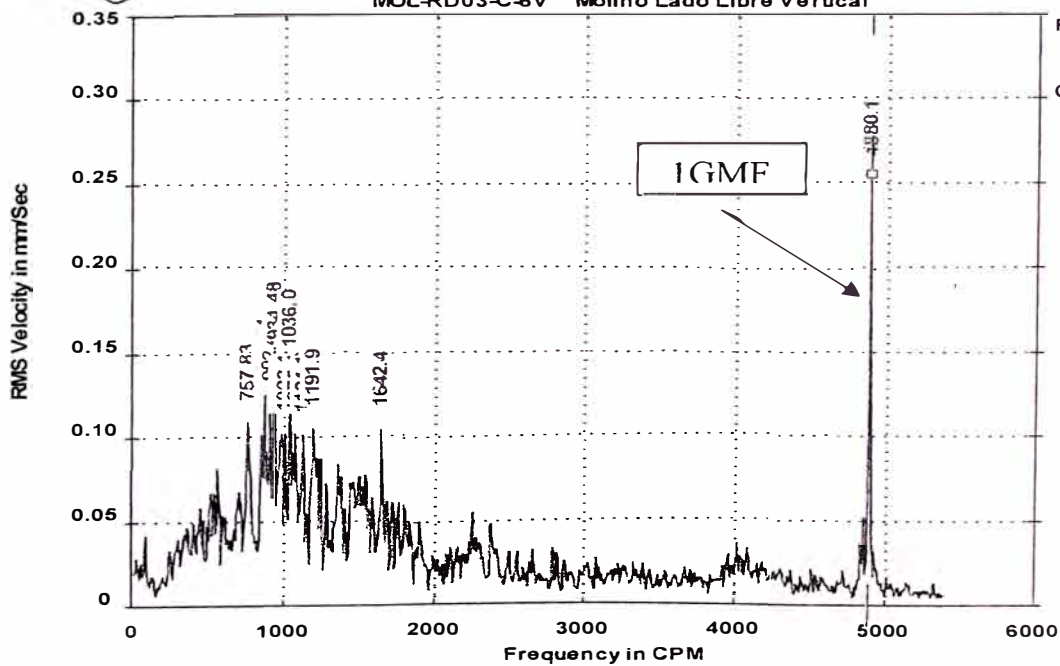


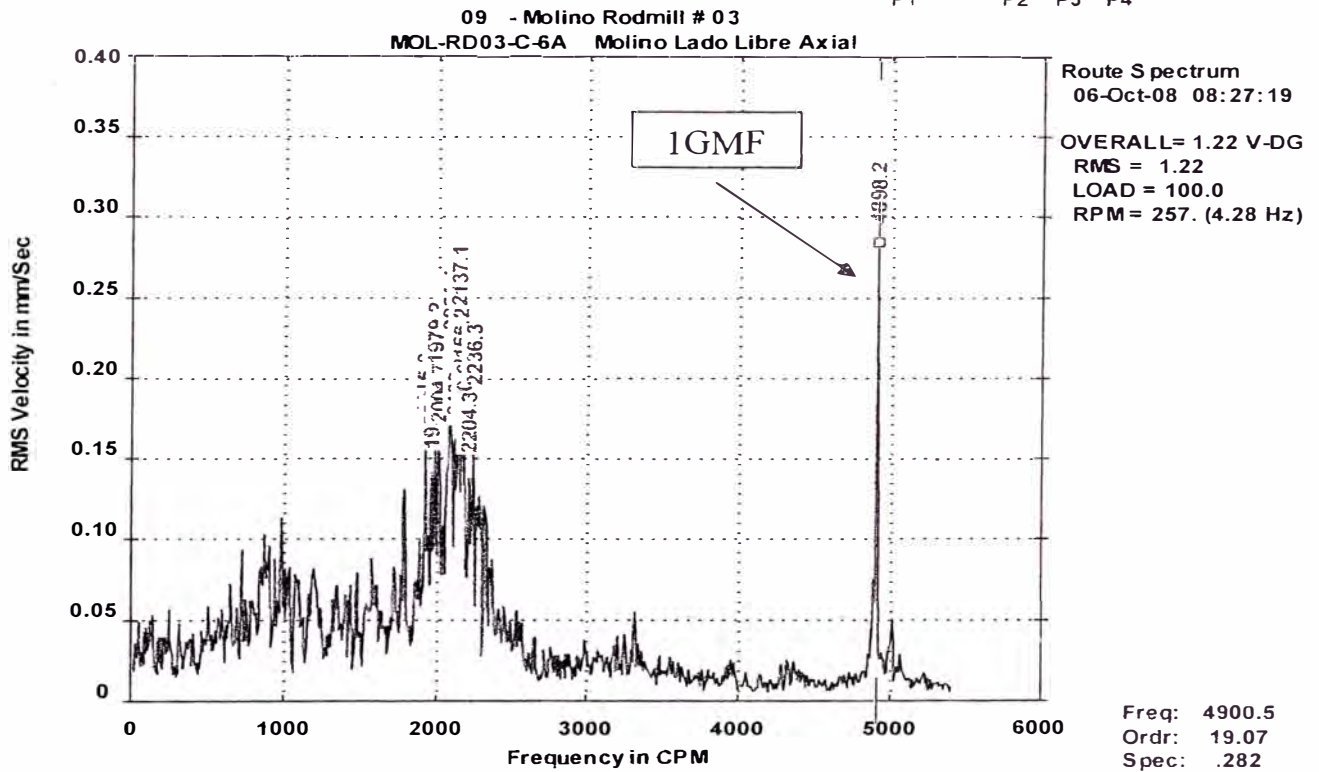
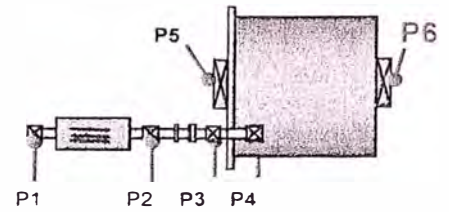
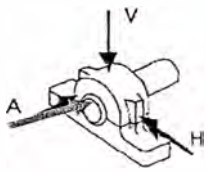


09 - Molino Rodmill # 03
MOL-RD03-C-6H Molino Lado Libre Horizontal



09 - Molino Rodmill # 03
MOL-RD03-C-6V Molino Lado Libre Vertical





Como se indicó antes de presentar estos espectros, los valores RMS de cada uno de ellos se encuentran dentro de los valores admisibles según la norma ISO 10816-3, por lo que se puede afirmar que los resultados de las acciones correctivas fueron satisfactorias.

Sin embargo, continuamos observando picos en los armónicos del GMF, por lo que alguien no entendido en el análisis vibracional, podría decir que los problemas detectados antes de las acciones correctivas, continúan presentándose.

Con respecto a estos picos de armónicos, como se indicó en el análisis de los espectros obtenidos antes de las fallas correctivas, continuarán presentándose lo que no significa que la falla continúe. Estos picos continúan y continuarán

presentándose, porque la frecuencia de engrane o GMF producirá siempre un golpeteo por el contacto natural entre dientes, entre el piñón y la catalina, que ocurre a esa frecuencia. Sin embargo, si el valor RMS de este golpeteo se presenta fuera de tolerancia, recién se sospechará de la existencia de un problema mecánico.

Para el caso de los últimos espectros presentados (luego de las acciones correctivas), ninguno de ellos tiene valores RMS fuera de tolerancia por lo que se ratifica que las acciones correctivas fueron satisfactorias.

A continuación se indica un resumen de los valores RMS encontrados antes y después de las acciones correctivas realizadas:

Nº Punto	Descripción Punto Apoyo	Puntos	RMS antes Acción Correctiva	RMS Después de Acción Correctiva
1	Motor eléctrico lado libre	1H	3.62	1.95
		1V	3.73	1.3
		1A	8.36	2.08
2	Motor eléctrico lado acoplamiento	2H	7.39	3.12
		2V	10.79	2.17
		2A	10.74	2.31
3	Contraeje lado acoplamiento	3H	6.82	6.22
		3V	8.85	3.49
		3A	13.78	1.96
4	Contraeje lado libre	4H	5.28	4.66
		4V	4.98	2.02
		4A	14.41	1.64
5	Muñón lado descarga	5H	6.04	1.8
		5V	5.14	1.55
		5A	13.19	3.61
6	Muñón lado entrada	6H	3.95	1.87
		6V	2.9	0.88
		6A	4.17	1.22

Finalmente vamos a presentar un diagrama de tendencias en el tiempo de valores RMS monitoreados a este equipo, donde se podrá visualizar el efecto de las acciones correctivas realizadas, comprobándose la caída de los valores RMS por esta razón. Primero revisemos los datos de forma tabular:

