

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



IMPLEMENTACION DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO
APLICANDO ANALISIS VIBRACIONAL EN SAN MIGUEL
INDUSTRIAL S.A.

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELÉCTRICISTA

PRESENTADO POR:

LUISA MARGARITA UCULMANA VILLAGÓMEZ

**PROMOCIÓN
2003 - I**

LIMA – PERÚ

2008

**IMPLEMENTACION DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO APLICANDO ANALISIS
VIBRACIONAL EN SAN MIGUEL INDUSTRIAL S.A.**

A mis padres Mery y Marcelo,
en la cercanía y la distancia

SUMARIO

Este informe contiene los procedimientos de la implementación del mantenimiento predictivo aplicando el análisis vibracional en la Unidad de Negocios Químicos de San Miguel Industrial S.A., a ésta pertenecen tres sedes: Planta Molienda de Azufre, Planta de Sulfato de Aluminio y Planta de Ácido Sulfónico; sus productos tienen las siguientes aplicaciones: agentes coagulantes y floculantes primarios en el tratamiento de aguas de consumo humano y aguas residuales, agente para la sulfitación del azúcar, agentes encolantes de la fabricación de papeles, astringentes y cicatrizantes en la industria farmacéutica, agentes para la refinación de metales de fundición, agentes removedores de olor y color en procesos de extracción y refinamiento de petróleo, agentes para vulcanización del caucho, fungicidas, herbicidas, fertilizantes, bioestimulantes y materia prima para la elaboración de detergentes.

El tema central es el diagnóstico del estado de las máquinas monitoreadas en base a los espectros de frecuencia de las vibraciones del equipo en operación, obtenidos con un colector de datos o analizador FFT (Fast Fourier Transformer) y dependiendo del tipo de falla sugerir el mantenimiento correctivo programado de la máquina. Para la recolección de los espectros de frecuencia, fue necesario entrenar al personal técnico con los principios básicos del Mantenimiento Predictivo, selección y adquisición del colector de datos, selección de los equipos críticos, definir rutas para recolección de data, realizar el monitoreo de vibraciones, finalmente dar el diagnóstico, conclusiones y elaborar un cronograma para garantizar el monitoreo periódico de cada equipo crítico.

INDICE

CAPITULO I: NOCIONES PREVIAS DEL ANÁLISIS VIBRACIONAL

1.1	Justificación de la aplicación del Mantenimiento Predictivo.....	3
1.2	Introducción al análisis vibracional.....	5
1.2.1	Características fundamentales del movimiento vibratorio.....	5
1.2.2	Unidades de Medición de las vibraciones.....	9
1.2.3	Equipo de Medición de las vibraciones.....	10
1.3	Normativas para el análisis vibracional.....	12
1.4	Selección de equipos de medición y procesamiento de datos.....	14
1.5	Técnicas para el diagnostico de fallas.....	17
1.6	Reportes.....	33

CAPITULO II: PROCEDIMIENTO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL ANÁLISIS VIBRACIONAL EN SAN MIGUEL INDUSTRIAL S.A.

2.1	Objetivo.....	37
2.2	Aplicación del procedimiento.....	37
2.3	Fundamentos.....	37
2.4	Ámbito de aplicación.....	38
2.5	Responsabilidades.....	38
2.6	Actividades.....	38
2.6.1	Determinar equipos críticos.....	38
2.6.2	Determinar subequipos críticos contenidos en los equipos críticos.....	39
2.6.3	Determinar los parámetros a medir por cada subequipo crítico.....	39
2.6.4	Elaborar ruta para toma de datos.....	39
2.6.5	Crear planillas para toma de datos.....	39
2.6.6	Procesamiento de datos en el Software de Mantenimiento Predictivo (MP2).....	40
2.6.7	Toma de datos.....	40
2.6.8	Ingreso de datos al software de Mantenimiento Predictivo (MP2).....	40
2.6.9	Análisis.....	40

2.6.10 Registros.....	41
2.6.11 Documentos Relacionados.....	41
2.7 Información complementaria.....	41
2.7.1 Proceso de producción de la Planta de Ácido Sulfónico.....	41
2.7.2 Proceso de producción de la Planta de Sulfato de Aluminio.....	42
2.7.3 Proceso de producción de la Planta Molienda de Azufre.....	43
2.7.4 Gestión del Área de Mantenimiento en San Miguel Industrial S.A.....	45

**CAPITULO III:
REPORTES DEL ANÁLISIS VIBRACIONAL**

3.1 Equipos críticos y registros del monitoreo de vibraciones.....	47
3.2 Planta de Acido Sulfónico.....	49
3.2.1 Equipo 5040.....	49
3.2.2 Equipo 5041-5042.....	51
3.2.3 Equipo 5043.....	55
3.2.4 Equipo 5044.....	58
3.2.5 Equipo 5045.....	64
3.2.6 Equipo 5046.....	69
3.2.7 Equipo 5047.....	75
3.2.8 Equipo 5048-5049.....	79
3.2.9 Equipo 5050-5051.....	84
3.2.10 Equipo 5052-5053.....	88
3.2.11 Equipo 5054-5055.....	93
3.3 Planta de Sulfato de Aluminio.....	98
3.3.1 Equipo 5059.....	98
3.3.2 Equipo 5060.....	100
3.4 Planta de Molienda de Azufre.....	102
3.4.1 Equipo 5056.....	102
3.4.2 Equipo 5057.....	106
3.4.3 Equipo 5058.....	111

**CAPITULO IV:
DIAGNOSTICO DE FALLAS Y RECOMENDACIONES CORRECTIVAS**

4.1 Diagnósticos de equipos críticos de la Planta de Ácido Sulfónico.....	117
4.1.1 Equipo 5040.....	117

4.1.2	Equipo 5041-5042.....	121
4.1.3	Equipo 5043.....	127
4.1.4	Equipo 5044.....	128
4.1.5	Equipo 5045.....	130
4.1.6	Equipo 5046.....	134
4.1.7	Equipo 5047.....	137
4.1.8	Equipo 5048-5049.....	141
4.1.9	Equipo 5050-5051.....	143
4.1.10	Equipo 5052-5053.....	145
4.1.11	Equipo 5054-5055.....	145
4.2	Diagnósticos de equipos críticos de la Planta de Sulfato de Aluminio.....	147
4.2.1	Equipo 5059.....	147
4.2.2	Equipo 5060.....	148
4.3	Diagnósticos de equipos críticos de la Planta Molienda de Azufre.....	150
4.3.1	Equipo 5056.....	150
4.3.2	Equipo 5057.....	150
4.3.3	Equipo 5058.....	155

**CAPITULO V:
ANÁLISIS COSTO/BENEFICIO AL IMPLEMENTAR EL MANTENIMIENTO
PREDICTIVO APLICANDO ANÁLISIS VIBRACIONAL**

5.1	Costos del Mantenimiento Predictivo	156
5.2	Costos del Mantenimiento Preventivo.....	161
5.3	Ahorro Mantenimiento Predictivo vs Mantenimiento Preventivo.....	162
5.4	Retorno de la Inversión.....	163

CONCLUSIONES.....	164
--------------------------	------------

ANEXOS.....	165
--------------------	------------

ANEXO A: EVALUACIÓN DE RANGOS DE VIBRACIÓN.....	166
--	------------

ANEXO B: LISTADO GENERAL DE EQUIPOS EN LAS PLANTAS DE ÁCIDO SULFÓNICO, SULFATO DE ALUMINIO Y MOLIENDA DE AZUFRE.....	168
---	------------

ANEXO C: CRITICIDAD DE LOS EQUIPOS.....	171
--	------------

ANEXO D: CRITICIDAD DE LOS SUBEQUIPOS.....	181
---	------------

ANEXO E: LI.08.0003: PLANILLAS DE U.N. QUÍMICOS	188
--	------------

ANEXO F:	IT.08.0004: INSTRUCTIVO PARA CONFIGURAR TABLAS DE MEDICIONES EN EL MP2.....	190
ANEXO G:	IT.08.0004: INSTRUCTIVO PARA REGISTRAR DATOS EN EL MP2.....	193
ANEXO H:	CATÁLOGO DEL ACELERÓMETRO PARA EL MONITOREO MENSUAL.....	198
ANEXO I:	CATÁLOGO DEL ANALIZADOR DE VIBRACIONES	201
ANEXO J:	CATÁLOGO DEL TERMÓMETRO INFRARROJO	208
ANEXO K:	FOTOS DE LOS EQUIPOS CRÍTICOS	209
BIBLIOGRAFÍA.....		233

PROLOGO

A manera de presentación, mencionaré las actividades de producción que desarrolla San Miguel Industrial S.A., ésta es una empresa de manufactura con tres Unidades de Negocios: U.N. PET, dedicada a la producción de envases de resina (PET) de bebidas gaseosas y aceites comestibles; U.N. Textiles, elabora casimires de lana y poliéster; U.N. Químicos, produce Sulfato de Aluminio y otros compuestos derivados útiles para el tratamiento de agua potable y aguas residuales, Acido Sulfónico para la elaboración de detergentes y la Molienda de Azufre con productos para la agronomía.

El desarrollo del Informe contempla la implementación del Mantenimiento Predictivo en la Unidad de Negocio Químicos, elude las otras Unidades de Negocios para poder centrarnos en esta última con sus tres sedes: Planta de Sulfato de Aluminio, Planta de Ácido Sulfónico y Planta Molienda de Azufre, cada una de éstas opera con procesos continuos, donde no puede parar una sola etapa por que se incurriría a una parada total de la planta.

Ante la implementación del Mantenimiento Productivo Total (TPM) como parte del Planeamiento Estratégico en San Miguel Industrial S.A., era necesario cumplir con uno de sus elementos en la gestión productiva total de los equipos: "El Mantenimiento Predictivo (MPD)"; de esta manera se perfecciona permanentemente la efectividad global de los equipos, garantizando la continuidad de operación de éstos, la gestión estaría liderada por la Supervisora de Mantenimiento, especialista en Análisis Vibracional, encargada del diagnóstico del estado de las máquinas y determinar el mantenimiento correctivo necesario en caso de detección de fallas, además como parte del Mantenimiento Autónomo se contará con el apoyo del personal técnico de producción para la recolección periódica de data e inspección visual diaria de las máquinas.

Una de las ventajas del logro exitoso de este trabajo en equipo fue el compromiso asumido por los participantes y el respaldo de las Gerencias de Mantenimiento y Producción, asimismo de sus Directores. Como limitación técnica se podría mencionar la falta de un registro histórico de cada máquina, debido a esto no se podía conocer las

fallas anteriores más frecuentes de los equipos, para aliviar esta ausencia, el personal técnico de Producción tuvo que exponer en cada máquina sus defectos escondidos hasta entonces.

Se han estructurado cinco capítulos que presentan ordenadamente el progreso de la implementación de este sistema que tiene como objetivos disminuir las fallas de las máquinas, disminuir los tiempos de paradas, aumentar el tiempo de productividad, reducir en un 30% los costos de mantenimiento y reinvertir esta reducción de costos en actividades de alta tecnología.

En el primer capítulo se exponen los conceptos fundamentales del análisis vibracional y sus normativas; además están definidos los parámetros que intervienen, se describen los sensores o acelerómetros y los analizadores utilizados para la recolección de datos, para el diagnóstico de fallas se describen detalladamente los tipos de fallas presentes en una máquina.

El segundo capítulo trata de la gestión desplegada para la implementación por parte de la especialista en Análisis Vibracional.

En el tercer capítulo se muestran los registros históricos de las vibraciones (velocidad y envolvente) y temperaturas de los equipos críticos, estos registros contienen límites de control y límites sugeridos por la normativa ISO 10816-3, al exceder estos límites se procede al análisis vibracional desarrollado en el siguiente capítulo.

El cuarto capítulo, presenta los diagnósticos y análisis detallados del análisis vibracional de cada una de las máquinas que presentaron fallas en un periodo de tres años.

El quinto capítulo fue reservado para el análisis de costos y cuantificar la reducción de costos de mantenimiento.

Cabe señalar, que para la implementación se tuvo la capacitación y asesoría del Ing. Ciro Martínez, entrenador para Sudamérica del Vibration Institute, institución con sede en Estados Unidos y con sucursal en la Universidad Católica del Perú. Además, se contó con la capacitación de SKF del Perú S.A.

CAPITULO I

NOCIONES PREVIAS DEL ANÁLISIS VIBRACIONAL

1.1 Justificación de la aplicación del Mantenimiento Predictivo

El Mantenimiento Predictivo (MPd) se aplica para determinar el estado de una máquina en operación, con el monitoreo de las vibraciones se puede detectar la falla, debido generalmente al desalineamiento de poleas, desbalance de masas, desgaste de sus elementos rodantes, soldadura mecánica, mala instalación, fallas de diseño, etc.