MOLINO RODMILL 3																			
PUNTOS DE MEDICION mm/s																			
FECHA	1H	1V	1A	2H	2V	2A	3H	3V	3A	4H	4V	4A	5H	5V	5A	6H	6V	6A	FT
25-ago-08	5.15	3.95	11.5	4.8	4.37	6.61	6.42	5.74	8.09	6.68	4.04	10.4	3.2	2.37	13.4	4.34	4.55	6.96	32.6
26-ago-08	3.41	2.3	7.34	4.27	4.73	8.04	6.51	6.07	6.59	6	3.24	9.2	3.0	2.56	13.1	3.65	1.88	7.09	29.3
29-ago-08	3.55	2.93	5.54	4.2	5.1	6.27	12.6	5.14	7.24	8.16	3.5	9.5	2.3	2.15	9	3.1	1.80	7.01	30.6
30-ago-08	4.77	2.61	6.44	4.34	5.2	7.94	6.56	4.81	7.05	5.48	2.81	9.6	3.1	2.2	10.3	4.08	3.46	5.23	27.8
01-sep-08	5.29	2.67	10.5	4.83	5.49	7.8	6.16	5.22	8.07	5.09	3.16	9.2	2.6	2.16	11.4	4.41	4.24	6.16	28.6
05-sep-08	3.75	2.27	4.55	6.04	6.62	10.4	12.5	5.97	9.07	13.9	5.04	15.3	6.4	3.89	14.6	5.43	3.67	5.16	42.4
06-sep-08	3.65	2.25	6.28	5.26	7.06	8.71	10.6	6.66	8.26	9.16	5.8	15.6	4.4	2.52	13.1	4.7	2.77	4.41	41.3
06-sep-08	3.36	2.54	6.14	4.95	5.65	8.17	10.5	6.93	8.14	8.93	4.42	14.4	4.3	1.53	21.7	4.69	7.50	4.46	44.7
07-sep-08	3.62	2.99	7.8	4.89	5.62	9.5	9.62	7	9.4	8.4	5	13.8	4.6	2.19	23	5.28	4.40	6.79	44.9
08-sep-08	4.31	2.57	8.76	4.71	5.5	7.27	8.73	6.75	8.94	6.94	3.91	12.0	3.8	2.17	21.3	5.01	3.81	3.74	33.3
09-sep-08	3.53	2.56	7.87	4.73	5.6	8.18	8.09	6.77	9.64	6.49	4.54	11.8	3.6	2.22	22.9	4.11	2.88	4.77	76
10-sep-08	3.70	2.78	7.88	5.46	5.3	7.94	8.48	7.06	8.23	6.56	3.84	11.7	6.0	2.33	25	4.4	2.94	4.26	19.2
11-sep-08	4.27	2.86	7.1	5.34	5.48	8.14	9.76	7.38	7.38	7.12	4.36	12.2	5.2	2.14	31.9	4.87	3.48	5.65	34.9
12-sep-08	4.61	3.21	7.94	5.11	6.78	9.98	9.56	6.99	10.3	8.61	4.52	12.1	5.7	3.23	30.7	5.04	4.55	4.98	69.6
15-sep-08	5.97	4.06	9.75	7.76	6.78	12.6	13.3	8.72	12	9.43	5.41	14.7	8.3	4.4	37.3	7.12	5.06	7.36	113
16-sep-08	5.42	3.27	8.19	8.48	6.83	12.3	7.01	9.74	13.1	6.85	4.97	12.1	6.6	6.2	28	6.18	4.12	7.61	95.7
17-sep-08	9.07	3.7	10.8	14	11.7	16	23.1	15.7	13.1	16.7	8.08	21.1	5.9	3.57	15.3	5.86	3.66	5.12	123
18-sep-08	9.07	4.27	11.3	13.2	10.6	20.2	15.8	11.7	14.9	9.78	5.78	16.0	5.6	4.02	12.5	6.27	4.19	6.4	109
19-sep-08	4.62	4.88	6.36	7.86	24.6	11.4	8.36	8.32	13.5	6.82	4.66	11.8	6.8	5	21.6	5.86	3.41	5.17	95.2
20-sep-08	6.24	5.89	7.73	8.12	23.2	13	5.76	12.5	16.3	5.85	5.46	16.7	6.0	4.43	20.4	4.47	2.17	3.59	98.4
21-sep-08	5.13	5.36	13.6	5.47	22.6	15.9	7.25	3.1	15.6	5.86	4.86	11.4	6.0	4.43	21.4	4.4	2.15	3.54	101
22-sep-08	4.36	4.46	12.9	6.03	22.6	14.5	7.1	10.7	13.9	5.35	5.11	11.0	5.2	3.61	16.5	4.41	1.50	2.57	91.9
23-sep-08	4.05	4.34	10.3	6.99	22	11	7.47	9.65	17.5	5.8	5.06	10.8	5.9	3.77	14.5	4.27	1.98	4.11	89.6
24-sep-08	4.23	4.5	10.6	7	21.7	9.69	6.83	41.7	16.4	5.96	6.71	11.1	6.2	4.21	15.6	4.18	1.75	3.23	109
25-sep-08	4.33	4.16	12.5	6.08	20.2	9.89	5.94	9.77	11.1	4.98	5.02	10.0	6.2	4	15.7	4.40	2.66	3.42	84.2
26-sep-08	4.32	3.58	9.53	7.43	19.6	10.3	6.62	9.91	12.1	7.02	5.02	10.0	4.9	5.02	16.4	4.40	2.66	3.42	84.3
27-sep-08	4.26	3.94	8.9	6.86	13.3	8.79	7.1	8.89	15.6	5.23	4.66	10.7	5.8	5.21	14.3	4.33	2.36	3.06	83.1
28-sep-08	4.17	4.07	11.1	6.36	19.3	7.39	6.28	9.56	12.9	5.37	4.38	10.1	6.1	4.4	17.1	4	2.19	3.28	82.6
29-sep-08	3.71	3.47	7.96	7.25	18.7	8.36	7.12	8.38	13.4	5.03	4.28	9.8	5.8	4.71	12.2	3.72	2.34	2.69	76
30-sep-08	4.29	4.16	10.7	5.23	18.4	6.36	5.4	7.76	8.49	5.26	4.78	9.7	5.3	4.36	12.3	3.39	2.46	3.67	72.9
01-oct-08	4.00	4.36	10.7	5.41	19	10.4	6.65	7.76	15	5.07	4.99	11.0	6.0	4.04	13	4	2.72	2.82	82.3
02-oct-08	4.05	4.09	8.23	6.05	20.2	11.2	5.78	9.21	15.3	8.19	4.41	11.0	5.6	4.07	12.7	3.64	2.36	3.35	83
03-oct-08	3.63	3.74	8.37	7.4	20.9	10.3	6.85	8.87	13.3	5.29	5	13.4	6.1	5.18	13.3	3.97	2.91	4.18	89.5
04-oct-08	6.20	5.47	10.2	6.18	19.7	7.48	5.72	8.38	13.4	5.79	5.09	10.7	6.2	3.33	14.4	4.04	2.91	3.82	86
06-oct-08	1.95	1.3	2.06	3.12	2.17	2.31	6.29	3.49	1.96	4.67	2.02	1.6	1.8	1.55	3.62	1.87	0.88	1.22	26.4
07-oct-08	1.30	0.68	1.16	1.74	1.01	1.46	3.84	1.78	1.38	3.35	1.44	1.6	1.4	0.99	3.22	1.71	0.56	1.41	18
08-oct-08	1.05	0.62	0.99	1.56	0.91	1.48	3.5	1.7	1.62	3.1	1.35	1.5	1.4	1.17	3.31	1.8	0.43	1.01	17
10-oct-08	1.16	0.74	0.83	1.73	1.01	1.78	3.29	1.74	1.58	2.66	1.26	1.6	1.5	1.17	3.97	1.84	0.52	1.28	17.7
11-oct-08	1.10	0.7	1.08	1.53	1.82	1.81	3.36	1.77	1.79	2.75	1.27	1.4	1.6	1.06	4.15	1.93	0.97	1.15	18.4

Tabla F. Valores RMS obtenidos en el Rodmill #03 del 25/08/08 al

11/10/08

De esta forma es difícil apreciar la tendencia vibracional por los siguientes motivos:

- ✓ Se trata de varios puntos de medición y cada punto incluso tiene 03 valores por cada una de las posiciones: vertical, horizontal y axial
- ✓ La vibración en un punto puede subir y en otro bajar por lo que la condición mecánica resultante es difícil de determinar

Por ello se decidió calcular el vector resultante vibracional en todo el conjunto motor-molino, como resultado de la suma de todos los vectores vibracionales obtenidos en cada punto de apoyo:

$$V_t = \sqrt{(\sum \text{valores horizontales})^2 + (\sum \text{valores verticales})^2 + (\sum \text{valores axiales})^2}$$

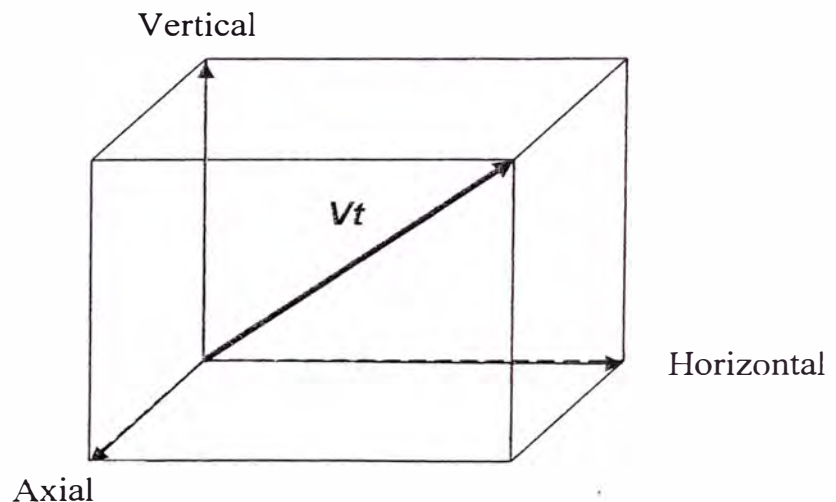


Figura 3.4 Cálculo del Vector Resultante Vibracional

Aplicando este cálculo a los datos monitoreados en el tiempo mostrados en la Tabla F, obtenemos el siguiente gráfico que se muestra a continuación:

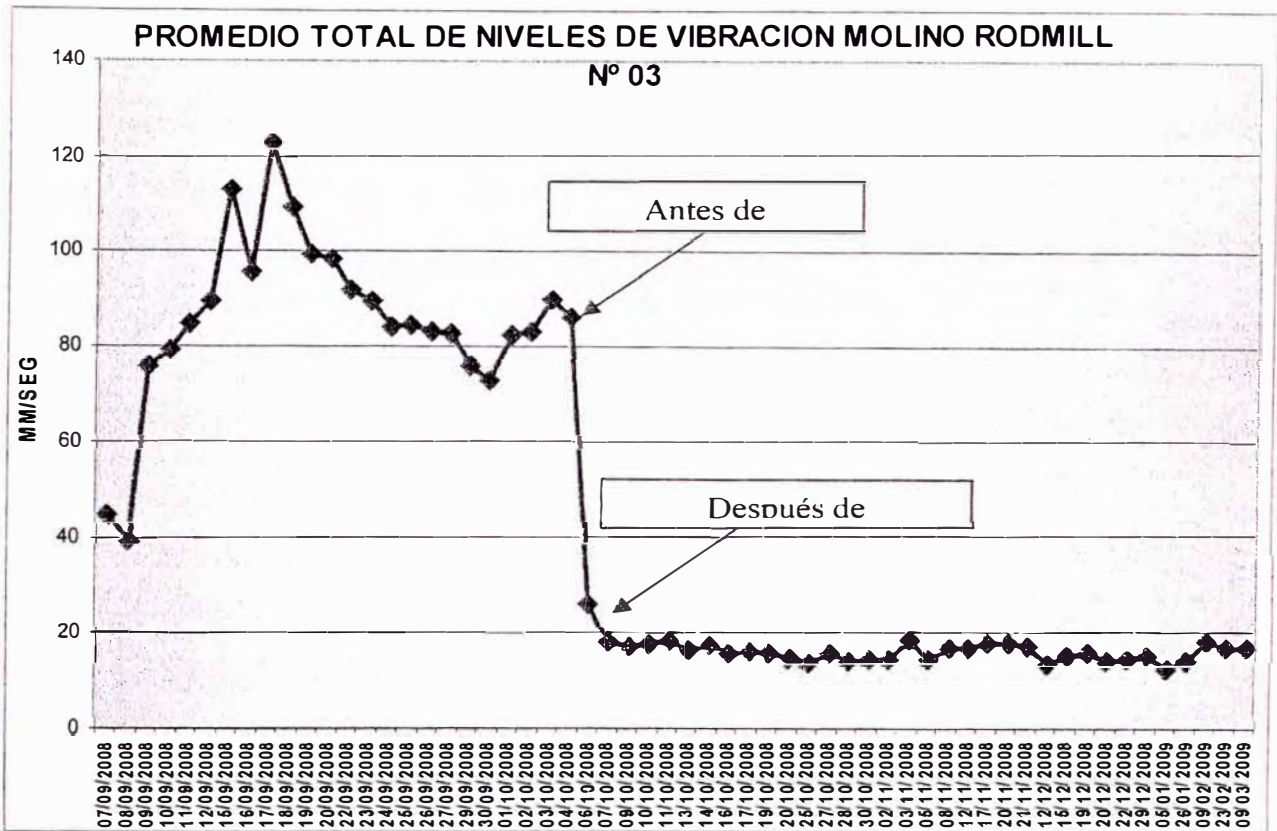


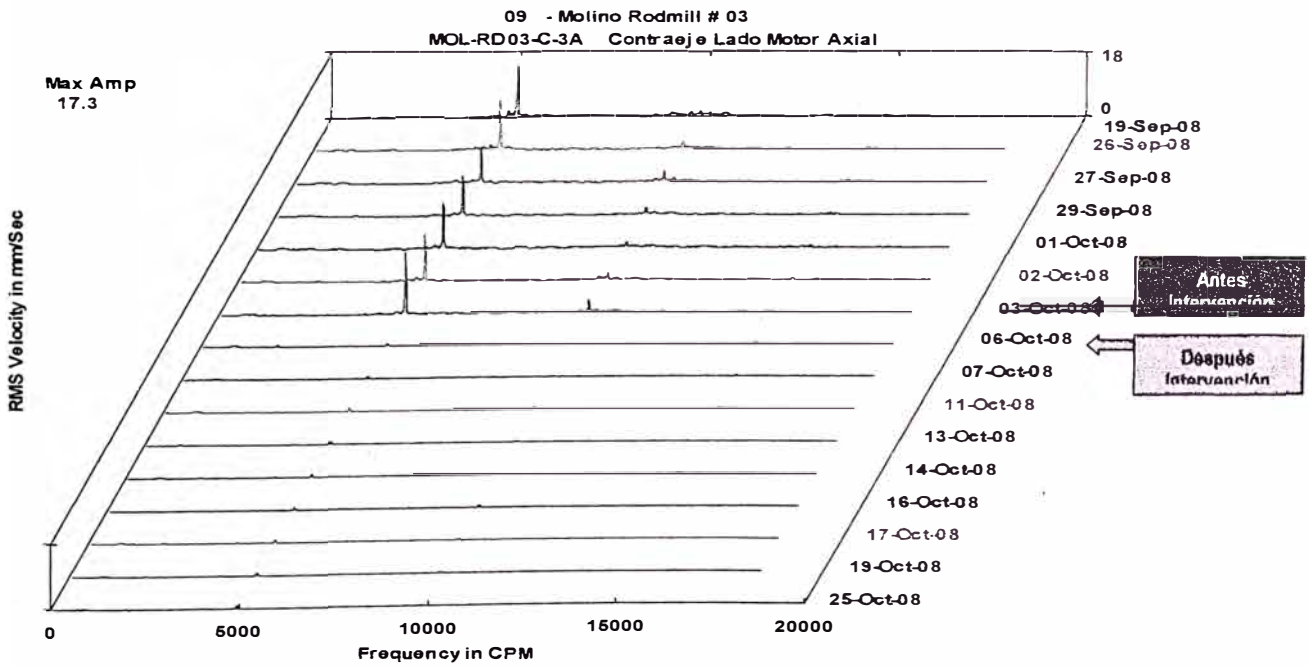
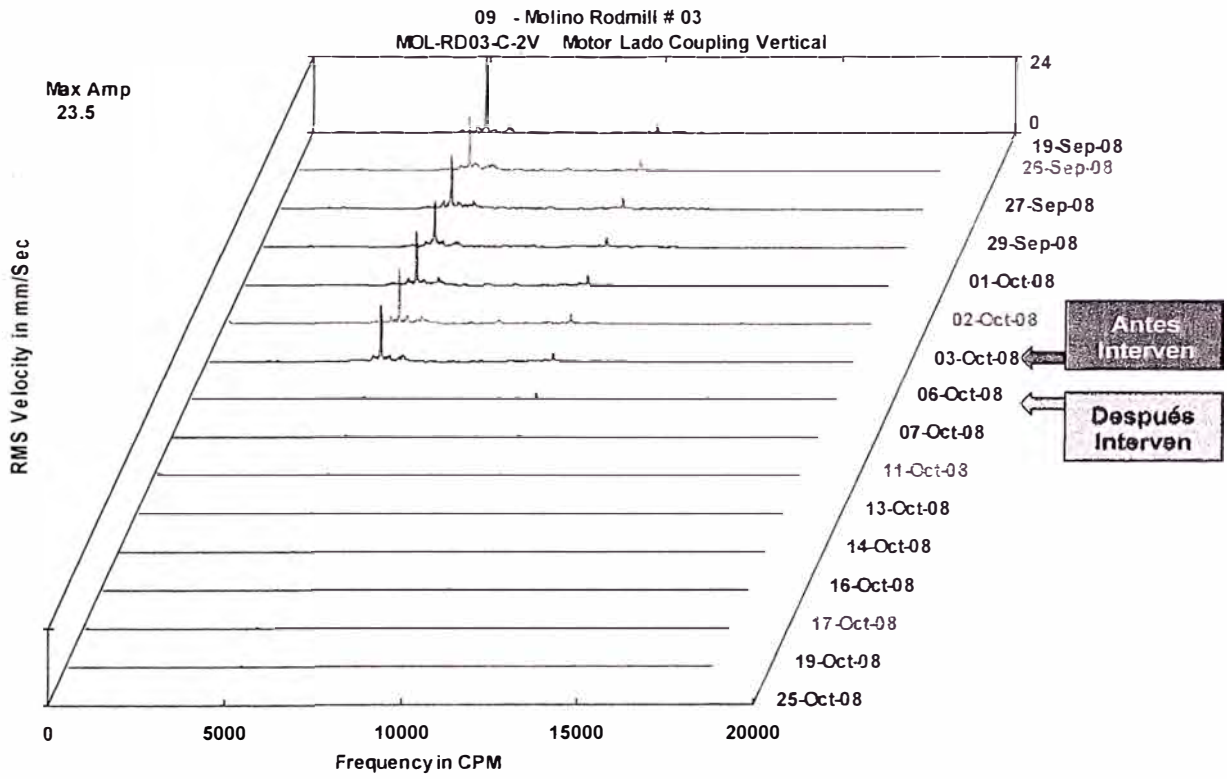
Figura 3.5 Gráfico de Tendencia Vibracional en Rodmill # 03

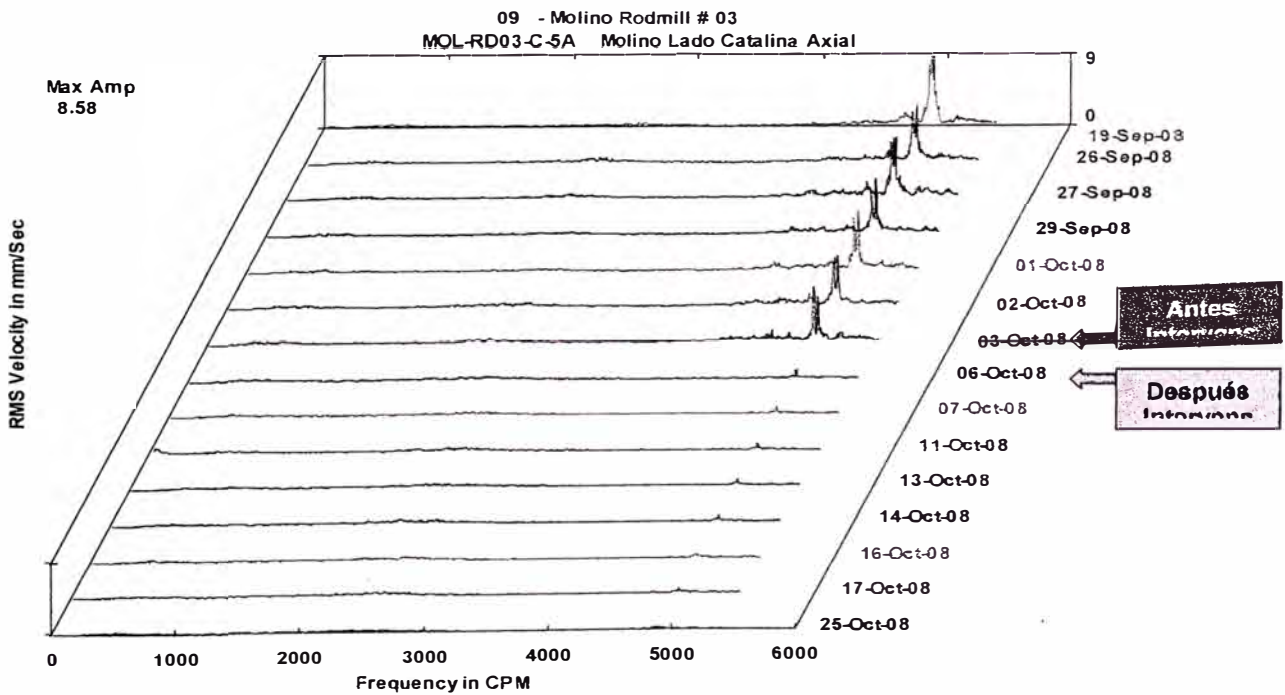
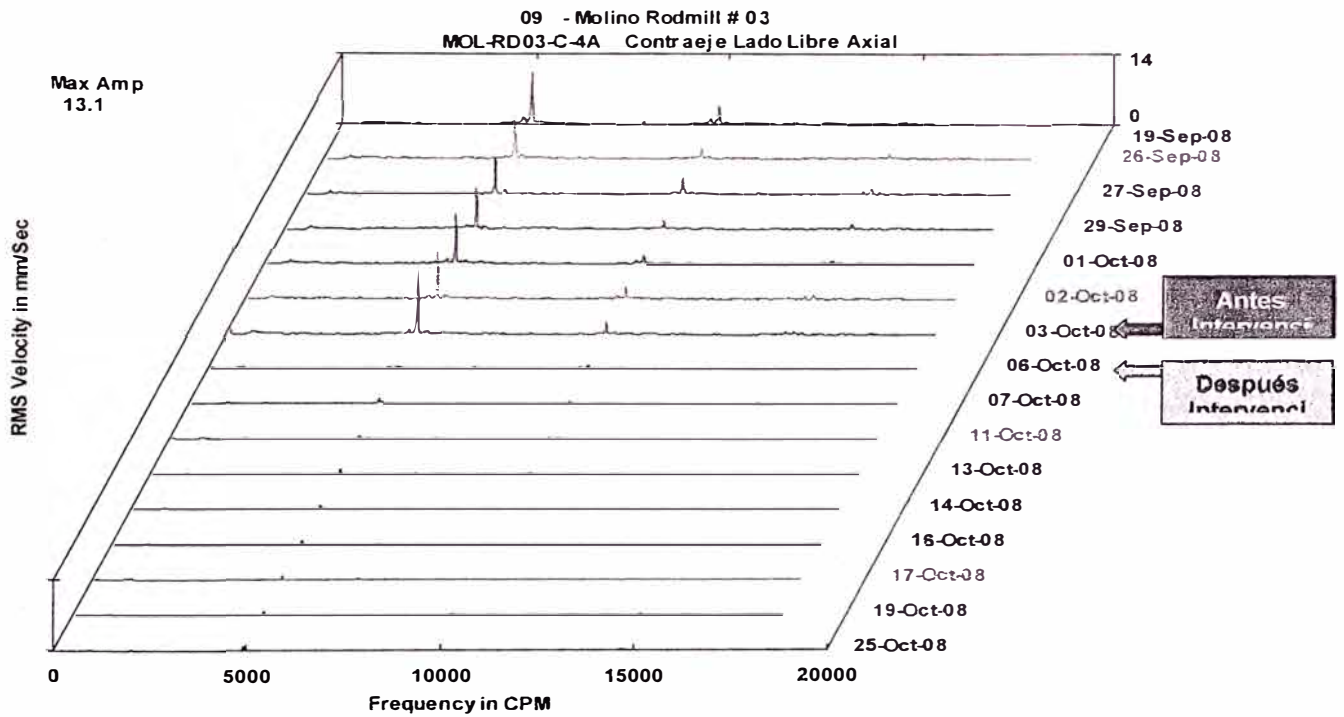
Con el gráfico obtenido en la figura 3.5, recién se puede visualizar claramente el impacto que tuvo la aplicación de las acciones correctivas recomendadas por el diagnóstico por análisis vibracional que hicimos.

Observamos además que la condición vibracional se mantiene en un valor estable luego de las acciones correctivas.

Espectros en cascada luego de acciones correctivas

A continuación presentaremos algunos espectros de vibración en forma de cascada en el tiempo con el propósito de apreciar mejor cómo los picos a determinadas frecuencias se diluyeron luego de las acciones correctivas.