Las ventajas frente al Mantenimiento Preventivo (MP), conllevan a una reducción en los costos de mantenimiento; con el MPd se programa la parada de una máquina ante una falla inminente detectada según el nivel de vibraciones, mientras con el MP se interviene la máquina según un periodo programado aunque la máquina se encuentre en condiciones óptimas de operación (Ver Figura 1.1), sustituyendo piezas en buenas condiciones junto con piezas ya desgastadas.

Otra situación de ventaja ocurre al detectar con el MPd una falla antes de la intervención programada con el MP, en este escenario se puede programar la parada de la máquina antes que colapse y dañe cualitativa y cuantitativamente sus partes internas debido al incremento de las vibraciones (Ver Figura 1.2), al igual que el caso anterior la disminución de costos de mantenimiento se logra al evitar que la máquina llegue a una situación crítica, ocasionando daños secundarios, por ejemplo: eje doblado, rotura de fajas, etc; además de las paradas no planificadas.

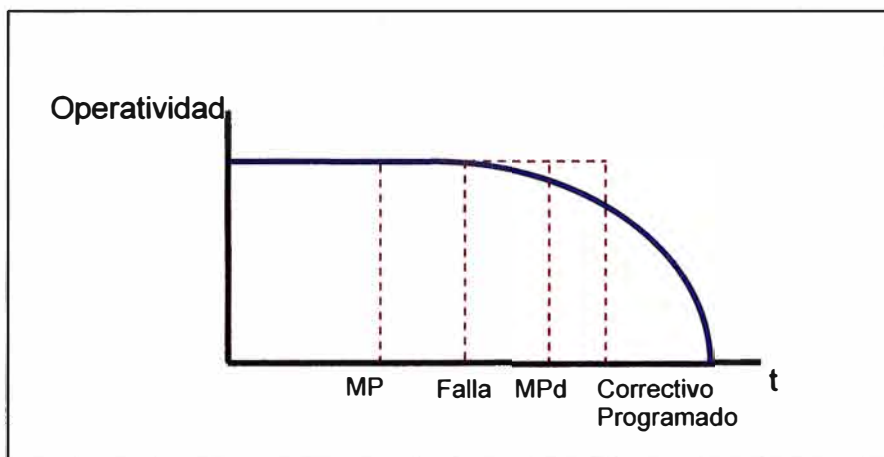


Figura 1.1 Operatividad de una máquina, $MP < Falla$



Figura 1.2 Operatividad de una máquina, $MP > Falla$

1.2 Introducción al análisis vibracional [1]

1.2.1 Características fundamentales del movimiento vibratorio

La vibración es una reacción inherente a una máquina operativa debido a las fuerzas originadas por el giro del rotor, la norma ISO 10816-3 en sus tablas A.1, A.2, A.3 y A.4 del Anexo A, sugiere los rangos aceptables y críticos de la velocidad y desplazamiento de vibración de las máquinas según sus rangos de potencia. La norma mencionada sugiere más no determina, la norma no es estricta por que son innumerables las condiciones de operación de las máquinas. Debido esta situación compleja se opta por analizar las vibraciones según los espectros de frecuencia, de esta manera se diagnostica cada máquina como un caso aislado.

La vibración de las máquinas describe ondas sinusoidales complejas, donde actúa una onda fundamental originada por el movimiento del rotor y otras ondas múltiplos de la fundamental originadas por fuerzas excitadoras propias de las fallas. La onda sinusoidal compleja o resultante es sensada por el analizador de espectros durante un periodo de tiempo, la onda compleja es el resultado de la superposición de las ondas fundamental y múltiplos, ésta no proporciona información suficiente para diagnosticar la falla, por tal motivo, a través de un algoritmo del procesador se descomponen y se aplica la Transformada Rápida de Fourier a las ondas fundamental y sus múltiplos para visualizar la amplitud de cada una de ellas, como resultado se tiene la amplitud de las ondas descompuestas. Ver Figura 1.3.

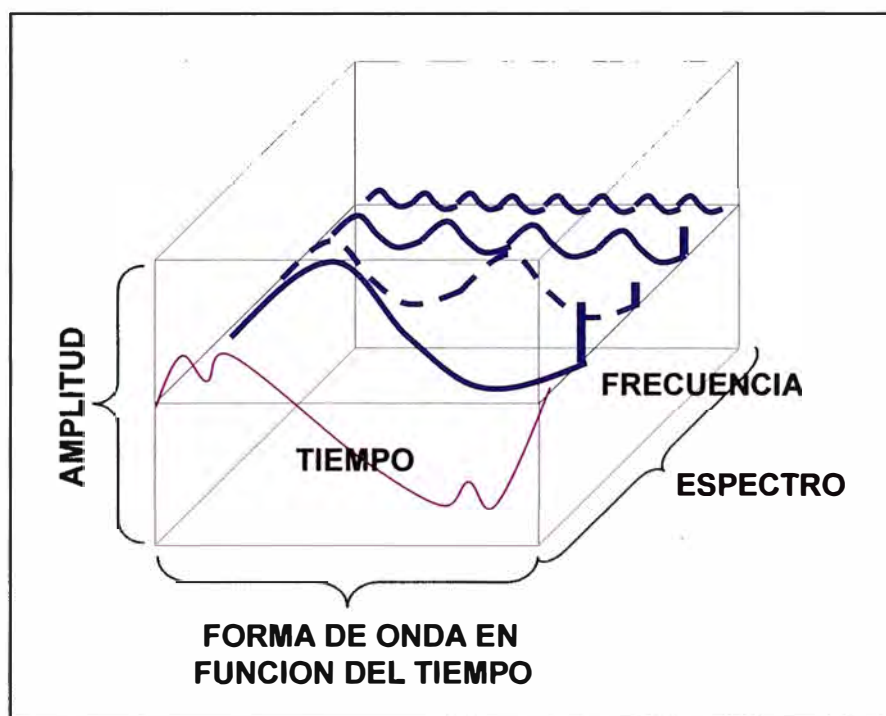


Figura 1.3 Análisis de la forma de onda

Las vibraciones presentes en las máquinas y estructuras son respuesta a una o mas fuerzas excitadoras, un ejemplo de estas fuerzas pueden ser las originadas por el desbalance y el desalineamiento, estos a su vez se deben a muchos factores como exceder los niveles nominales de operación de las máquinas, sobrepasar la tolerancia de fabricación, mala instalación, defectos de los componentes de una máquina por defectos de fabricación o desgaste, etc.

Las vibraciones además de depender de las fuerzas excitadoras también dependen de las propiedades del sistema y ambos de la velocidad de la máquina. Las propiedades del sistema involucran a la masa, la rigidez y la amortiguación de los materiales del sistema.

Para analizar un movimiento vibratorio se debe tener en cuenta las características fundamentales de la vibración: frecuencia, amplitud y fase.

La vibración se define como la oscilación de un objeto con respecto a su posición de reposo, a continuación se detalla los parámetros que intervienen en ella: (Ver Figura 1.4)

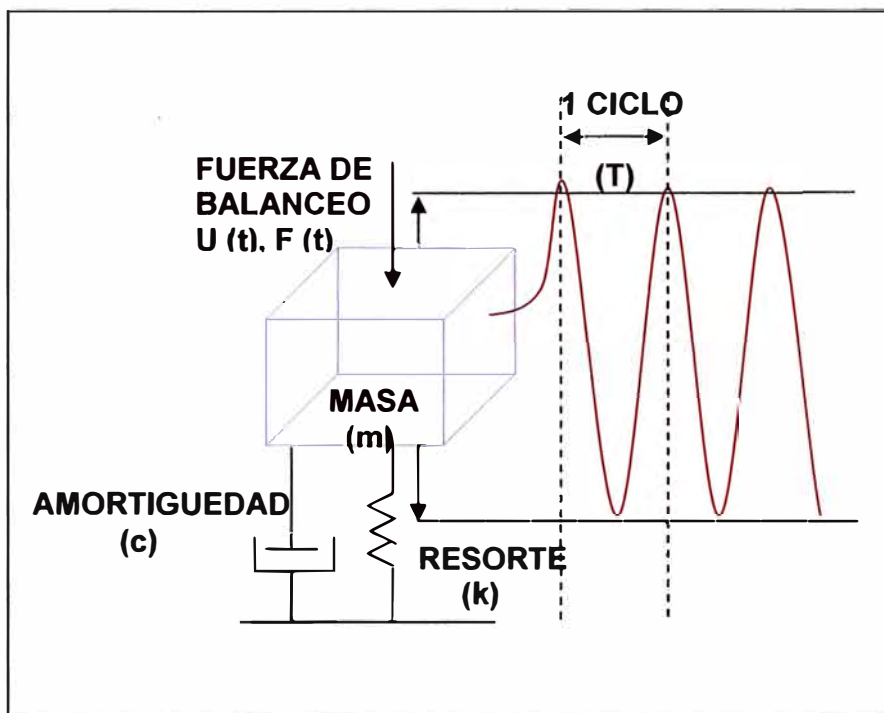


Figura 1.4 Movimiento oscilatorio

La frecuencia (f), es el número de ciclos en un determinado periodo de tiempo, sus unidades se dan en ciclos por segundo (Hertz), ciclos por minuto (CPM) o múltiplos de la velocidad de operación de la máquina (ordenes) siempre que la vibración se deba a una fuerza de la velocidad de giro de la máquina.

El período (T), es el tiempo necesario para completar un ciclo de vibración.

El ángulo de fase de vibración (Φ), es la relación de tiempo, medido en grados entre dos vibraciones a la misma frecuencia, es utilizado para determinar la relación en tiempo

entre la excitación (fuerza) y la vibración causada, por tal motivo su medición es necesaria para balancear una masa desbalanceada.

La vibración de una máquina por masa desbalanceada ocurre a la frecuencia de giro del rotor; sin embargo muchas máquinas tienen múltiples frecuencias componentes en su patrón de movimiento complejo que resulta en una forma de onda periódica que no es armónica. Las armónicas son múltiplos enteros de la vibración sinusoidal a la frecuencia de la velocidad de operación de la máquina.

La *amplitud (A)*, es el desplazamiento máximo de la vibración; puede ser expresada en múltiples formas, tales como:

- Pico : Se mide desde el punto neutral hasta la cresta (A_p)
- Pico – Pico: Se mide desde la cresta inferior hasta la superior (A_{p-p})
- Rms : Raíz cuadrática media, para una onda sinusoidal es igual a ($A_{rms}=0.707 A_p$), esta fórmula de conversión no es válida para ondas complejas de múltiples frecuencias; por que; en las vibraciones que no son armónicas, generalmente las amplitudes positivas no son iguales a las negativas.

Ecuación general del movimiento oscilatorio:

$$m \cdot U''(t) + c \cdot U'(t) + k \cdot U(t) = F(t) \quad (1.1)$$

Respuesta libre:

$$m \cdot U''(t) + c \cdot U'(t) + k \cdot U(t) = 0 \quad (1.2)$$

Solución:

$$U(t) = A_1 \cdot e^{p_1 \cdot t} + A_2 \cdot e^{p_2 \cdot t} \quad (1.3)$$

Ecuación característica:

$$m \cdot p^2 + c \cdot p + k = 0 \quad (1.4)$$

Solución de la ecuación característica:

$$p = \frac{-c \pm \sqrt{c^2 - 4mk}}{2m} \quad (1.5)$$

$$p = q \pm j \cdot \omega \quad (1.6)$$

$$q = -c / 2m \quad (1.7)$$

$$w = \sqrt{\frac{k}{m} - \left(\frac{c}{2m}\right)^2} \quad (1.8)$$

Donde:

$$w_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (1.9)$$

es la pulsación natural o propia del sistema

Condiciones iniciales de la ecuación (1.3), se obtiene:

Desplazamiento en el origen:

$$A_1 + A_2 = U(0) \quad (1.10)$$

Velocidad en el origen:

$$p_2 \cdot A_1 + p_1 \cdot A_2 = 0 \quad (1.11)$$

Con lo cual:

$$A_1 = -U(0) \cdot p_2 / (p_1 - p_2) \quad (1.12)$$

$$A_2 = +U(0) \cdot p_1 / (p_1 - p_2) \quad (1.13)$$

Reemplazando A_1 y A_2 en (1.3)

$$U(t) = A_1 \cdot e^{p_1 \cdot t} + A_2 \cdot e^{p_2 \cdot t} \quad (1.3)$$

$$U(t) = -U(0) \cdot (p_2 \cdot e^{p_1 \cdot t} - p_1 \cdot e^{p_2 \cdot t}) / (p_1 - p_2) \quad (1.14)$$

Caso de Vibración Armónica:

p_1, p_2 son complejos conjugados, la ecuación (1.14) se convierte en:

$$U(t) = U(0) \cdot (-q / \omega) \cdot (\text{Sen } \omega t + \text{Cos } \omega t) \cdot e^{q \cdot t} \quad (1.15)$$