3.3 JUSTIFICACIÓN DE COSTOS Y AHORROS

3.3.1 Cálculo de ahorros en costos de mantenimiento y en lucro cesante por reducción de fallas intempestivas

Los ahorros logrados por la ejecución de acciones correctivas en el molino Rodmill # 03, las cuales fueron recomendadas por el diagnóstico predictivo son de dos tipos:

1. Ahorros logrados en costos de reparación.

De no haber intervenido oportunamente el molino reemplazando y reparando repuestos y/o componentes que se identificaron se encontraban en mal estado con el análisis vibracional, habríamos comprometido otros elementos adicionales que al momento de la detección predictiva se encontraban en buen estado, incrementando de esta manera el costo de reparación tanto por estos elementos adicionales como por la mano de obra que habríamos tenido que utilizar/contratar para montarlos/repararlos. Estos costos son:

Descripción	Ahorro en Costo de Reparación (\$)
Costo de Catalina Helicoidal Simple 278 dientes	\$46,852
Costo de Contraeje de 19 dientes	\$18,882
Costo de Mano de Obra de Reparación	\$ 2,880
Ahorro en Costo de Reparación por Falla de Contraeje y de Catalina	\$68,614

Tenemos entonces que por concepto de reparación mecánica, hubiéramos incurrido por falla en un total de \$68,614.

Si consideramos que esta falla pudo haberse presentado 05 veces en un año, el ahorro por concepto de reparación ascendería a:

Costo de Reparación por Falla de Contareje y de Catalina (\$)	N° Fallas Estimadas que se habrían producido al año	Ahorro Anual Estimado en Costos de Reparación por evitar esta Falla (\$)
68,614	5	343,070

Ahora veamos el ahorro por concepto de lucro cesante en el siguiente punto.

2. Ahorros logrados en lucro cesante.

De haber fallado el molino, hubiera significado una parada de 24 horas como mínimo. En el punto 3.2.1. Habíamos calculado el costo de lucro cesante, el cual ascendía a 1,500 \$/hr. En este sentido el ahorro obtenido en lucro cesante por evitar una parada de 24 horas, asciende a \$36,000.

Para el cálculo del ahorro estimado anual en lucro cesante, procedemos de igual manera que el punto anterior. Es decir estimamos que esta falla se pudo haber producido un estimado de 05 veces al año, por lo que el ahorro anual por este concepto sería:

Costo de Lucro Cesante por Falla de Contareje y de Catalina (\$)	N° Fallas Estimadas que se habrían al año	Ahorro Anual Estimado en Costo de Lucro Cesante por evitar esta falla (\$)
36,000	5	180,000

Sumando los puntos 1. y 2., obtenemos un ahorro anual total estimado de: \$523,070.

3.3.2 Nuevos indicadores de confiabilidad y de disponibilidad

Como consecuencia de las acciones correctivas realizadas en el molino 09' x 12', sugeridas a partir del diagnóstico predictivo, la disponibilidad mecánica mensual se incrementó de 85% a 98%; asimismo la confiabilidad en sus indicadores de Tiempo Promedio entre Fallas y Tiempo Promedio de Reparación, MTBR y MTTR respectivamente, por sus siglas en inglés, se incrementó de 02 días a 15 días y disminuyó de 12 horas a 4 horas respectivamente.

Vistos en una tabla comparativa:

Indicador	Descripción	Fórmula	Valor anterior	Valor actual
MTBR	Tiempo Promedio entre Reparaciones	$\frac{\text{Horas Trabajadas}}{\text{N}^\circ \text{ Paradasal mes}}$	2 días	15 días
MTTR	Tiempo Promedio por Reparaciones	$\frac{\sum \text{Tiempo Paradas}}{\text{N}^\circ \text{ Paradasal mes}}$	12 horas	4 horas
DM	Disponibilidad Mecánica	$\frac{\text{Hrs Progr} - \text{Hrs Par Mto}}{\text{Horas Programadas}}$	85%	98%

CONCLUSIONES

Con la aplicación del mantenimiento predictivo, en su técnica de análisis vibracional, logramos detectar y eliminar, dos de las fallas más costosas en términos de reparación y de lucro cesante que se presentaron en el molino Rodmill # 03 de la Planta Concentradora Paragsha durante el 2008: Fallas en catalina y fallas en contraeje. Estas fallas tenían su origen en el mal encuentro entre dientes que existía entre ambos engranajes, así como en el problema crónico de desalineamiento que se producía entre el motor y el molino.

Estas fallas fueron detectadas analizando los espectros de vibración que obtuvimos haciendo uso del equipo analizador de vibraciones CSI2130 de Emerson. Entre las ventajas de haber usado esta técnica encontramos, que se redujo significativamente el tiempo que se consideraba para reparar un molino. Antes se detenía el molino para identificar la falla, luego en base a lo identificado se planificaba y se programaba la reparación, la cual muchas veces no se llegaba a realizar porque el molino fallaba antes de lo previsto.

Con la inclusión de la técnica de análisis vibracional se identificaron las fallas con el equipo en movimiento, y sobretodo se conoció por primera vez, el nivel de severidad o grado de alarma en que se encontraba, lo cual permitió planificar y programar intervenciones oportunas antes de que el equipo fallara intempestivamente.

BIBLIOGRAFÍA

1. Introducción al Análisis de Vibraciones, Glen White, 1990 – 2010 AZIMA DLI
2. Tutorial de Vibraciones para Mantenimiento Mecánico, A-MAQ S.A. Análisis de Maquinaria, 2005
3. Beginner's Guide to Machine Vibration, Commtest The Revolution, 2006
4. La medición y el análisis de vibraciones en el diagnóstico de máquinas rotatorias, Dr. Evelino Palomino Marín, Centro de Estudios Innovación y Mantenimiento, División de Ingeniería de las Vibraciones y Diagnóstico, Cuba 1997
5. Vibraciones Básicas de Máquinas, Ciro Martínez
6. Practical Machinery Vibration Analysis & Predictive Maintenance, Cornelius Scheffer, Paresh Girdhar, IDC TECHNOLOGIES, ELSEVIER, 2004
7. Evaluación de la Severidad Vibratoria, Universidad de Concepción, Laboratorio de Vibraciones Mecánicas, Departamento de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería, Concepción Chile, 2002
8. Root Cause Failure Analysis, Plant Engineering Maintenance Series, R. Keith Mobley, 1999

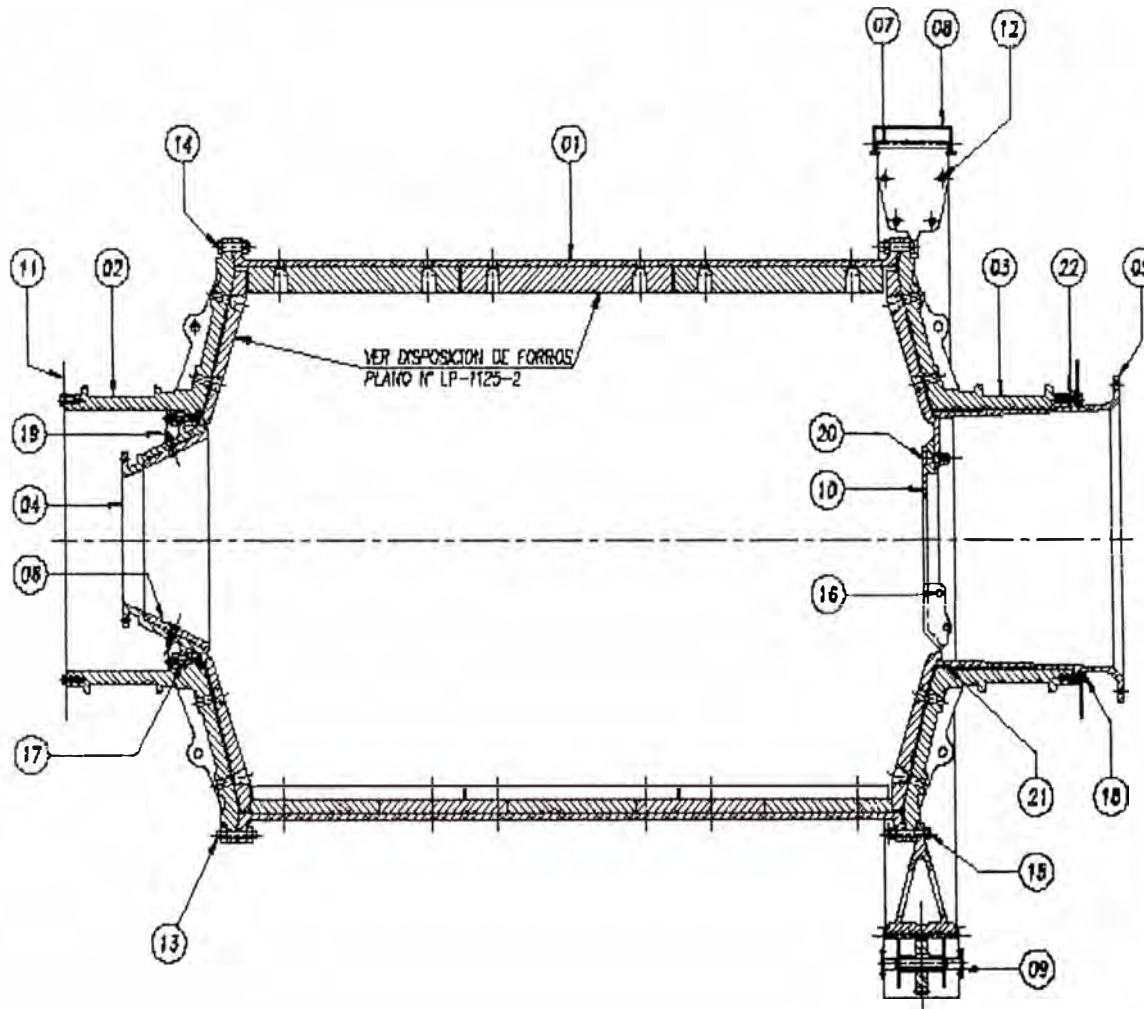
9. Reference Standards for Vibration Monitoring and Analysis, J Michael Robichaud, P. Eng
10. Casos Reales de Análisis de Vibración, Oscar Jiménez Yenny, Primer Congreso de Confiabilidad y Mantenimiento, Oct 30-31 2003

Anexos

Anexo 1 Cartilla de Mantenimiento Preventivo del Molino

	1 MES	3 MESES	6 MESES	12 MESES
TAREAS				
GENERAL				
Limpieza general del equipo	X	X	X	X
Engrase general del equipo	X	X	X	X
En operación: Detectar ruidos anormales, identificar causas para eliminarlas	X	X	X	X
Medir el nivel de vibración antes y después del mantenimiento	X	X	X	X
Inspeccionar y lubricar cojinetes y chumaceras	X	X	X	X
Inspeccionar y ajustar pernos-tuercas de sujeción/anclaje	X	X	X	X
Verificar vigas y columnas de cimentación (Flexión, fracturas, etc.)	X	X	X	X
Eliminar fugas de: pulpa, agua, aceite, grasas y otros	X	X	X	X
Inspeccionar y ajustar conexiones en general	X	X	X	X
Comprobar funcionamiento de sensores de temperatura (Piñón-catalina)	X	X	X	X
Comprobar funcionamiento de sensores de temperatura (Trunnion alimentario)	X	X	X	X
Comprobar funcionamiento del sensor de densidad (D1 2507)	X	X	X	X
Comprobar funcionamiento de Presostátos	X	X	X	X
Comprobar funcionamiento de Manómetros	X	X	X	X
Comprobar funcionamiento de válvulas Solenoides	X	X	X	X
Comprobar funcionamiento de válvulas manuales	X	X	X	X
LADO ALIMENTACIÓN DE CARGA				
Inspeccionar estado de sellos de jebe - Verificar desgaste	X	X	X	X
Inspeccionar estado de tapa Trunnion-Muñón - Verificar desgaste	X	X	X	X
Inspeccionar estado del forro Trunnion-Muñón - Verificar desgaste	X	X	X	X
Inspeccionar estado del forro para forro Trunnion-Muñón - Verificar desgaste	X	X	X	X
Verificar desgaste del Spou Feeder (Codo de alimentación)	X	X	X	X
LADO DESCARGA				
Inspeccionar estado de tapa Trunnion-Muñón - Verificar desgaste		X	X	X
Inspeccionar estado del forro Trunnion-Muñón - Verificar desgaste		X	X	X
Inspeccionar estado del Trommel de descarga - Verificar desgaste		X	X	X
Verificar torque de apriete de pernos de amarre del Trommel al forro Trunnion	X	X	X	X
TRUNNION DE ALIMENTACIÓN Y DESCARGA				
Verificar y registrar temperaturas (En operación a plena carga)	X	X	X	X
Inspeccionar estado de placas base - Verificar desgaste, fracturas		X	X	X
Inspeccionar estado de bases de chumaceras		X	X	X
Inspeccionar estado del babit de casquillos autoalineantes - Verificar desgaste			X	X
Inspeccionar estado de tapas - Verificar desgaste		X	X	X
Inspeccionar estado de sellos retén (Cambiar si es necesario)		X	X	X
Verificar funcionamiento de las bombas hidráulicas de alta presión		X	X	X
Verificar funcionamiento de las bombas hidráulicas de baja presión		X	X	X
Drenar aceite de lubricación forzada		X	X	X
CILINDRO PRINCIPAL				
Inspeccionar estado del casco - cilindro (Desgaste, rayaduras, fracturas)			X	X
Inspeccionar estado de pernos de amarre del casco y tapas muñón		X	X	X
Verificar torque de apriete de pernos de amarre del casco y tapas	X	X	X	X
Inspeccionar estado de pernos de amarre de la catalina		X	X	X
Verificar torque de apriete de pernos de amarre de la catalina	X	X	X	X
Verificar alineación y verticalidad de la catalina			X	X
Inspeccionar estado de dientes de la catalina (Desgaste, rayaduras, fracturas)			X	X
Pintar superficies externas (Usar pintura anticorrosiva)				X
FORROS				
Inspeccionar estado del forro del casco - Verificar desgastes exterior e interior				X

Anexo 2 Planos



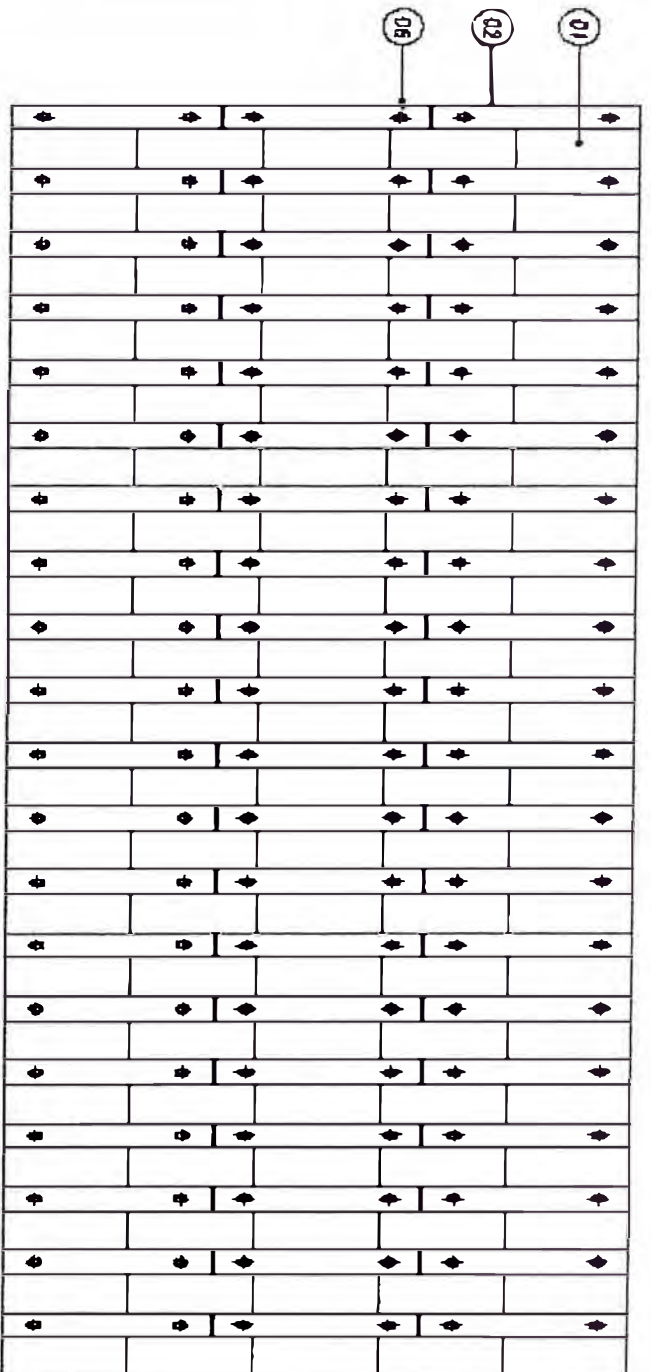
22	1	EMPACETADURA	11.25-P122
21	2	SELLO DE JEJE (O'RING)	11.25-P121
20	8	PERNO PARA OBTURADOR Y FORRO CABEZAL	11.25-P120
19	18	PERNO PARA FORRO DEL MOTOR MUJON	11.25-P118
18	24	PERNO PARA MUJON DESG. Y FORRO MUJON	11.25-P118
17	12	PERNO PARA MUJON CARGA Y FORRO MUJON	11.25-P117
16	8	PERNO PARA DISCO OBTURADOR	11.25-P116
15	20	PERNO PARA CILINDRO, TAPA Y ENGRANAJE	11.25-P110
14	32	PERNO PARA CILINDRO Y TAPA	11.25-P114
13	8	ESPARRAGO PARA CILINDRO Y TAPA	11.37-1001
12	8	ESPARRAGO DE SECTORES DE ENGRANAJE	11.25-P112
11	2	DISCO DEFLECTOR	11.25-135
10	1	DISCO OBTURADOR	11.25-158
09	1	SISTEMA DE LUBRICACION DEL ENGRANAJE	11.25-109
08	1	FUNDA DEL ENGRANAJE	11.25-1077
07	1	ENGRANAJE DE 278 IL. HELICOIDALES	11.25-180
06	8	FORRO DEL FORRO DEL MUJON	11.25-108
05	1	FORRO DEL MUJON DESCARGA	11.24-108
04	1	FORRO DEL MUJON CARGA	11.25-104
03	1	TAPA MUJON DESCARGA	11.25-103
02	1	TAPA MUJON CARGA	11.25-102
01	1	CILINDRO	11.25-101
POS	CANT	DESCRIPCION	CODIGO

CONSORCIO METALLURGICO S.A.
LIMA - PERU

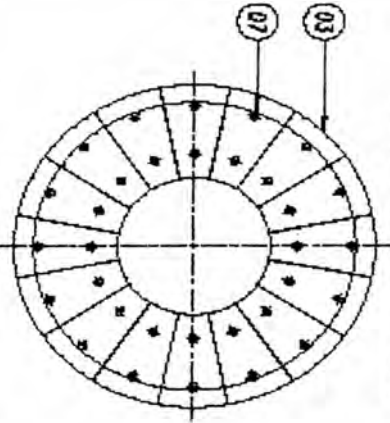
MILIND DE BARRIL "COMESA" 6-1/4" x 12"
CANGILLOS DEL CANGILLO
LIBRA DE PAJES

Proyector	Fecha	08-01-1971	N°	LP-1125-1
DISEÑO	P. Urdy	COMET	04	
APROBADO		APROBADO		

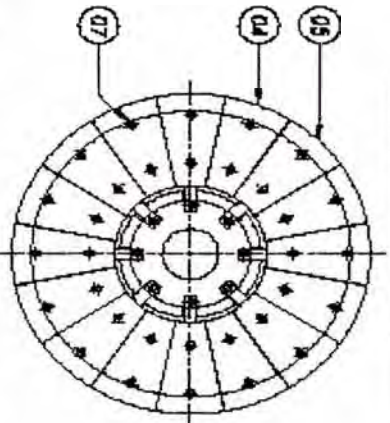
FERRROS Y CUNIAS DEL CILINDRO



FERRROS CABEZALES LADO CARGA



FERRROS CABEZALES LADO DESCARGA



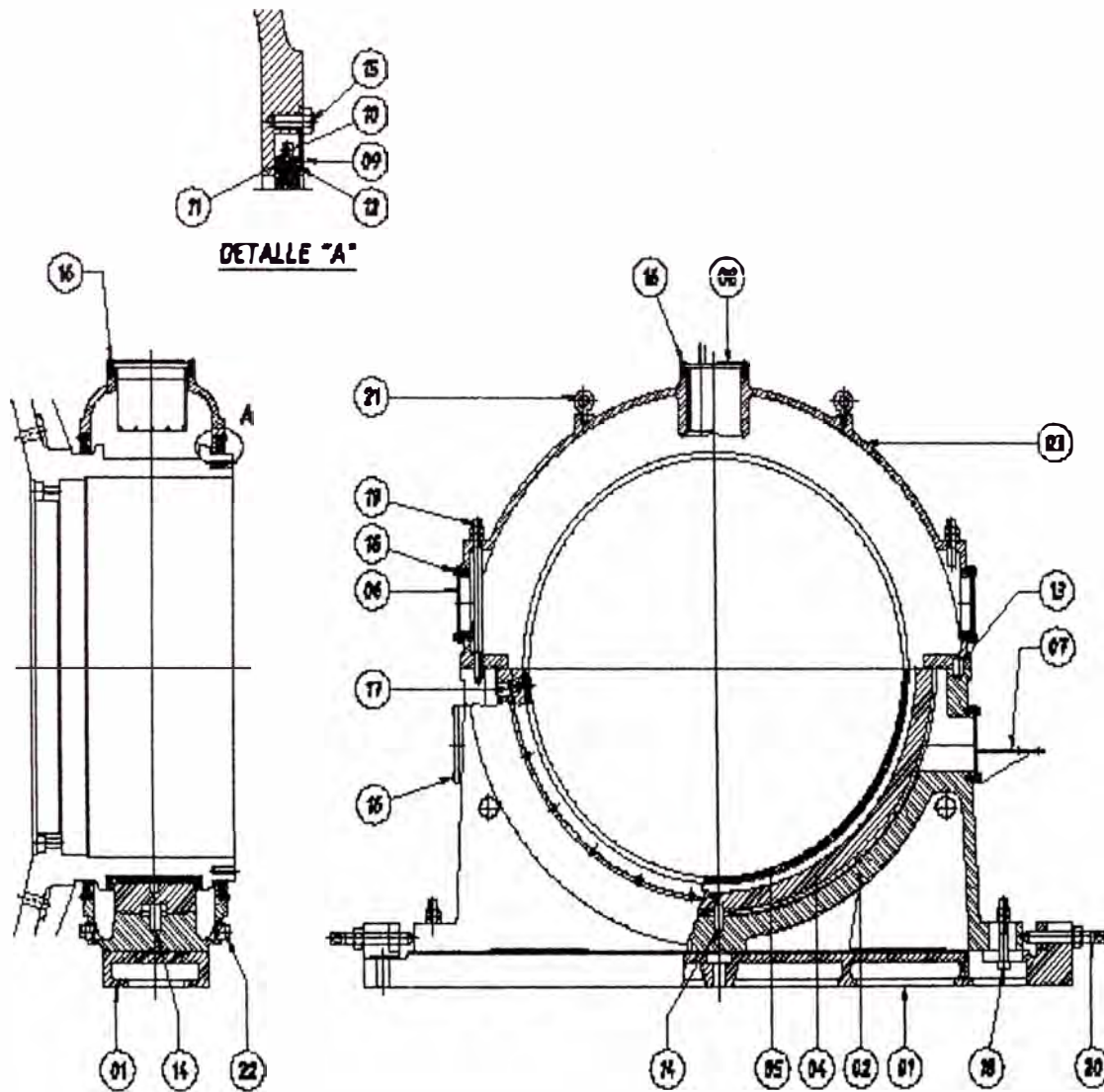
Lista utilizada para Molino de barras "Morcy" 9'-6" Ø x 12'

POS	CAJIT	DESCRIPCION	CODIGO
07	84	PERNO CUBIERTA DIAM 1 1/2" M.C. U 31"	PI 5081100
08	120	PERNO CUBIERTA DIAM 1 1/2" M.C. H 8"	PI 5081000
05	8	FERRRO CABEZA LADO DESCARGA	1125-155
04	8	FERRRO CABEZA LADO CARGA	1125-154
03	16	FERRRO CABEZA LADO CARGA	1125-153
02	80	CUNIAS DEL CILINDRO	1125-152
01	100	FERRROS DEL CILINDRO	1125-151

CONSUMIVO METALURGICO S.A.