Casos de oscilación libre

Aperiódico. : Raíces reales y distintas

Límite aperiódico: Raíces reales e iguales

$$p_2 \rightarrow p_1 = p$$

$$U(t) = U(0) \cdot (1 - p \cdot t) \cdot e^{p \cdot t} \quad (1.16)$$

Periódico : Raíces complejas conjugadas

Oscilación Forzada

Respuesta a una excitación periódica

$$F(t) = F \cdot \cos(\omega t) \quad (1.17)$$

$$U(t) = U \cdot \cos(\omega t - \varphi) \cdot e^{q \cdot t} \quad (1.18)$$

$$U = \frac{F}{k - \omega^2 m + j\omega c} \quad (1.19)$$

$$\varphi = \text{Atg} \left(\frac{\omega \cdot c}{k - \omega^2 \cdot m} \right) \quad (1.20)$$

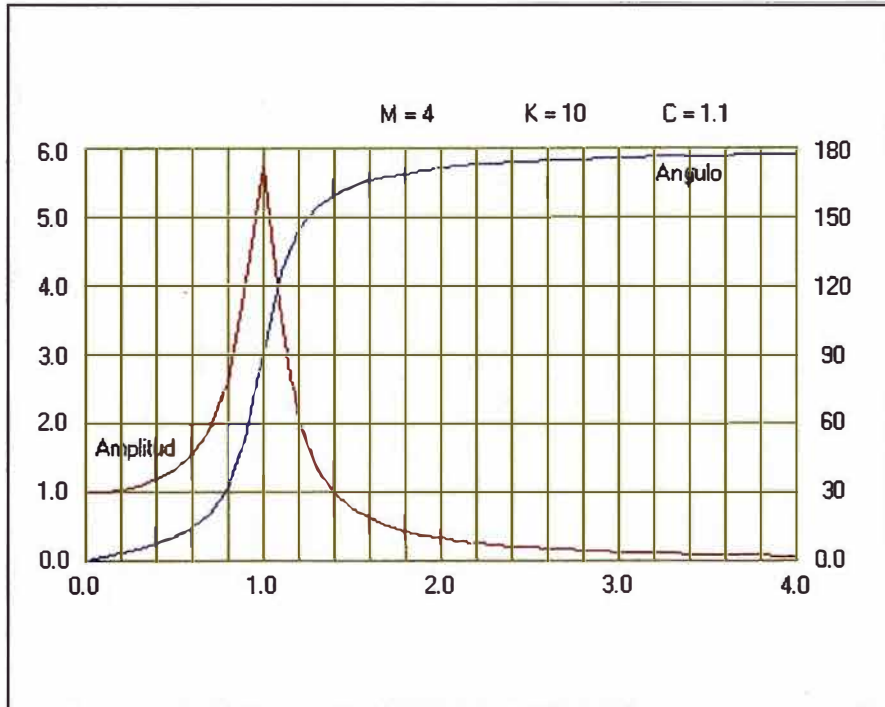


Figura 1.5 Oscilación forzada, intervención de fuerzas

1.2.2 Unidades de Medición de las vibraciones

La cuantificación de las vibraciones se obtiene a través de los siguientes parámetros:

Tabla 1.1 Unidades de medición de las vibraciones

Medición	Unidades	Descripción
Desplazamiento	Micras p-p, Mils p-p (*)	Movimiento de la máquina o estructura y está relacionado con el esfuerzo.
Velocidad	mm/seg, pulg/seg (**)	Rapidez del cambio del desplazamiento y está relacionado a la fatiga.
Aceleración	G's (***)	Está relacionado con las fuerzas presentes en los componentes de la máquina.

(*) 1 Mil p-p = 0.001 pulgadas pico - pico

(**) 1 pulg/seg = 25.4 mm/seg

(***) 1g = 386.1 pulg/seg² = 9806.94 mm/seg²

1.2.3 Equipo de Medición de las vibraciones

La vibración mecánica se mide con un *transductor*, este instrumento mide la aceleración de un objeto al que va unido, lo hace midiendo respecto de una masa inercial interna, su funcionamiento se basa en las propiedades de los cristales piezo-eléctricos. Estos cristales cuando son sometidos a alguna fuerza (compresión, flexión, extensión) producen una corriente eléctrica, Ver Fig. 1.6 Diagrama de un acelerómetro piezo-eléctrico.

Poniendo un cristal de este tipo entre la carcasa y una masa inercial se producirá una corriente cuando ocurra una aceleración, midiendo esta corriente y convirtiéndola a un voltaje de baja impedancia, esta señal es enviada a un medidor. La amplitud se calcula dividiendo la magnitud del voltaje por un factor de escala, pueden ser mV/mil, mV/pulg/seg, mV/g y/o mV/grado.

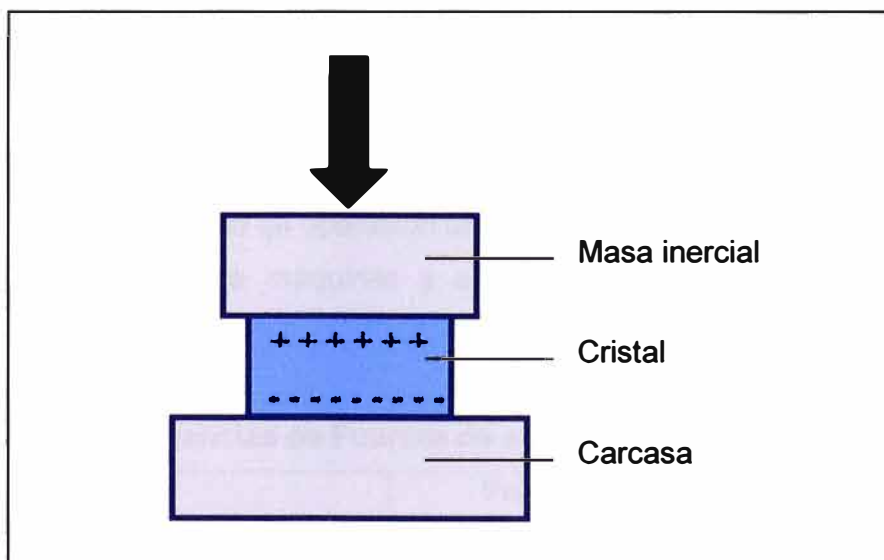


Figura 1.6 Diagrama de un acelerómetro piezo-eléctrico

El movimiento periódico de vibración de un maquina se descompone en movimientos armónicos simples, se muestra en la Figura 1.7 la representación de la suma de dos ondas sinusoidales pertenecientes a las armónicas 1X y 2X. Donde la frecuencia de

vibración 1X es igual a las RPM del rotor y 2X es la frecuencia de vibración de segundo orden. Observar que la frecuencia 2X es el doble de 1X.

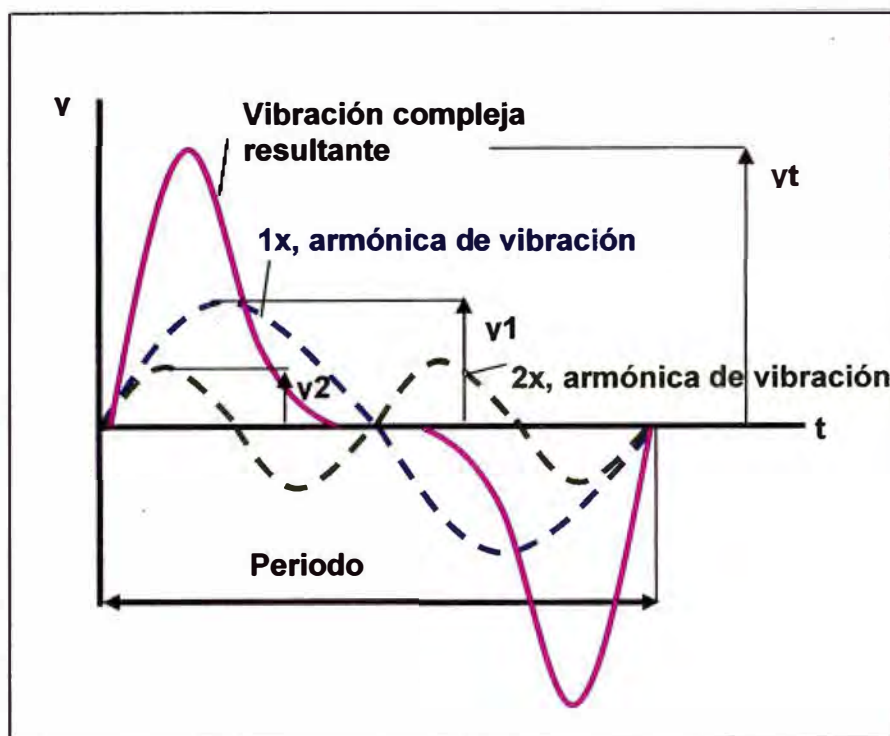


Figura 1.7 Armónicas componentes de un movimiento periódico

Las frecuencias son relacionadas con las fallas mecánicas de las fuerzas que causan la vibración. Antes de iniciar el análisis de vibraciones es importante identificar las frecuencias de los componentes de la máquina, porque la fuente de vibración está relacionada con la velocidad de operación de la máquina. Ver la Tabla 1.2 con las fuerzas de excitación asociadas a máquinas y sus múltiplos con respecto a las RPM de operación.

Tabla 1.2 Frecuencias de Fuerzas de excitación Asociadas a Máquinas

Fuente	Frecuencias (múltiplos de las RPM)
Fallas inducidas	
Desbalance de masas	1x (una por RPM)
Desalineamiento	1x, 2x
Eje reflexionado	1x
Soltura mecánica	Armónicas impares de 1x
Distorsión de carcasa o cimentación	1x

Rodamientos	Frecuencias de fallas, no son armónicas de RPM
Mecanismos de impacto	Múltiples frecuencias dependen de forma de onda
Inducido por el diseño	
Juntas universales	2x
Ejes asimétricos	2x
Engranajes (n dientes)	nx
Acople (m mordazas)	mx
Giro de aceite	0.43x a 0.47x
Alabes e impulsores (z)	mx
Maquinas reciprocantes	½ & múltiples armónicas RPM, depende de diseño

1.3 Normativas para el análisis vibracional

Existen normas que sugieren rangos de aceptación y criticidad del desplazamiento y velocidad de las vibraciones mecánicas, entre ellas tenemos:

ISO 10816: Vibraciones mecánicas - Evaluación de vibración de maquinas con mediciones en partes no rotativas, consiste de las siguientes partes:

ISO 10816-1: Guía general

ISO 10816-2: Grandes turbinas generadoras de vapor con base en tierra, por encima de 50 MW

ISO 10816-3: Máquinas industriales con potencia nominal por encima de 15 KW y velocidad nominal ente 120 RPM y 15000 RPM medido in situ.

ISO 10816-4: Turbinas conductoras de gas

ISO 10846-5: Maquinas generadoras hidráulicas de energía y plantas de bombeo.

La norma ISO 10816-3 sugiere rangos de aceptación y criticidad para el desplazamiento y velocidad de las vibraciones en RMS (Ver Tabla 1.3). Cataloga las máquinas en cuatro clases:

- Clase I: Máquinas rotatorias grandes con potencia sobre 300 KW. Máquinas con altura de eje $H > 315$ mm.
- Clase II: Máquinas rotatorias medianas con potencia entre 15 y 300 KW. Máquinas con altura de eje entre 160 mm y 315 mm.
- Clase III: Bombas con impulsor multipaletas y con motor separado (flujo

centrifugo, axial o mixto) con potencia sobre 15 KW.

- Clase IV: Bombas con impulsor multipaletas y con motor integrado (flujo centrifugo, axial o mixto) con potencia sobre 15 KW.

Debe tenerse presente que esta es una evaluación cualitativa. Un nivel vibratorio BUENO significa que este nivel le permitirá a la máquina funcionar en el largo plazo libre de problemas. Por otro lado el nivel INACEPTABLE significa que la vida especificada para los elementos de la máquina disminuirá significativamente.

Tabla 1.3 Rangos de severidad vibratoria para máquinas

Rango de velocidad Efectiva RMS (mm/s)	Tipos de máquinas			
	Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV
0.18 – 0.28	A	A	A	A
0.28 – 0.45				
0.45 – 0.71				
0.71 – 1.12	B	B	B	B
1.12 – 1.8				
1.8 – 2.8	C	C	C	C
2.8 – 4.5				
4.5 – 7.1				
7.1 – 11.2	D	D	D	D
11.2 - 18				
18 - 28				

ANSI S2.41: 1985 (R 1990), "Mechanical Vibration of Large Rotating Machines with Speed Range-from 10 to 200 Rev/s – Measurement and Evaluation of Vibration Severity in Situ" American National Standards Institute, NY.