UNIDAD DE MANEJO "COLUMBA" 9'-6" Ø x 12'
 DIVISION DE FERRROS
 AREA DE PLANOS

PROYECTO	FECHA	ESCALA	Nº
TITULO Y LUGAR	07-11-2011	1/4"	LP-1125-2
PROYECTISTA	REVISOR		

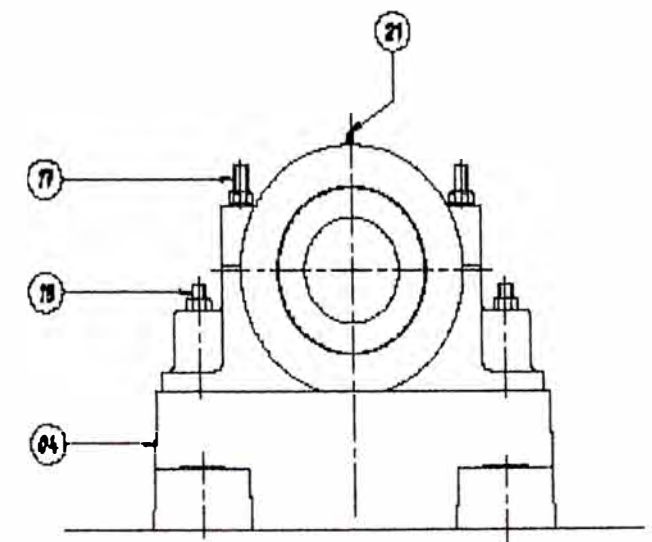
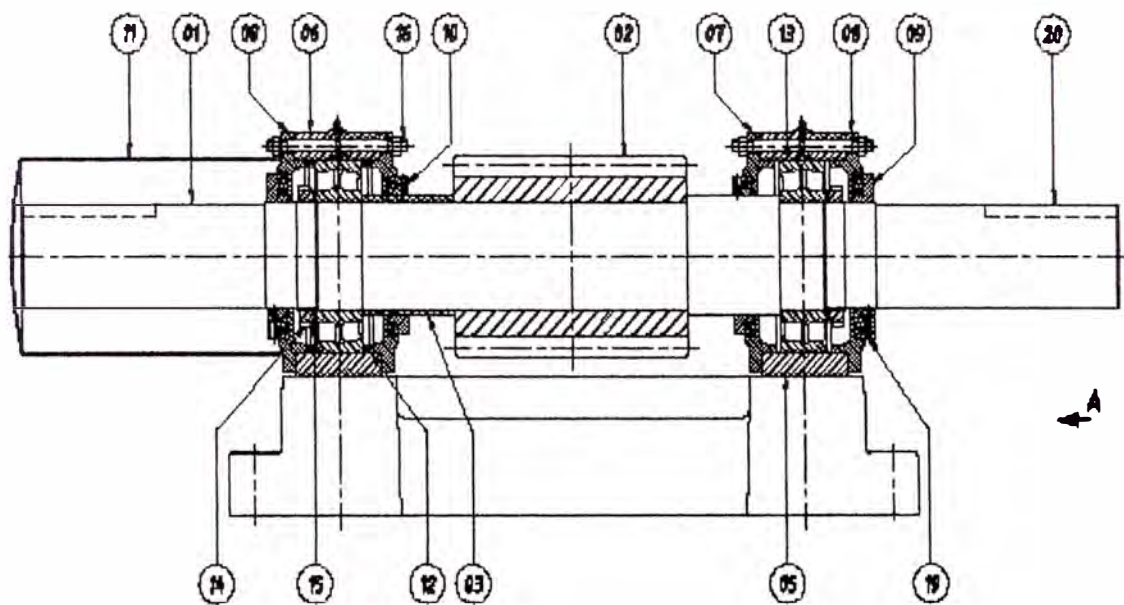


22	4	TAPON MACHO 2" Ø	
21	4	CANCANO 1" Ø	
20	4	PERNO REGUL. 3/4" Ø N.C. x 11 3/8" C/T	
19	Ø	ESPARRAGO 1 3/4" Ø N.C. x 23" C/2 T.	
18	Ø	PERNO 1 1/4" Ø N.C. x 8" C.C. C/2 Tuercas	
17	Ø	PERNO 3/4" Ø N.C. x 2 1/2"	
16	4Ø	PERNO 5/8" Ø N.C. x 1 3/4"	
15	ØØ	PERNO 1/2" Ø N.C. x 1 1/4"	
14	2	PIR GUA 1 1/2" Ø x 90	M25-316
13	4	PIR GUA 1 1/2" Ø x 60	M25-316
12	4	RETEN	M25-316
11	4	RESORTE PARA RETEN	M25-316
10	4	SEGURO PARA RETEN	M25-316
09	4	ANILLO SOPORTE DEL RETEN	M25-316
08	2	RESERVOIRIO DE ACEITE	M25-316
07	2	TAPA SOPORTE DE BOMBA AUXILIAR	M25-317
06	4	TAPA DE REGISTRO	M25-319
05	2	CASQUILLO PARA TRUNQUIN	M25-317
04	2	SOPORTE AUTORIZANTE	M25-316
03	2	TAPA DE LA CAMARERA	M25-319
02	2	BASE DE LA CAMARERA	M25-317
01	2	PLACA BASE DE LA CAMARERA	M25-317
POS	CANT	DESCRIPCION	CODIGO

CONSORCIO METALURGICO S.A.
LIMA - PERU

UNIDAD DE BOMBAS "TORRETA" DE 1" Ø
CAMARERA PRINCIPAL
LISTA DE PARTES

Proyecto:	Fecha:	25-10-2009	Nº	LP-1126-3
Proyecto:	Forma:	0-1		
Proyecto:	Aplicación:			



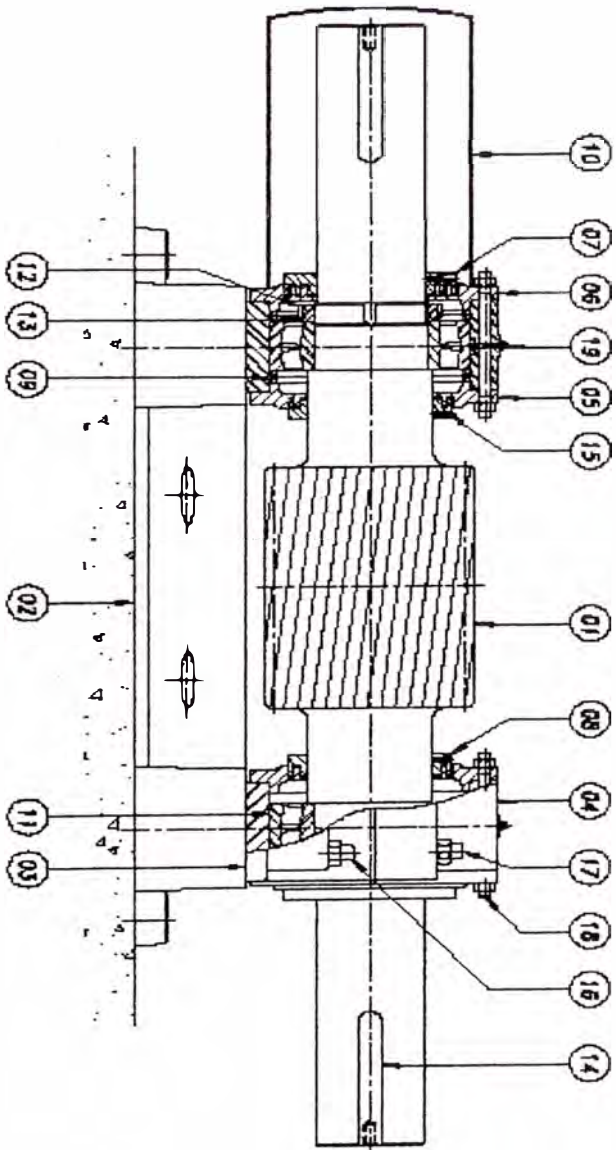
VISTA "A"

21	2	GRASERA 1/4" Ø	
20	1	CHAVETA 1 1/2" x 1 1/2" x 3/4"	
19	Ø	PROTECTOR 3/16" Ø N.C. x 1" Long.	
18	Ø	PERNO 1" Ø N.C. x 8" Long.	
17	Ø	ESPARRAGO 1" Ø N.C. x 9" Long.	
16	12	ESPARRAGO 3/4" Ø N.C. x 2 1/2" Long.	
15	2	ARANDELA N036	
14	2	TUERCA N176	
13	2	RODAMIENTO 22236	
12	4	ESPACADORES	N25-242
11	1	FLANCO DEL EJE	N25-241
10	2	LABERINTO INTERIOR	N25-219
09	2	LABERINTO EXTERIOR	N25-209
08	2	TAPA EXTERIOR DE RODAMIENTO	N25-206
07	2	TAPA INTERIOR DE RODAMIENTO	N25-205
06	2	TAPA SUPERIOR DE CHUMACERA	N25-204
05	2	CHUMACERAS DE RODAMIENTOS	N25-203
04	1	BASE DE CHUMACERAS	N25-202
03	1	ESPACADOR PARA PUNO Y RODAMIENTO	N24-273
02	1	PUNO DE 20 Ø MECANICALES	N24-272
01	1	EJE	N24-261
POS	CANT	DESCRIPCION	CODIGO

CONSORCIO METALURGICO S.A.
LMA-1989

MOLINO DE BOMBA "CORCH" 1-400
ENSAMBLE DEL CONTRAJE
LISTA DE PARTES

Proyecto:	Fecha:	01-03-2000
Revisión:	Elaborado:	EL
Revisado:	Aprobado:	Nº LP-1126-4-1