ISO 7919: 1986, "Mechanical Vibrations of Non-Reciprocating Machines- Measurements on Rotating Shafts and evaluation, " International Standards Organization Geneva, Switzerland

1.4 Selección de equipos de medición y procesamiento de datos

Los equipos de medición se deben seleccionar según la sensibilidad, el tamaño requerido, la medida seleccionada, la frecuencia de respuesta, el diseño y la velocidad de la máquina. Cabe señalar que la sensibilidad del transductor será mayor cuanto mayor sea el voltaje de salida por unidad de medición del equipo.

Es conveniente monitorear el *desplazamiento absoluto* en vibraciones de baja frecuencia, de 0 a 1,200 CPM, este se relaciona con los esfuerzos en el eje o estructura, es medido con un acelerómetro siendo la señal doblemente integrada. El *desplazamiento relativo* de un eje es medido con un captador de proximidad instalado en la caja de cojinetes, no hay restricciones para el rango de frecuencias.

La velocidad, se usa para frecuencias de 600 a 60,000 CPM, se relaciona con la fatiga, es medido con un acelerómetro, la señal es integrada para obtener la velocidad.

La aceleración, es la medida óptima para frecuencias superiores a 60,000 CPM y se relaciona con la fuerza.

A continuación se muestra una tabla de los equipos de medición, sus parámetros de medición, la ubicación de sus sensores y sensibilidad:

Tabla 1.4 Equipos de medición

Equipo	Medición	Instalación	Sensibilidad
Captadores de proximidad	Desplazamiento relativo estático y dinámico del eje con respecto al alojamiento de cojinetes	Turbinas , compresores (en rotores livianos instalados en carcasas robustas)	200 mV/mil
Transductor de velocidad	Velocidad	(en alojamientos de cojinetes)	500 mV/pulg/seg 10 a 2,000 Hz
Acelerómetros	Aceleración, velocidad, desplazamiento	(en carcasas y alojamiento de cojinetes)	50 mV/g, 100 mV/g

Transductores de fuerza	Fuerza	(en alojamientos de cojinetes)	
Accesorios de disparo	Angulo de fase (vibración asociada con giro del eje)	(en alabes, ejes)	
Sensores ópticos	Angulo de fase (señal de referencia por revolución del eje, vibración torsional del eje)	(en alabes, ejes)	
Sensores magnéticos	Angulo de fase (vibraciones torsionales)	(en alabes, ejes)	
Luz estroboscópica	Velocidad de giro del eje o ángulo de fase	(en alabes, ejes)	

La localización de los transductores será los más cerca a los cojinetes, en la Figura 1.8 se muestran las dos posiciones radiales: Vertical y Horizontal y la posición axial.

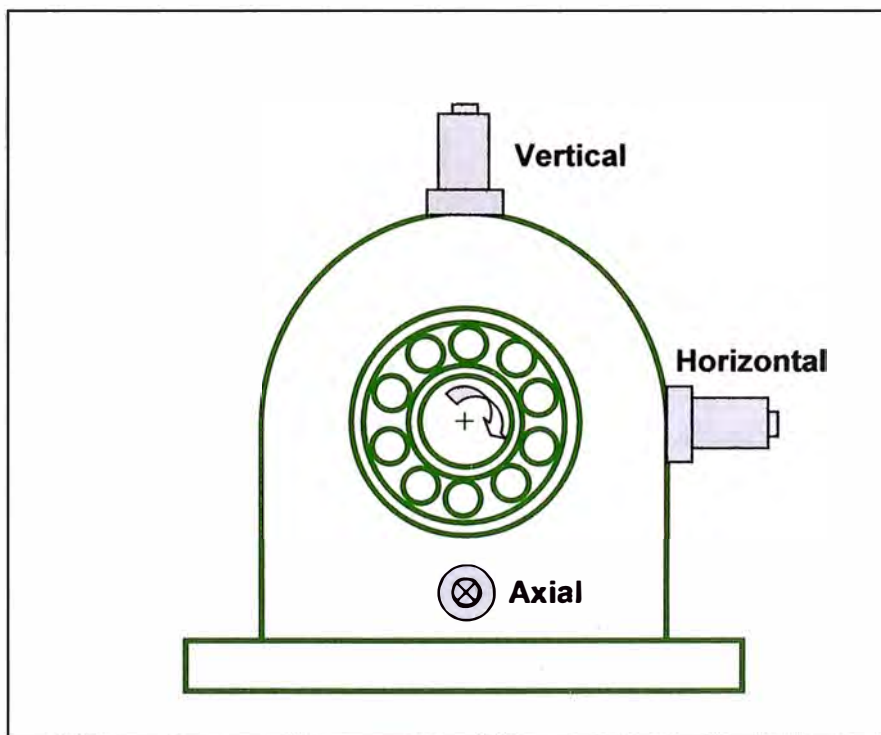


Figura 1.8 Puntos óptimos de medición

El transductor genera una señal que es almacenada en el analizador FFT o colector de datos, éste digitaliza los datos por medio de un convertidor A/D (de analógico a digital) y luego son procesados por un algoritmo de la Transformada rápida de Fourier para obtener un espectro. En la Figura 1.9 se presentan las muestras transformadas igualmente espaciadas en un espectro de N líneas o bins y termina en la frecuencia máxima solicitada, cada bin o línea tiene una frecuencia f_{bin} que es igual a $1/T_s$, donde T_s es el tiempo que demora una muestra y la $F_{MAX} = N \times f_{bin} = N / T_s$, ninguna frecuencia inferior a $f_{bin} = 1 / T_s$, puede determinarse porque la información que hay en la memoria del analizador es incompleta. El espectro puede tener N bins (líneas) usualmente de 100 hasta 6,400 y dependen del número de muestras recolectadas por el analizador o colector de datos.

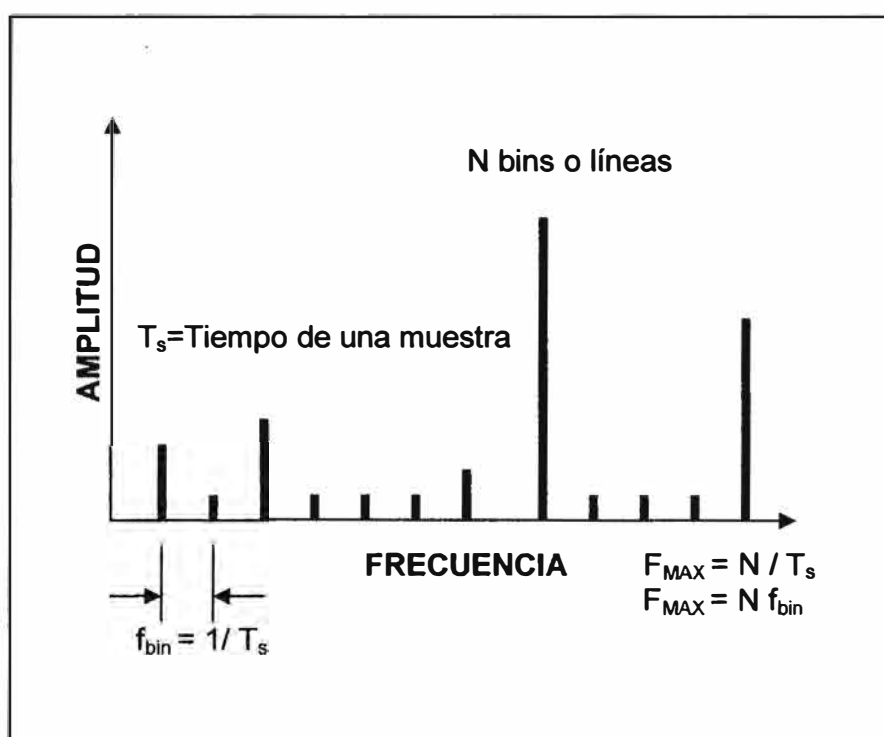


Figura 1.9 Espectro de frecuencias de acuerdo al número de líneas seleccionado

El número de muestras es 1,024 si se utiliza 400 bins. Se utiliza un filtro digital para graduar el número de muestras requeridas en un determinado tiempo de adquisición de datos. El número de muestras está relacionado al número de líneas seleccionado por un factor de 2.56. El flujo de muestreo de datos es ajustado en el analizador para obtener el número de muestras sobre un determinado tiempo de adquisición de datos (N / F_{MAX}). La fórmula para la máxima frecuencia y el tiempo de adquisición de datos es $F_{MAX} = N / (\text{tiempo de adquisición de datos})$.

1.5 Técnicas para el diagnóstico de fallas

Las técnicas básicas para el diagnóstico de las fallas son: forma de onda, órbita, espectro y fase. Las frecuencias que se adquieren por desplazamiento del eje y por transductores instalados en la carcasa se relacionan con frecuencias conocidas por la máquina (Ver Tabla 1.5). La forma, frecuencia de la onda en el tiempo y la órbita, proporcionan una visión de las características físicas y dinámicas del eje y de la carcasa. El ángulo de fase que muestra la relación en el tiempo entre vibraciones medidas en varios lugares de la máquina; se llama ángulo de fase relativo. El ángulo de fase muestra la relación en el tiempo entre vibraciones de un lugar de la máquina con respecto a una señal fija de referencia en el eje o carcasa, se le llama ángulo de fase absoluta. El espectro es el registro versus frecuencia de la actividad vibracional de una posición específica de la máquina.

Tabla 1.5 Técnicas de diagnóstico para Máquinas Rotativas

Técnica	Uso	Descripción	Instrumentos
Análisis de forma de onda	Modulación, impulsos, cortes de ondas	Amplitud vs. Tiempo	Osciloscopio análogo y digital, analizador FFT
Análisis de órbitas	Movimiento del eje, giro de aceite (Oil Whirling), inestabilidad de cojinetes	Desplazamiento relativo del rotor	Osciloscopio digital con filtro vectorial
Análisis de fases	Relación entre la fuerza y el movimiento, relación entre la vibración y el desplazamiento	Tiempo relativo entre las señales de la fuerza y la vibración o entre dos o más señales vibracionales	Luz estroboscópica, osciloscopio análogo y digital, analizador FFT
Análisis de espectros	Frecuencias, frecuencias naturales, bandas vecinas, impulsos, subarmónicas, suma y resta de frecuencias	Amplitud vs. Frecuencia	Analizador FFT, colector de datos digital

En el Capítulo II se analizan solo los espectros de frecuencia, por tal motivo a continuación se dará los procedimientos para el análisis de espectros [2]:

- Identificar la velocidad de operación y sus armónicas (órdenes). Los datos se pueden presentar en formatos de frecuencias o de órdenes.
- Identificar las frecuencias dominantes que son múltiplos de la velocidad de operación, incluir las frecuencias de paso de alabe, electromagnéticas y de frecuencias de engrane.
- Identificar las frecuencias no sincronas y sus múltiplos, tales como frecuencias de fallas de rodamientos.
- Identificar las frecuencias de pulsación, dos componentes de frecuencia cercanas una de otra, sus amplitudes se suman y se restan durante un ciclo de pulsación.
- Identificar las frecuencias que no dependen directamente de la velocidad de operación; tales como las frecuencias naturales o frecuencias de vibración de máquinas vecinas.
- Identificar las bandas vecinas eso se relaciona con un componente de baja frecuencias de vibración que modula (los cambios) la amplitud de una vibración de alta frecuencia. Las bandas vecinas son componentes de frecuencia que aparecen en el espectro además de una frecuencia dominante tal como la frecuencia de engrane. La modificación de la vibración de la frecuencia de engrane de una caja de engranajes por desgaste desigual es un buen ejemplo. Una banda vecina identifica la posición de la falla si la frecuencia se empareja con la velocidad de un componente de la máquina.

Para identificar las fallas y asignarles su corrección se puede tomar en cuenta la Tabla 1.6.

Tabla 1.6 Identificación y corrección de fallas a la velocidad de operación

Falla	Frecuencia	Figura	Espectro, Forma de onda, órbita	Corrección
Velocidad crítica	1x, 2x, 3x, etc	1.10 1.11	Vibración amplificada por estar cerca de una frecuencia natural	Las RPM de trabajo debe alejarse de la frecuencia natural
Desbalance	1x	1.12	1x, con amplitudes menores a 2x, 3x, etc. Órbitas elípticas y circulares, el ángulo de fase constante	Balancear el rotor

Desalineamiento	1x, 2x, a veces 3x	1.13 1.14	1x con amplitudes iguales o mayores a 2x, 3x y 1x en el axial	Alinear caliente o en frío, de acuerdo al equipo
Eje combado	1x	1.15	1x elevada y el ángulo de fase pueden cambiar	Enderezar el rotor
Desgaste de cojinetes	1x, armónicas y ordenes	1.16	1x alto, 1/2x alto acompañado de 1 1/2x y armónicas	Reemplazar cojinetes
Resonancia	1x, 2x, 3x, etc	1.10	Alta sensibilidad al balanceo, alta amplitud de vibración axial baja	Cambiar la frecuencia natural de la estructura
Soltura	Varias armónicas de 1/2x y/o 1x	1.17	Alto 1x, con armónicas de 1/2 con bajos valores, vibración axial baja.	Ajustar pernos aumentar la rigidez
Excentricidad	1x	1.18	Alto 1x	Embocinar los alojamientos y centrar el rotor
Cople trabado	1x, 2x, 3x, etc	1.14	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

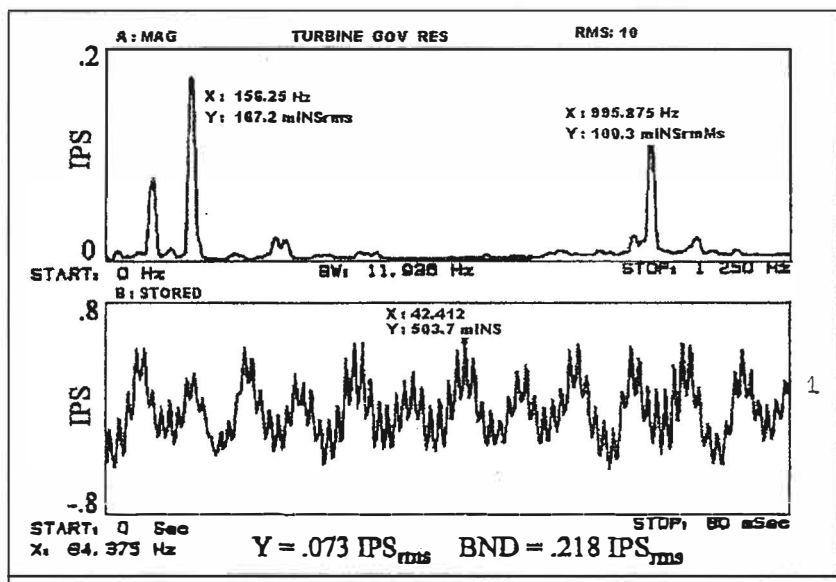


Figura 1.10 Velocidad crítica - Resonancia de la carcasa de una turbina de accionamiento

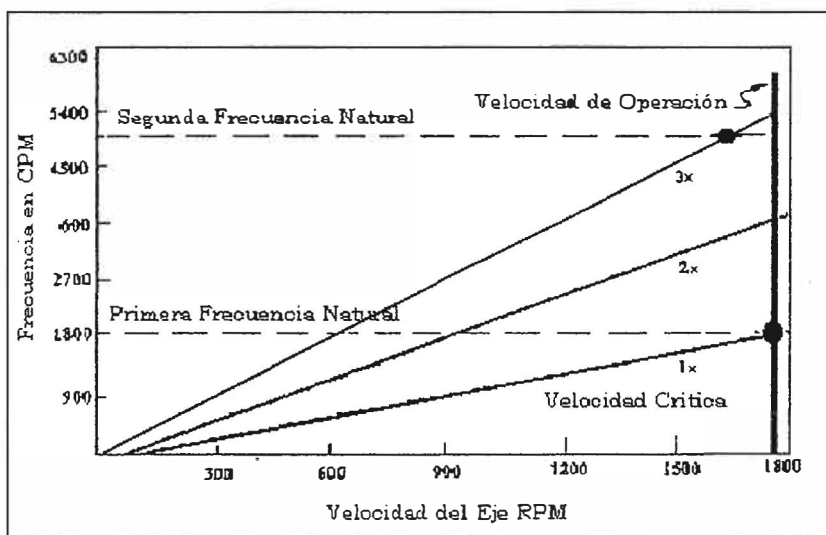


Figura 1.11 Velocidad crítica - Diagrama de interferencias para un motor eléctrico que acciona un ventilador en voladizo

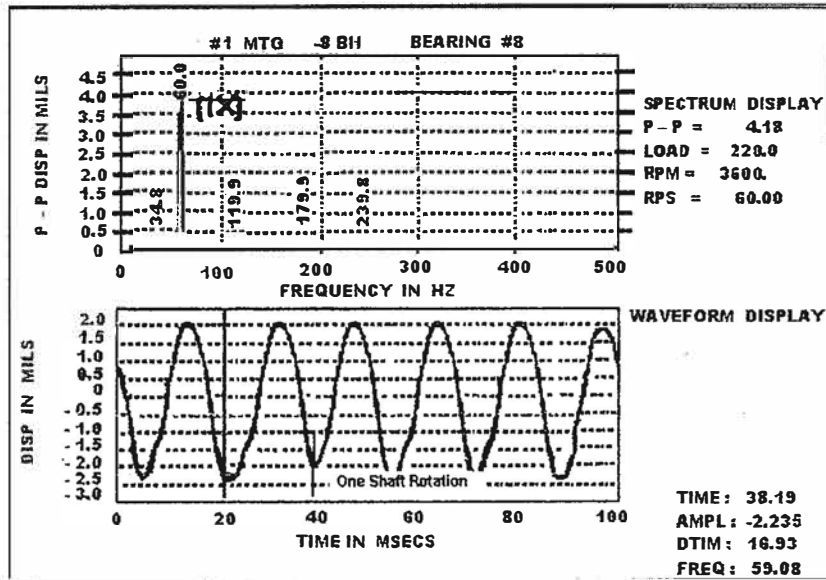


Figura 1.12 Desbalance de masas de un motor

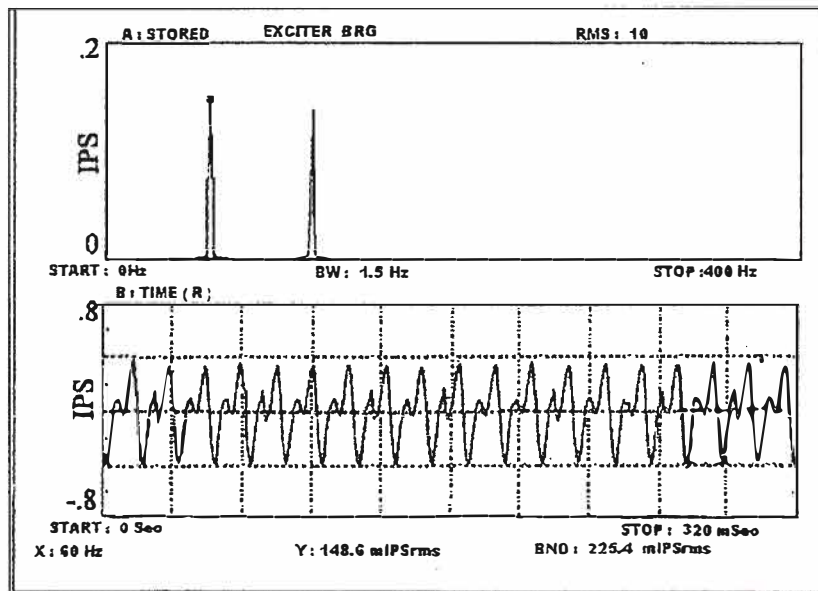


Figura 1.13 Desalineamiento de un excitador a un generador

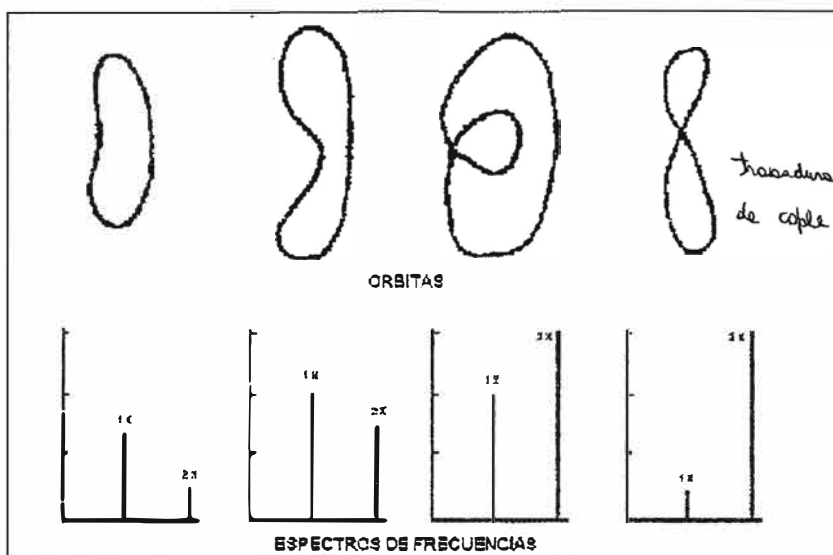


Figura 1.14 Desalineamiento y trabadura de cople

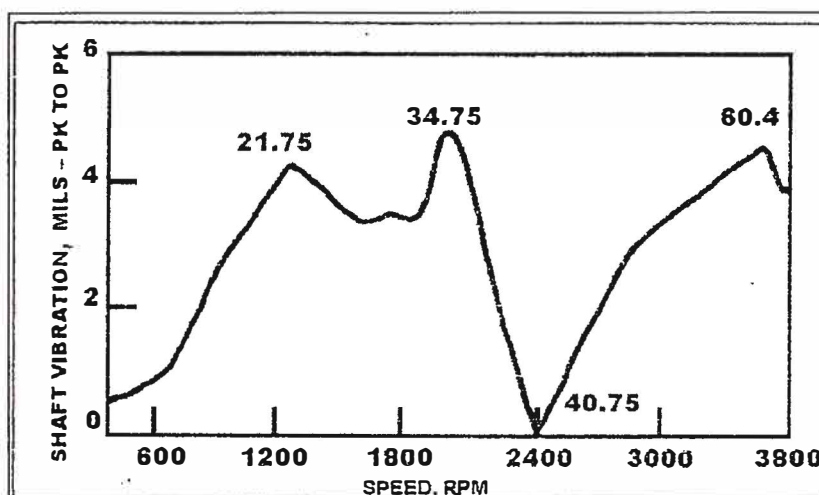


Figura 1.15 Eje combado de una turbina de 200 MW. Inducido en la parada sin aceite

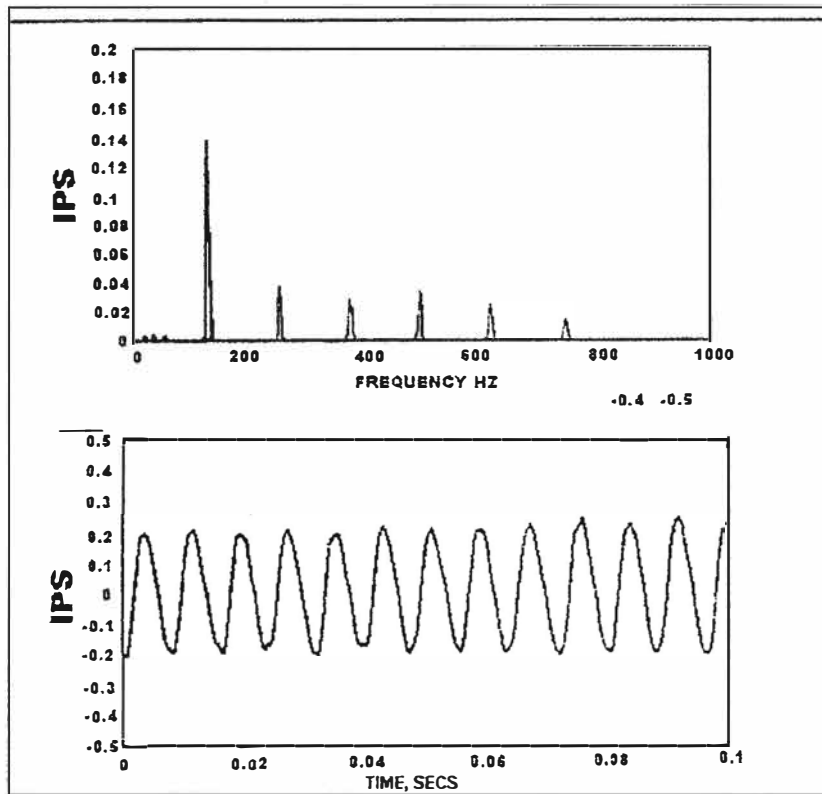


Figura 1.16 Desgaste de cojinetes – Excesiva tolerancia en el cojinete en el gobernador de una turbina a vapor de 9 MW