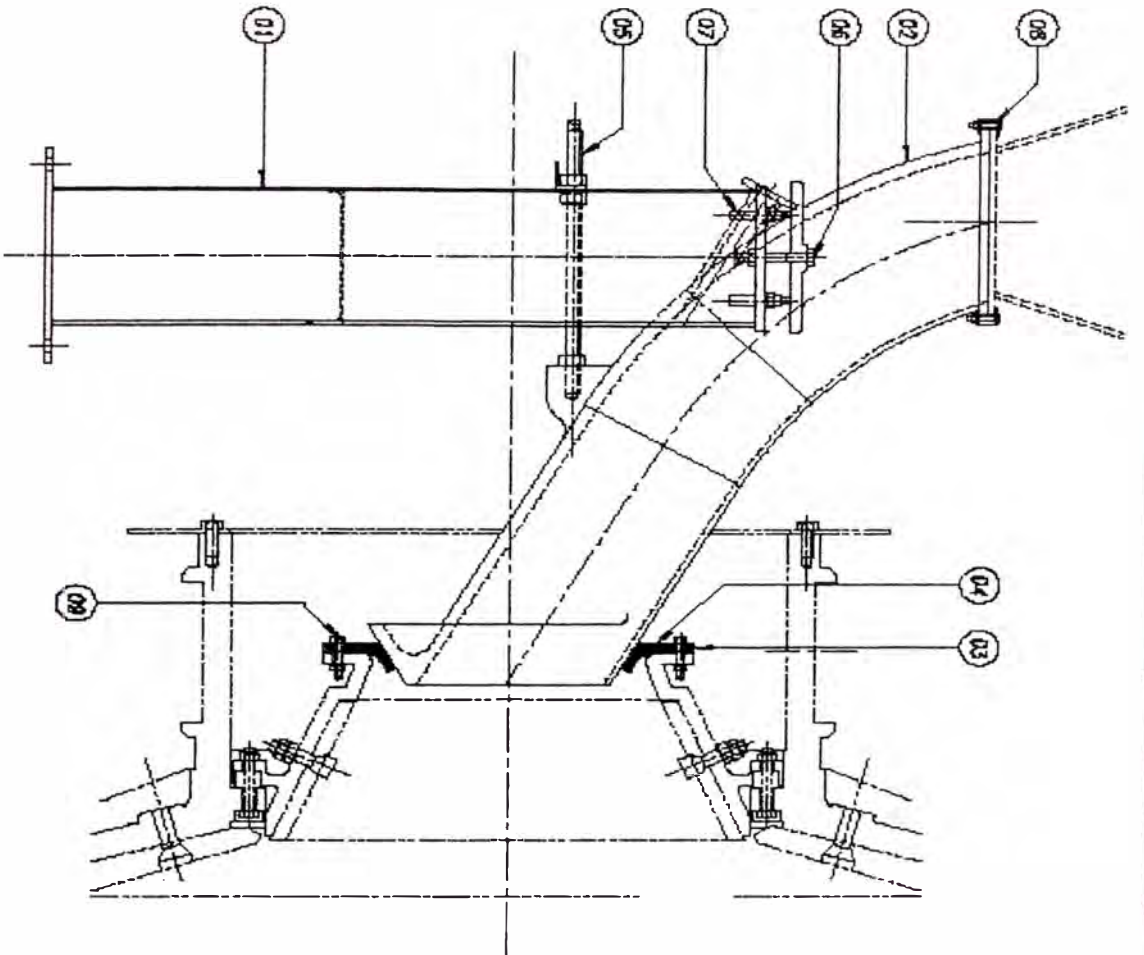
19	2	GRABETA	1125-P319
18	16	ESPARRAMO PARA JAPAS LATERALES	1125-213
17	8	ESPARRAMO PARA JAPA DE CHUMBERA	1125-212
16	8	ACROD PARA CHUMBERA SUPER	1125-214
15	8	ANILLO ALTO	1125-P310
14	1	CHAVETA	1125-P314
13	2	ARANDIA	1125-P313
12	2	JUERCA	1125-P312
11	2	RODILE	1125-P311
10	1	FLAN DE EXTREMO DEL L.E	1125-211
09	4	ESPALDONES	1125-242
08	2	CABERILLO INTERIOR	1125-210
07	2	CABERILLO EXTERIOR	1125-210
06	2	JAPA INTERIOR DE RODILE	1125-208
05	2	JAPA INTERIOR DE RODALE	1125-205
04	2	JAPA SUPERIOR DE CHUMBERA	1125-204
03	2	BASE DE CHUMBERA SUPER	1125-203
02	1	PLACA BASE DE CHUMBERA	1125-202
01	1	C.E. PIVOT	1125-201
POS	CANT	DESCRIPCION	CODIGO

CONSORCIO METALURGICO S.A.

UR - 7028

MAQUINA DE BOMBEO TORQUEO 4-1/2" x 12"
 ZEROSOL DEL DISTRIBUIDOR
 LINEA DE FUNDICION

Proyecto	Forma	Fecha	Nº	LP-1125-4
Tramo	C. de	Scale	4/4	
Revisado	Verificado	Verificado		



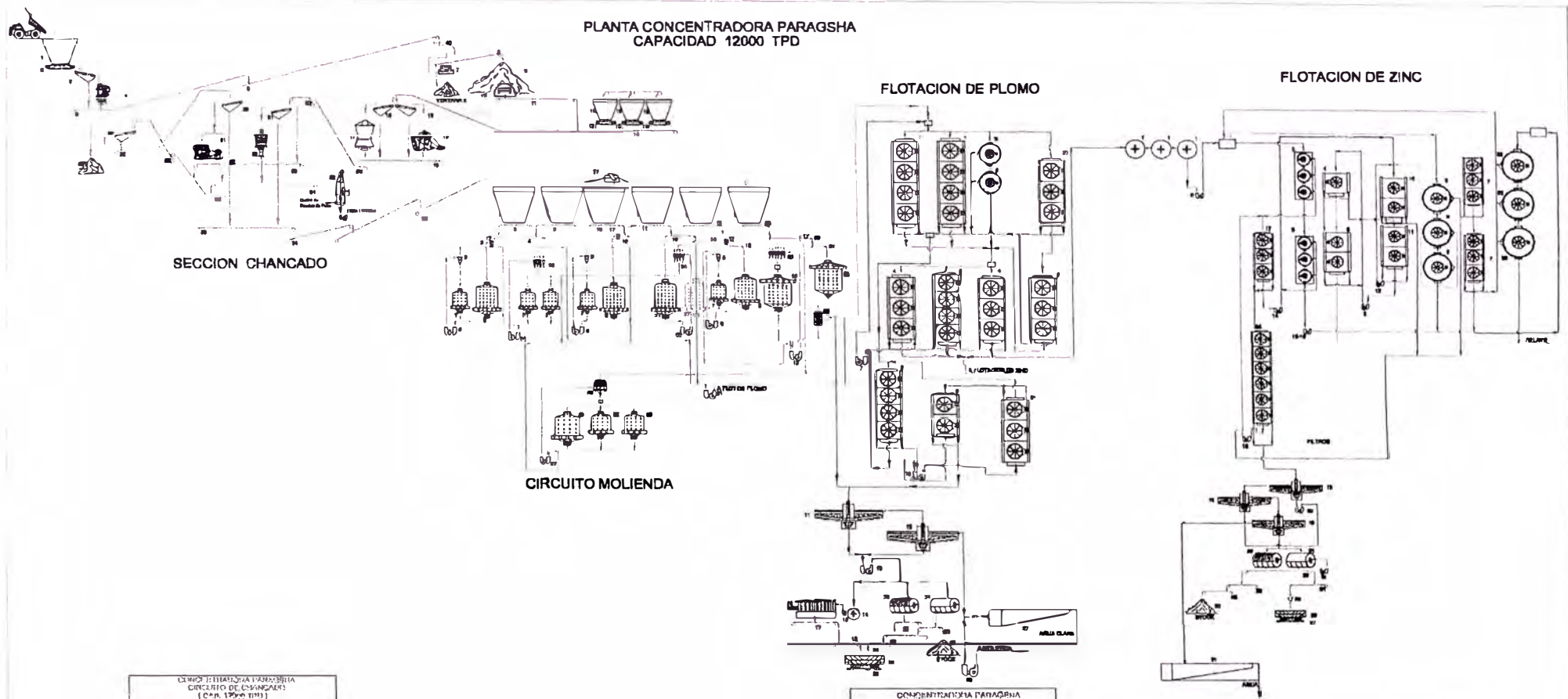
POS	CANT	DESCRIPCION	COORDO
06	8	PERNO PARA SELLO Y PUNTO DEL MUELLO	1125-1209
08	8	LEÑO DE BRUMAYS	1113-134
07	4	PERNO DE UNILACION	1125-133
09	2	PERNO PARA SOPORTE DEL CAVITE	1125-137
05	1	PERNO REGULADOR	1125-136
04	1	BRIDA PARA SUJION DEL SELLO	1125-134
03	1	SELLO DE GITE	1125-133
02	1	CAVITE DE ALIMENTACION	1125-132
01	1	SOPORTE DEL CAVITE	1125-137

CONSORCIO METALURGICO S.A.

VALLE DE ABRAJO TORQUE 4-1/2" x 1 1/2"
 ALIMENTACION POR CAVITE (SEAL POINT)
 (SEAL DE PUNTO)

Proyeccion	Fecha	Nº
Tronco y Vista	07-11-80	LP-1220-8
Detalle	07-11-80	

Anexo 3 Flowsheet Planta Concentradora Paragsha 12,000TPD



CONCENTRADORA PARAGSHA
CIRCUITO DE CHANCADO
(CAP. 12000 TPD)

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	VALOR
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

CONCENTRADORA PARAGSHA
CIRCUITO DE MOLIENDA
(CAP. 12000 TPD)

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	VALOR
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

CONCENTRADORA PARAGSHA
CIRCUITO DE FLOTACION DE PLOMO
(CAP. 12000 TPD)

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	VALOR
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

CONCENTRADORA PARAGSHA
CIRCUITO DE FLOTACION DE ZINC
(CAP. 12000 TPD)

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	VALOR
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

Anexo 4 Consideraciones criticidad

MANTENIMIENTO
PREDICTIVO

Criticidad

ÍTEM	VARIABLES	CONCEPTO	PONDERACION	OBSERVACIONES
1	Efecto sobre el Servicio que proporciona:			
		Para	4	
		Reduce	2	
		No para	0	
2	Valor Técnico - Económico:			
	Considerar el costo de Adquisición, Operación y Mantenimiento.	Alto	3	Más de U\$ 20,000
		Medio	2	
		Bajo	1	Menos de U\$ 1,000
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 accidente del 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 necesite?
		baja	0	
5	Flexibilidad del Equipo en el Sistema:			
		Único	2	No existe otro 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.
		Ter. y Prop.	1	El Mantenimiento requiere personal propio y terceros.
		Propia	0	El Mantenimiento se realiza con personal propio.
8	Facilidad de Reparación (Mantenibilidad):			
		Baja	1	Mantenimiento difícil.
		Alta	0	Mantenimiento fácil.