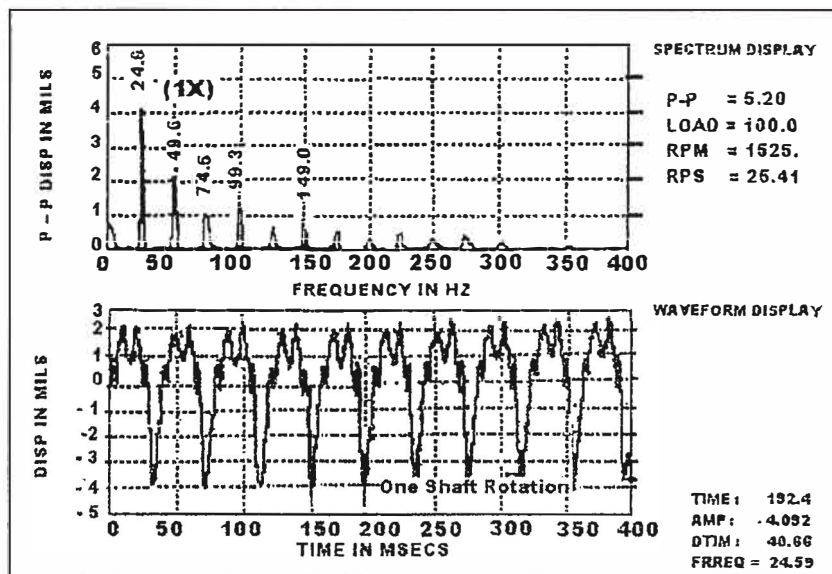


Figura 1.17 Soltura en los apoyos de un ventilador

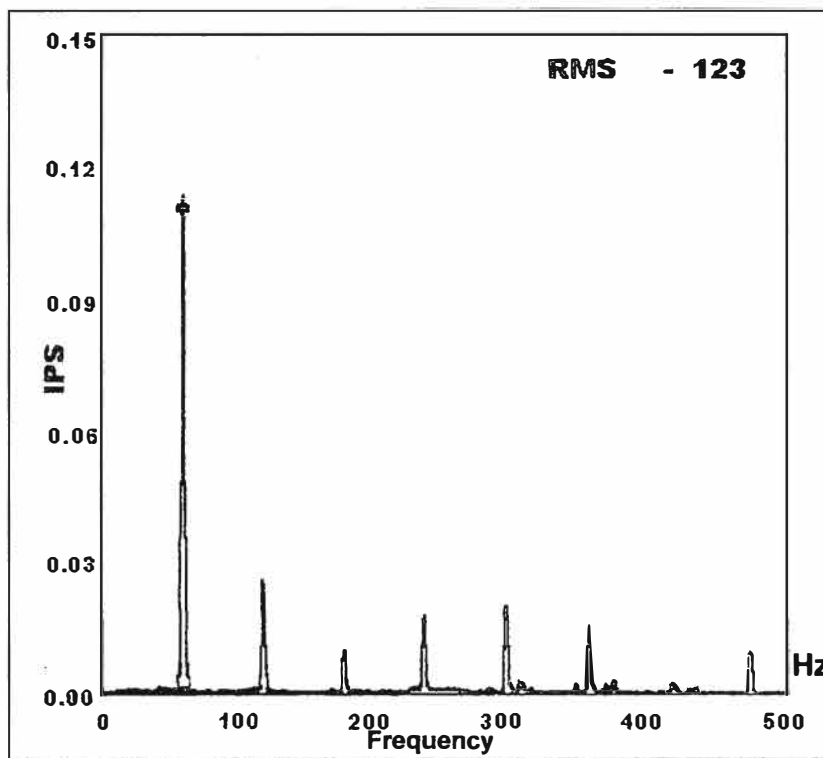


Figura 1.18 Excentricidad del eje de una bomba de lubricantes

Cuando las billas o rodillos de los *rodamientos* pasan sobre un defecto en las pistas o canastillas se generan pulsos como resultado de una combinación de las frecuencias de los rodamientos, estas frecuencias son cuatro [3]:

Tabla 1.7 Frecuencias de los rodamientos

Frecuencia	Simbología	Cálculo (Hz)	Generado por
De paso de las billas por la pista exterior	BPFO	$(N/2) \cdot \Omega \cdot \{1 - (B/P) \cdot \cos\Phi\}$	Billas o rodillos que pasan sobre los defectos de la pista
De paso de las billas por la pista interior	BPMI	$(N/2) \cdot \Omega \cdot \{1 + (B/P) \cdot \cos\Phi\}$	Billas o rodillos que pasan sobre los defectos de la pista
De giro de la billa o rodillo	BSF	$(P/2B) \cdot \Omega \cdot \{1 - (B/P)^2 \cdot \cos^2\Phi\}$	Defectos de la billa o rodillo
Fundamental del tren	FTF	$(\Omega/2) \cdot \{1 - (B/P) \cdot \cos\Phi\}$	Defectos en la jaula o canastilla o por movimientos inadecuados

Donde:

$$\Omega = \text{RPS} = \text{RPM}/60$$

Φ = ángulo de contacto, ángulo entre la línea perpendicular al eje y del centro de la billa al punto donde la billa hace contacto con el arco de la pista.

N = número de elementos rodantes.

P = diámetro primitivo, en pulgadas.

B = diámetro de la billa o del rodillo; valor promedio para los rodamientos cónicos, en pulgadas.

RPS = velocidad de rotación, unidades en revoluciones por segundo.

Es necesario tener cuidado de las señales grandes por defectos a la velocidad de rotación tales como desalineamiento, desbalance de masas y frecuencias de engrane que pueden ocultar las amplitudes pequeñas por defectos de los rodamientos. La Tabla 1.8 muestra la sinopsis de las fallas y defectos en los rodamientos.

Tabla 1.8 Análisis de defectos de los rodamientos

Defecto o condición	Frecuencia	Forma de onda en el tiempo y del espectro	Comentarios	Figura
Defecto en la pista exterior	BPFO y múltiplos	Múltiplos de BPFO	Descascaramiento poco profundo se incrementa después de un año	1.19
Defecto en la pista interior	BPFI y múltiplos	Las armónicas disminuyen en amplitud	Descascaramiento poco profundo	1.20
Defecto en la pista interior	BPFI y múltiplos	Las armónicas disminuyen en amplitud y están moduladas por la velocidad de operación	Rodamiento fallará en 14 días	1.21
Defecto en la billa	BSF o FTF y múltiplos	Frecuencias naturales moduladas por FTF	Cascabeleo de las billas en su frecuencia natural	1.22
Excesiva tolerancia interna	Naturales o frecuencias	Múltiplos de RPS modulan las frecuencias naturales	Rodamientos no muestran ningún defecto por excesivo desgaste	1.23

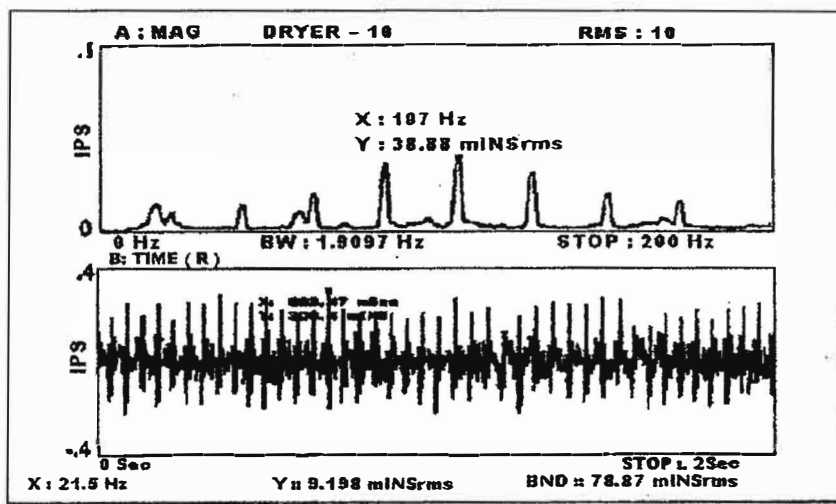


Figura 1.19 Defectos en los rodillos de los rodamientos – Pista exterior con desgaste poco profundo

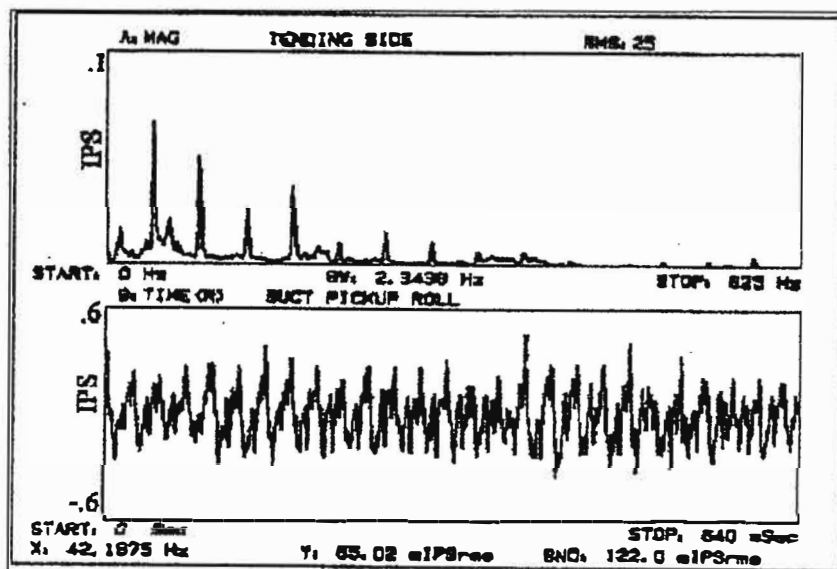


Figura 1.20 Defectos en la pista interior de un rodamiento de la succión de un pickup roll

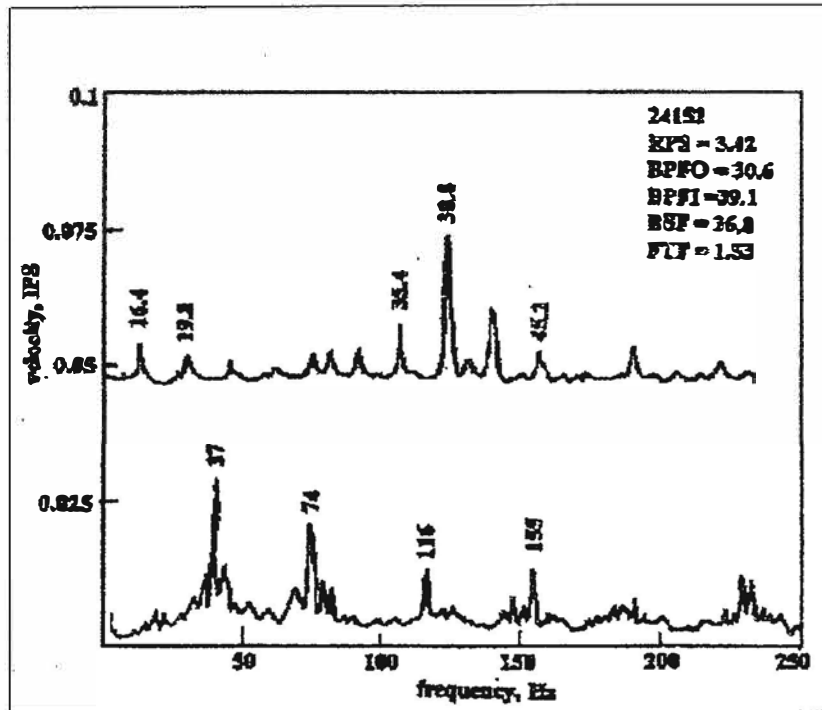


Figura 1.21 Defecto severo en la pista interior (a 14 días de la falla)

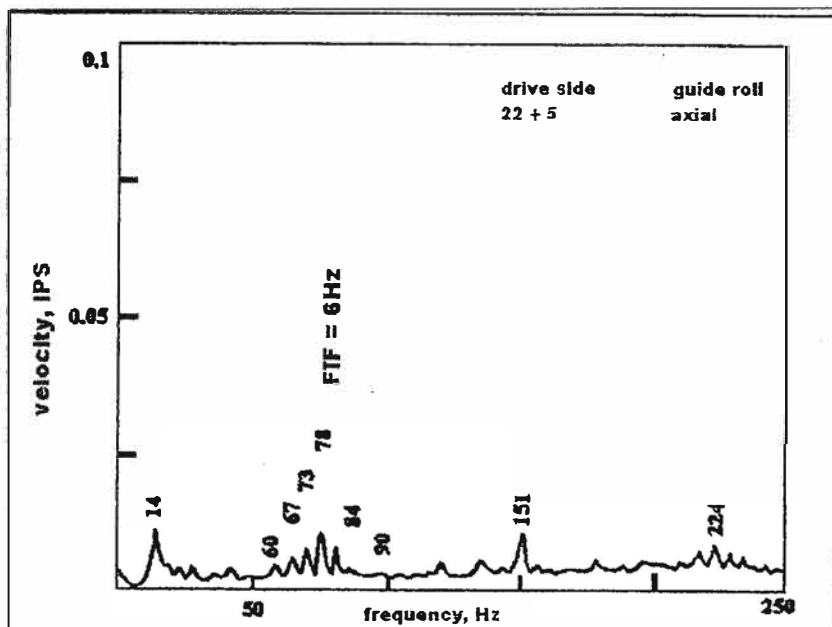


Figura 1.22 Frecuencia fundamental excitada por defectos en las billas

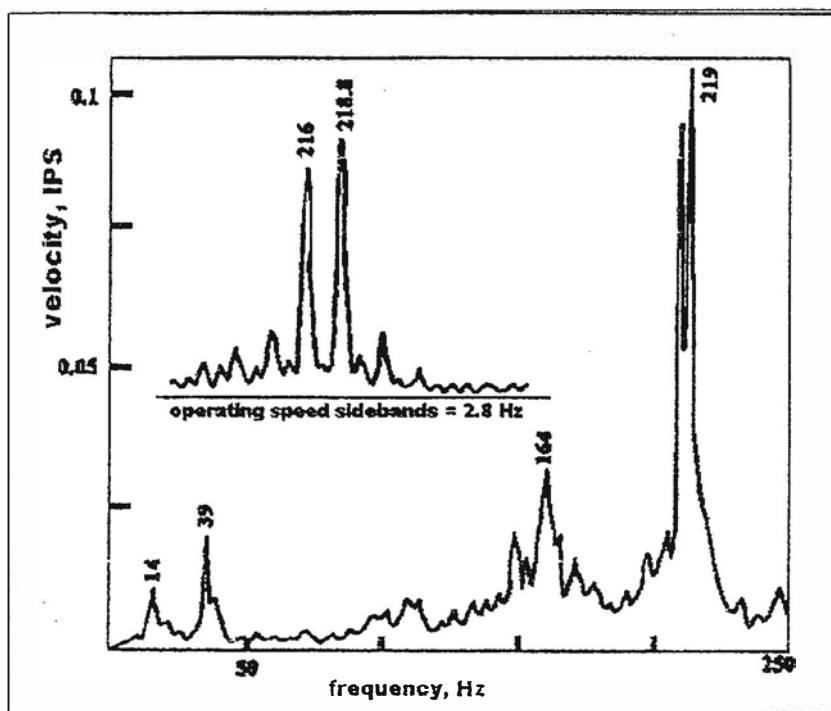


Figura 1.23 Excesiva tolerancia un rodamiento grande

Para los *motores eléctricos* [4], aparte de las fallas mecánicas anteriormente detalladas como desbalance de masas, solturas, resonancia, desalineamiento, excentricidad, defectos en los rodamientos y distorsión, son sensibles también a fallas eléctricas mecánicamente inducidas que generan vibraciones mecánicas (Ver Tabla 1.9). Los motores de inducción se diseñan para operar a un número fijo de velocidades por el número de polos. La relación entre la velocidad síncrona del motor (sin carga), es la siguiente:

Velocidad síncrona del motor (SMS) = 2 veces frecuencia de línea / número de polos

Tener en cuenta que la frecuencia de línea es 60 HZ.

Pero un motor síncrono resbala, o sea que no gira a la velocidad síncrona del motor debido a su carga. La diferencia entre la velocidad síncrona del motor y la velocidad real se llama deslizamiento:

Frecuencia de deslizamiento = SMS (2x60/N° de polos) – (RPM/60)

Tabla 1.9 Identificación y corrección de fallas de funcionamiento de motores por efectos eléctricos

Falla	Frecuencia	Figura	Espectro, forma de onda y órbita	Corrección y comentarios
Variación del entrehierro	120 HZ	1.24	120 Hz más bandas vecinas, pulsación de 2x con 120 Hz	Centrar la armadura, aliviar la distorsión en la carcasa, eliminar la excesiva tolerancia del rodamiento y/o cualquier otra condición que cause que el rotor se encuentre fuera del centro del estator
Barras rotas del rotor	1x	1.25	1x y bandas vecinas igual a N° de polos x frecuencia de deslizamiento	Reemplazar las barras rotas o sueltas
Rotor excéntrico	1x	1.26	1x, 2x / 120 Hz pulsación posible	Puede causar la estructura del estator
Estator flexible	120 Hz		2x/120 Hz pulsación	Rigidizar la estructura del estator
Fuera del centro magnético	1x, 2x, 3x	1.27	Impactos en la dirección axial	Quitar la fuente que obliga a estar fuera del centro, rodamiento de empuje o acoplamiento
Estator en cortocircuito	120 Hz y armónicas	1.28	120 Hz y armónicas	Reemplazar el estator

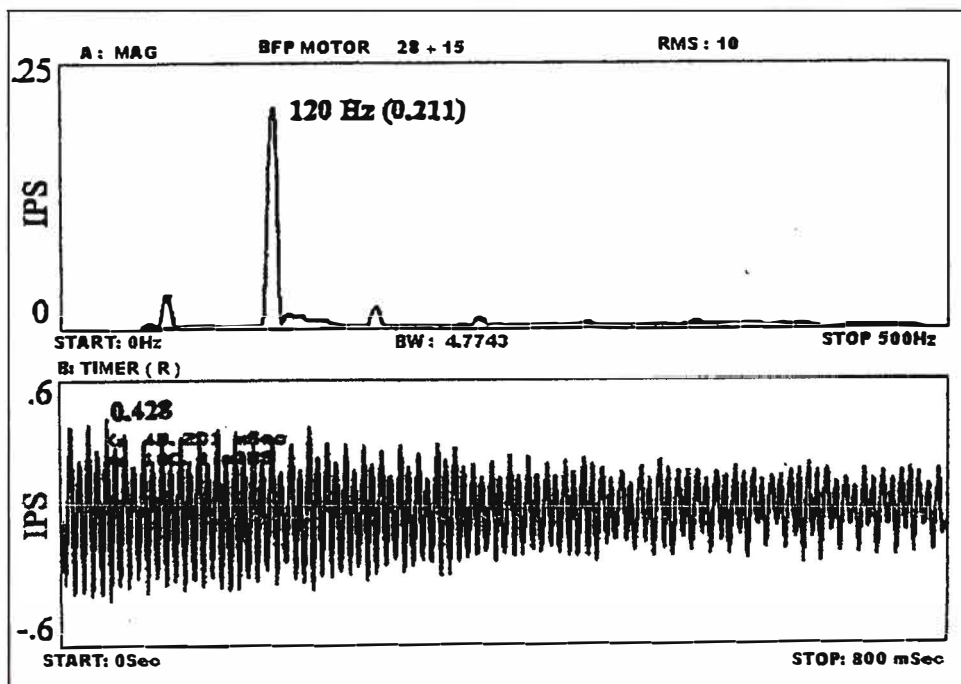


Figura 1.24 Datos de vibración de un motor eléctrico de 4000 HP con problemas en el entrehierro

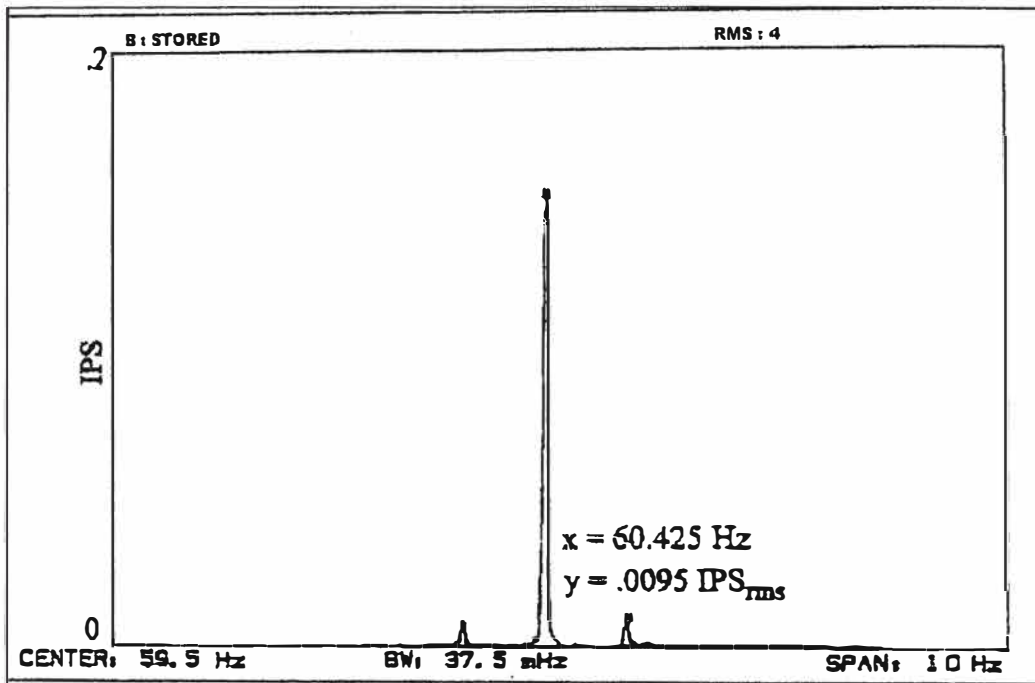


Figura 1.25 Datos de vibración de un motor eléctrico de 2000 HP con una barra rota.

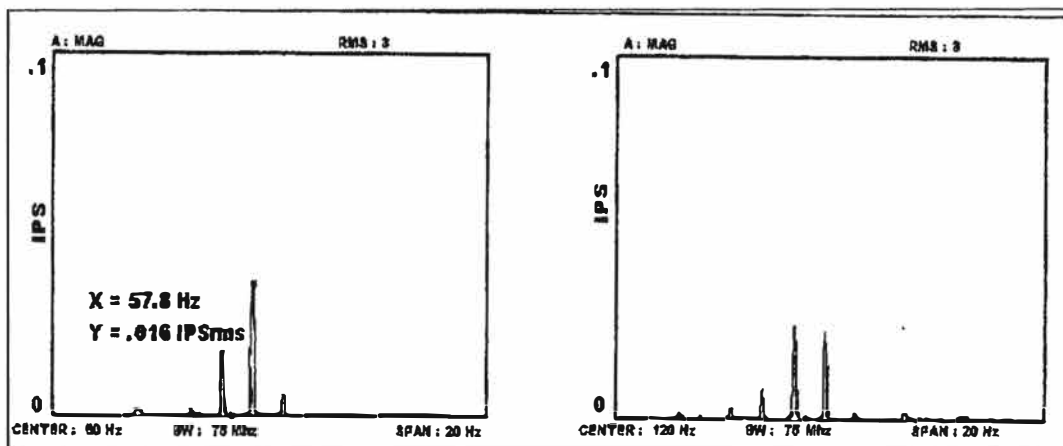


Figura 1.26 Datos de un motor de inducción de 1000 HP con el rotor excéntrico

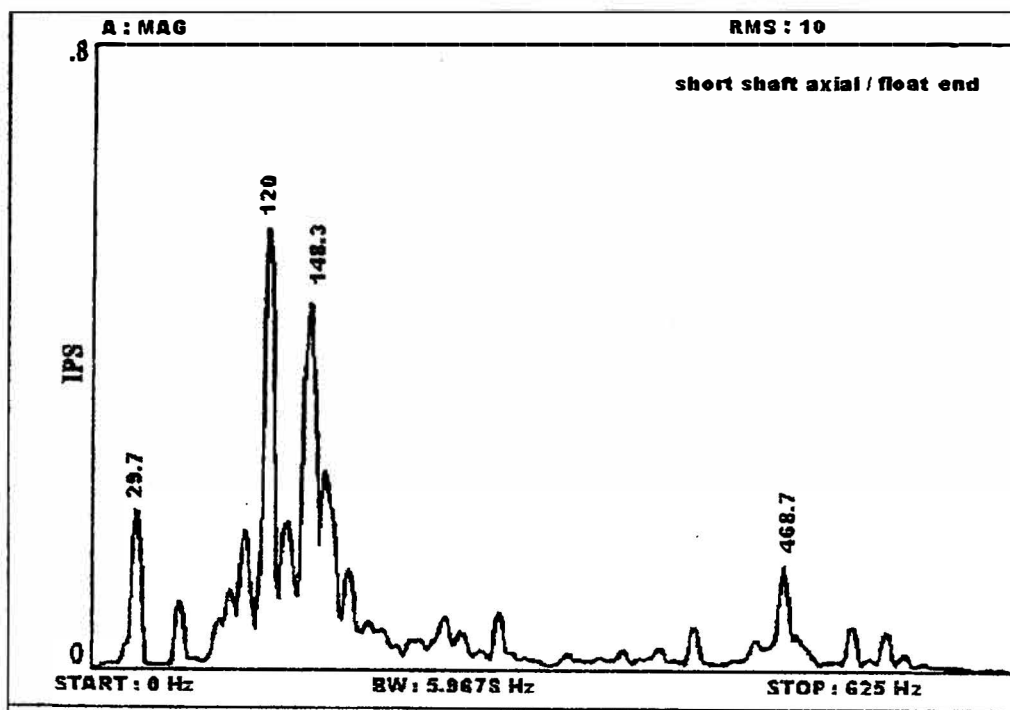


Figura 1.27 Vibración axila de un motor de inducción de 1200 HP con el rotor fuera del centro magnético