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

Anexo 5 Listado de repuestos del molino de Barras

03

Sistema	Sub Sistema	Cant.	UN	Sap Material	Texto Breve de Material	Perfil	Costo Unit. USD
Cilindro (shell)	Forro del cilindro (sell liner)	1	JGO	100013973	FORRO ACERO AL CROMO-MOLY FUNDIDO MC-4	PLANIFICABLE	21782
Cilindro (shell)	Forro del cilindro (sell liner)	1	JGO	100013974	FORRO D/CILINDRO ACERO AL CROMOMOLIBDENO	PLANIFICABLE	28377
Cilindro (shell)	Forro del cilindro (sell liner)	120	JGO	100014186	PERNO 1-1/2X6-1/2" DE VASTAGO P/FORRO	PLANIFICABLE	17
Cilindro (shell)	Forro del cilindro (sell liner)	180	PIE	200000407	CUBIERTA JEBE, 3/16" ESP. X 24 " ANCHO	PLANIFICABLE	4
Lado Carga (Charge side)	Chumacera Principal lado carga	1	UN	100013864	BUSHING BRONZE TRUNN BRG 328	ESTRATÉGICO	10271
Lado Carga (Charge side)	Chumacera Principal lado carga	2	UN	100014291	SEAL OIL PART NO.322 WITH	PLANIFICABLE	304
Lado Carga (Charge side)	Chumacera Principal lado carga	2	UN	100022655	RESORTE PARA RETEN	PLANIFICABLE	47
Lado Carga (Charge side)	Chumacera Principal lado carga	8	UN	100014238	PERNOS DE FIJACION PARA CHUMACERASAE 414	PLANIFICABLE	44
Lado Carga (Charge side)	Forro de tapa carga(charge end liner)	1	UN	100014053	FORRO PARA ALIMENTADOR, 16 UNID X JUEGO	PLANIFICABLE	6499
Lado Carga (Charge side)	Forro de tapa carga(charge end liner)	1	JGO	100014253	PLACA DESGASTE JUEGO 8 UNID MC-4	PLANIFICABLE	900
Lado Carga (Charge side)	Forro de tapa carga(charge end liner)	16	UN	100022656	PERNO DE 1 X 4PULGADAS,PARA FORRO DE MOL	PLANIFICABLE	5
Lado Carga (Charge side)	Forro de tapa carga(charge end liner)	32	UN	100014206	PERNO DE 1.1/2"X8"DE 6" CONICIDAD CABEZA	PLANIFICABLE	22
Lado Carga (Charge side)	Forro de tapa carga(charge end liner)	60	PIE	200000407	CUBIERTA JEBE, 3/16" ESP. X 24 " ANCHO	PLANIFICABLE	4
Lado Carga (Charge side)	Forro del muñón de carga (charge trunnion liner)	1	UN	100014023	FORRO DE MUNON, PARTE NO. 107	PLANIFICABLE	3207
Lado Carga (Charge side)	Forro del muñón de carga (charge trunnion liner)	1	UN	101001189	SELLO CAUCHO ANTIABRASIVO LINATEX 2 1/8"	PLANIFICABLE	869
Lado Carga (Charge side)	Placa base carga (charge sole plate)	1	UN	101008813	PLACA DE BASE DE CHUMACERA 1125-301	ESPECÍFICO	4015
Lado Carga (Charge side)	Tapa (charge shell cover)	1	UN	101011444	TAPA DE ALIMENTACION RODMILL 1 2 Y 3	ESPECÍFICO	9075
Lado Carga (Charge side)	Tubería de alimentación (Spout Feeder)	1	UN	100014347	SPOUT FEEDER PARA MOLINO 9 X 12	PLANIFICABLE	2643
Lado Carga (Charge side)	Tubería de alimentación (Spout Feeder)	1	UN	101001189	SELLO CAUCHO ANTIABRASIVO LINATEX 2 1/8"	PLANIFICABLE	869
Lado Descarga (Discharge side)	Chumacera principal lado descarga	1	UN	100013864	BUSHING BRONZE TRUNN BRG 328	ESTRATÉGICO	10271
Lado Descarga (Discharge side)	Chumacera principal lado descarga	2	UN	100014291	SEAL OIL PART NO.322 WITH	PLANIFICABLE	304
Lado Descarga (Discharge side)	Chumacera principal lado descarga	2	UN	100022655	RESORTE PARA RETEN	PLANIFICABLE	47
Lado Descarga (Discharge side)	Forro de tapa descarga (discharge end liner)	1	JGO	100014055	FORRO PARA DESCARGA, JUEGO 8 UNID MB-7	PLANIFICABLE	2588
Lado Descarga (Discharge side)	Forro de tapa descarga (discharge end liner)	1	JGO	100014052	FORRO P/DESCARGA FINAL, JUEGO 8 UNID.MB-7	PLANIFICABLE	2508
Lado Descarga (Discharge side)	Forro de tapa descarga (discharge end liner)	32	UN	100014206	PERNO DE 1.1/2"X8"DE 6" CONICIDAD CABEZA	PLANIFICABLE	22
Lado Descarga (Discharge side)	Forro de tapa descarga (discharge end liner)	60	PIE	200000407	CUBIERTA JEBE, 3/16" ESP. X 24 " ANCHO	PLANIFICABLE	4
Lado Descarga (Discharge side)	Forro del muñón de descarga (discharge trunnion liner)	1	UN	100014024	FORRO DE MUNON, PARTE NO. 119	PLANIFICABLE	5930
Lado Descarga (Discharge side)	Placa base descarga (discharge sold plate)	1	UN	101008813	PLACA DE BASE DE CHUMACERA 1125-301	ESPECÍFICO	4015
Lado Descarga (Discharge side)	Tapa descarga (discharge shell cover)	1	UN	101011445	TAPA DE DESCARGA RODMILL 1 2 Y 3	ESPECÍFICO	9872
Motor	Motor	1	#N/A	X CREAR	#N/A	ESTRATÉGICO	#N/A
Sistema Lubricación de baja	Bomba de aceite	1	UN	100013854	BOMBA LUBRICACION MARCA TUTHILL 3C1G-C	ESTRATÉGICO	615
Sistema Lubricación de baja	Filtro de Aceite	2	UN	100013963	CARTUCHO 33038207	PLANIFICABLE	320
Transmisión	Acople (Coupling)	1	JGO	101007314	ACOPLAMIENTO FLEXIBLE 1180T10 COMPLETO	ESTRATÉGICO	9848
Transmisión	Catalina	1	UN	101008951	CATALINA PARTIDA HELICOIDAL SIMPLE 278 D	ESPECÍFICO	46852
Transmisión	Catalina	20	UN	201007843	PERNO H.GRUESO DE 1-1/2" X 12" GRADO 8	PLANIFICABLE	28
Transmisión	Chumacera contraeje	2	UN	100013893	CHUMACERA RODAJE N/P125-203/204	ESTRATÉGICO	1253
Transmisión	Chumacera contraeje	2	UN	100000253	BEARING ROLLER SKF 22236CC/W33	PLANIFICABLE	929
Transmisión	Contraeje	1	UN	100013942	EJE PIÑON INTEGRAL DE 19 DIENTES	ESTRATÉGICO	18882

Tabla 6.1.5 Listado de Repuestos Molino Rodmill 9'x12'

Anexo 6 Estándares de vibración ISO

ISO reference	Category			
	I	II	III	IV
ISO 1925. <i>Mechanical vibration — Balancing — Vocabulary</i>		•	•	•
ISO 1940-1. <i>Mechanical vibration — Balance quality requirements of rigid rotors — Part 1. Specification and verification of balance tolerances</i>		•	•	•
ISO 1940-2. <i>Mechanical vibration — Balance quality requirements of rigid rotors — Part 2. Balance errors</i>			•	•
ISO 2017. <i>Mechanical vibration and shock — Resilient mounting systems — Part 1. Application of source and receiver isolation</i>				•
ISO 2041. <i>Vibration and shock — Vocabulary</i>		•	•	•
ISO 2954. <i>Mechanical vibration of rotating and reciprocating machinery — Requirements for instruments for measuring vibration severity</i>				•
ISO 5348. <i>Mechanical vibration and shock — Mechanical mounting of accelerometers</i>		•	•	•
ISO 7913-1. <i>Mechanical vibration of non-reciprocating machines — Measurement on rotating shafts and evaluation criteria — Part 1. General guidelines</i>	•	•	•	•
ISO 7913-2. <i>Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on rotating shafts — Part 2. Land-based steam turbines and generators in excess of 50 MW with normal operating speeds of 1 500 r/min, 1 800 r/min, 3 000 r/min and 3 600 r/min</i>		•	•	•
ISO 7913-3. <i>Mechanical vibration of non-reciprocating machines — Measurements on rotating shafts and evaluation criteria — Part 3. Coupled industrial machines</i>		•	•	•
ISO 7913-4. <i>Mechanical vibration of non-reciprocating machines — Measurements on rotating shafts and evaluation criteria — Part 4. Gas turbine sets</i>		•	•	•
ISO 7913-5. <i>Mechanical vibration of non-reciprocating machines — Measurements on rotating shafts and evaluation criteria — Part 5. Machine sets in hydraulic power generating and pumping plants</i>		•	•	•
ISO 8528-9. <i>Reciprocating internal combustion engine driven alternating current generating sets — Part 9. Measurement and evaluation of mechanical vibrations</i>		•	•	•
ISO 8563. <i>Mechanical vibration and shock — Measurement and evaluation of shock and vibration effects on sensitive equipment in buildings</i>			•	•
ISO 10816-1. <i>Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts — Part 1. General guidelines</i>	•	•	•	•

ISO reference	Category			
	I	II	III	IV
ISO 10816-2, <i>Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts — Part 2: Land-based steam turbines and generators in excess of 50 MW with normal operating speeds of 1 500 r/min, 1 800 r/min, 3 000 r/min and 3 600 r/min</i>		•	•	•
ISO 10816-3, <i>Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts — Part 3: Industrial machines with nominal power above 15 kW and nominal speeds between 120 r/min and 15 000 r/min when measured in situ</i>		•	•	•
ISO 10816-4, <i>Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts — Part 4: Gas turbine driven sets excluding aircraft derivatives</i>		•	•	•
ISO 10816-5, <i>Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts — Part 5: Machine sets in hydraulic power generating and pumping plants</i>		•	•	•
ISO 10816-6, <i>Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts — Part 6: Reciprocating machines with power ratings above 100 kW</i>		•	•	•
ISO 11342, <i>Mechanical vibration — Methods and criteria for the mechanical balancing of flexible rotors</i>				•
ISO 13372, <i>Condition monitoring and diagnostics of machines — Vocabulary</i>	•	•	•	•
ISO 13373-1, <i>Condition monitoring and diagnostics of machines — Vibration condition monitoring — Part 1: General procedures</i>	•	•	•	•
ISO 13379, <i>Condition monitoring and diagnostics of machines — General guidelines on data interpretation and diagnostics techniques</i>			•	•
ISO 14694, <i>Industrial fans — Specifications for balance quality and vibration levels</i>	•	•	•	•
ISO 14695, <i>Industrial fans — Method of measurement of fan vibration</i>			•	•
ISO 17359, <i>Condition monitoring and diagnostics of machines — General guidelines</i>	•	•	•	•
ISO 18436-1, <i>Condition monitoring and diagnostics of machines — Requirements for training and certification of personnel — Part 1: Requirements for certifying bodies and the certification process</i>				•

Anexo 7 Fallas a la Velocidad de Operación

Falla	Frecuencia	Página #	Espectro, Forma de Onda, Orbitas	Corrección
Velocidad Crítica	1x, 2x, 3x, etc.	4.8	Vibración amplificada por estar cerca de una frecuencia natural	Las RPM de trabajo debe alejarse de la frecuencia natural
Desbalance	1x	4.9	1x, con amplitudes menores a 2x, 3x, etc. Orbitas elípticas y circulares, el ángulo de fase constante.	Balancear el rotor
Desalineamiento	1x, 2x, a veces 3x	4.10	1x con amplitudes iguales o mayores a 2x, 3x y 1x en el axial.	Alinear en caliente o en frío, de acuerdo al equipo.
Eje combado	1x	4.12	1x elevada y el ángulo de fase pueden cambiar.	Enderezar el rotor.
Desgaste de cojinetes	1x, Subarmónicas y ordenes	4.13	1x alto, 1/2x alto acompañado de 1 1/2x y armónicas	Reemplazar cojinetes.
Resonancia	1x, 2x, 3x, etc.	4.5	Alta sensibilidad al balanceo, alta amplitud de vibración, armónicas.	Cambiar la frecuencia natural de la estructura.
Soltura	Varias armónicas de 1/2x y/o 1x	4.13	Alto 1x, con armónicas de 1/2 con bajos valores, vibración axial baja.	Ajustar pernos aumentar la rigidez.
Excentricidad	1x	4.14	Alto 1x	Embocinar los alojamientos y centrar el rotor.
Cople trabado	1x, 2x, 3x, etc.	4.12	Alto 1x y 2x, similar al desalineamiento, el ángulo de fase cambia en cada arranque	Reemplazar el cople y eliminar los materiales extraños.
Variación Térmica	1x		Varia la amplitud y el ángulo de fase de 1x.	Balancear la carga térmica en el rotor.
Distorsión	1x y armónicas		1x alta, con armónicas	Aliviar los esfuerzos en la carcasa.
Impacto, excita frecuencias naturales	Nx	4.5	Excitación de frecuencias naturales a múltiplos de la velocidad de operación	Eliminar la fuente de los pulsos o impactos
Polea excéntrica	1x		El espectro depende del perfil de la línea primitiva de la polea. Vibración horizontal y vertical en fase	Reemplazar las poleas