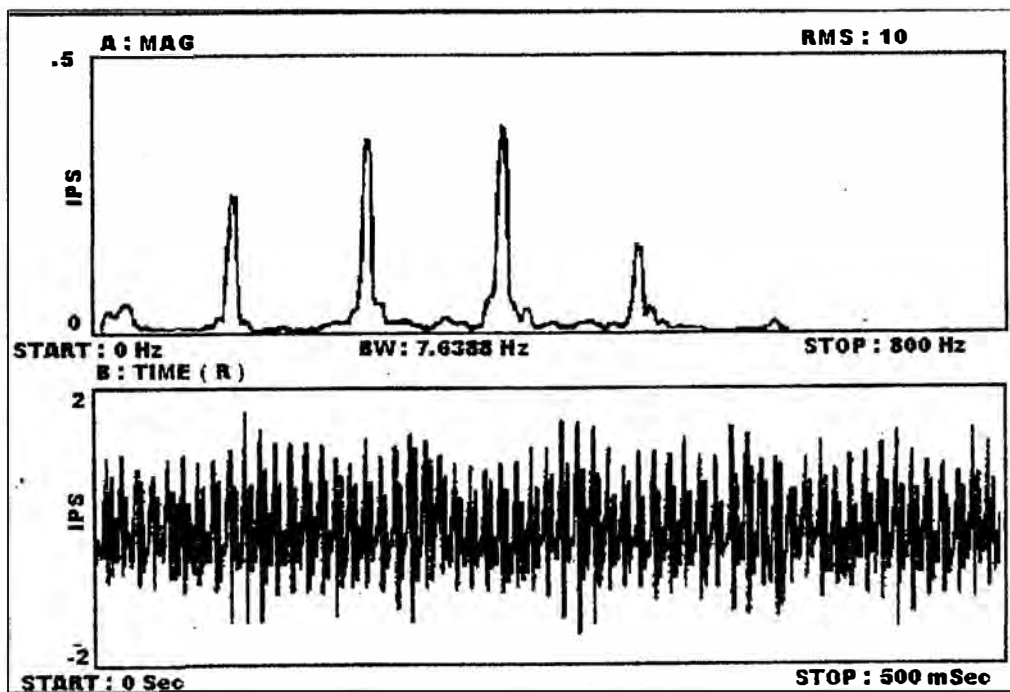


Figura 1.28 Vibración radial de un motor de 200 HP con un cortocircuito en la bobina del estator

Para las *bombas centrífugas y axiales* se mencionan las fallas más comunes en la Tabla 1.10. Los fluidos que transportan las bombas no son compresibles. Es así posible que se transmitan fuerzas interactivas grandes entre los componentes rotativos y estacionarios; además bajo ciertas condiciones el líquido puede vaporizar y luego colapsar en estado líquido, causando ondas de choque que pueden destruir al impulsor de la bomba. Este proceso es conocido como cavitación. La presencia de fuerzas interactivas anormales y la cavitación son funciones de operación relativas a la bomba y de las condiciones de diseño. Cabe mencionar que los niveles de vibración de la bomba dependen de las condiciones de diseño. La contrapresión, la presión de succión, la temperatura del fluido y la velocidad deberían ser monitoreadas.

Tabla 1.10 Fallas comunes de bombas

Velocidades críticas
Resonancias estructurales (principalmente en bombas verticales)
Resonancia acústica (diseño de tuberías)
Excentricidad del impulsor (mecanizado excéntrico, deflexión del impulsor debido al eje)
Balanceo del impulsor
Tolerancia entre impulsor / difusor (espacio o luz)
Recirculación (bajo flujo)
Cavitación (baja succión)
Giro del aceite (cojinetes con excesiva tolerancia)
Tolerancia del anillo de desgaste (modifica velocidades críticas, puede incluir giro del aceite)

Muchos *ventiladores centrífugos* tienen una voluta o carcasa de tipo espiral, en el cual el flujo entra axialmente y sale tangencialmente. Las paletas pueden ser fijas o ajustables. Las características típicas de la eficiencia de un ventilador se muestran en la Figura 1.29. La condición que acompaña a flujos no constantes es la pulsación, el cual ocurre cuando el punto de operación del ventilador está a la izquierda de la máxima presión en la curva del ventilador. Éste es el llamado punto de choque (surge). El regulador de tiro en la entrada puede ser utilizado para posicionar la operación del ventilador a la derecha del punto de choque.

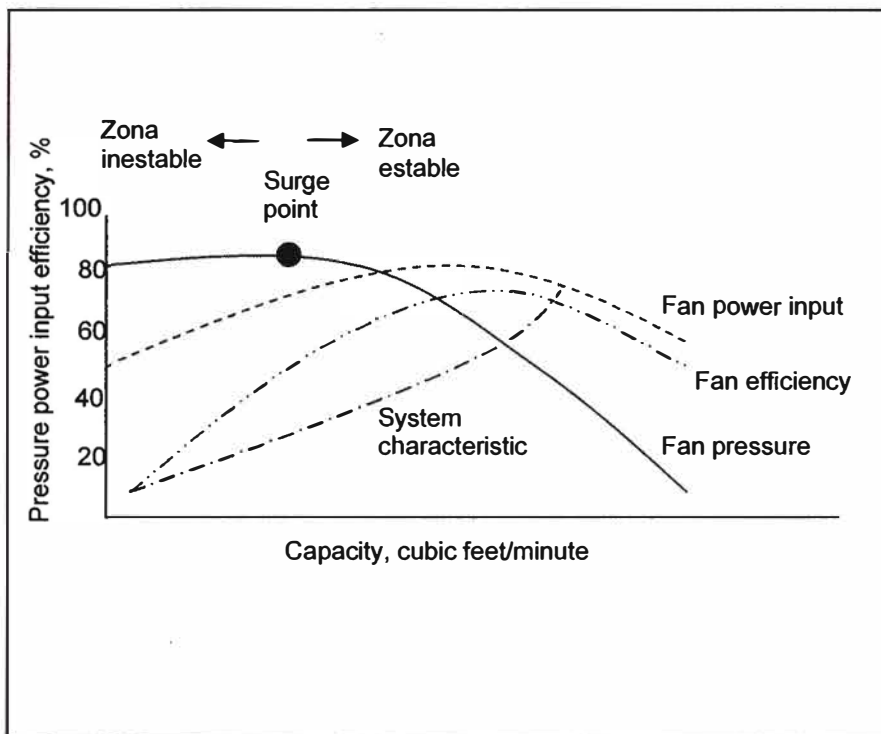


Figura 1.29 Características de un ventilador a velocidad constante

Tabla 1.11 Fallas de ventiladores

Desbalance de masas	Problemas de aislamiento
Desalineamiento	Giro de aceite
Velocidades críticas	Elementos de los rodamientos
Resonancia	Pata coja
Soltura	Excentricidad del impulsor
Problemas aerodinámicos	Fajas y poleas

1.6 Reportes [5,6]

Cada programa de monitoreo periódico debe ser capaz de generar reportes que conserven la información manejada y para acumular los datos técnicos que dan como resultado un programa más eficaz.

Para el monitoreo de las vibraciones es necesario elaborar un reporte de cada máquina incluyendo los datos de placa, parámetros de operación, ubicación dentro de la planta, fecha de instalación, etc. (Ver Figura 1.30). Este reporte contiene información necesaria para la programación del equipo colector de datos.

Reporte de Datos												
UNIDAD DE NEGOCIO: _____	N° EQUIPO: _____											
SEDE: _____	FECHA: _____											
PROCESO: _____												
DATOS DEL MOTOR:												
HP _____ SF _____	N° SERIE _____ MARCA _____											
RPM _____ FRAME _____	TENSION _____ AMPERE _____											
DIAMETRO DEL EJE: _____	FECHA DE FABRICACION: _____											
RODAMIENTO: _____												
COJINETE: _____												
DESCRIPCIÓN GENERAL:												

FECHA MANTTO:	<table border="1" style="width: 100%; height: 20px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%;"></td><td style="width: 10%;"></td><td style="width: 10%;"></td><td style="width: 10%;"></td><td style="width: 10%;"></td><td style="width: 10%;"></td><td style="width: 10%;"></td><td style="width: 10%;"></td><td style="width: 10%;"></td><td style="width: 10%;"></td><td style="width: 10%;"></td> </tr> </table>											
FECHA CAMB. ROD.:	<table border="1" style="width: 100%; height: 20px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%;"></td><td style="width: 10%;"></td><td style="width: 10%;"></td><td style="width: 10%;"></td><td style="width: 10%;"></td><td style="width: 10%;"></td><td style="width: 10%;"></td><td style="width: 10%;"></td><td style="width: 10%;"></td><td style="width: 10%;"></td><td style="width: 10%;"></td> </tr> </table>											

Figura 1.30 Ejemplo de Reporte de datos

Los datos del monitoreo de las vibraciones en cada uno de sus ejes (vertical, horizontal y axial), temperatura e intensidad de corriente, se ingresan en el utilitario 'Mantenimiento predictivo' del software MP2 (desarrollo de Datastring), el Mp2 es un software para la Gestión de Mantenimiento (Ver Figura 1.31), a través de él se retiran los artículos del almacén general, se generan las ordenes de servicio para contratar a Terceros y programar los mantenimientos periódicamente; el procesamiento de esta información permite al programa emitir reportes de los costos de mantenimiento por cada máquina, además almacenar en su base de datos el historial de cada equipo.

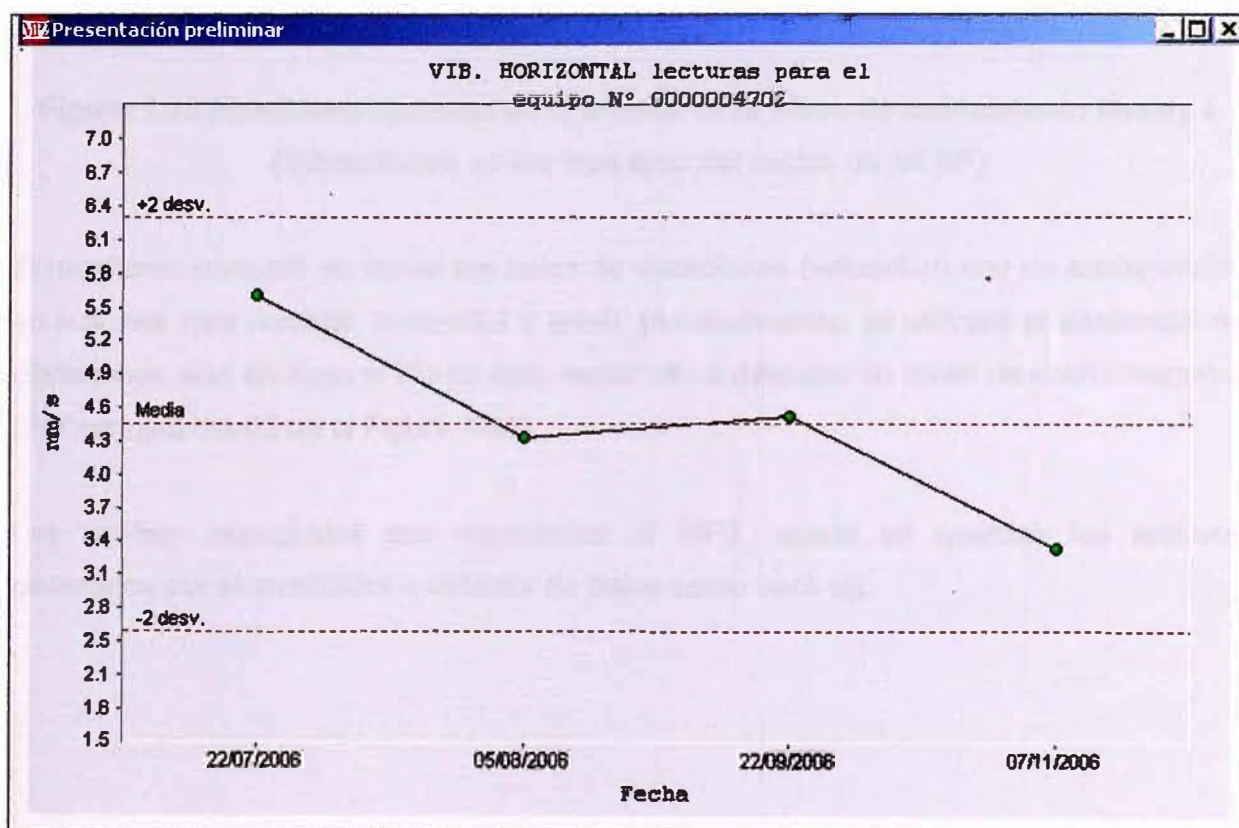
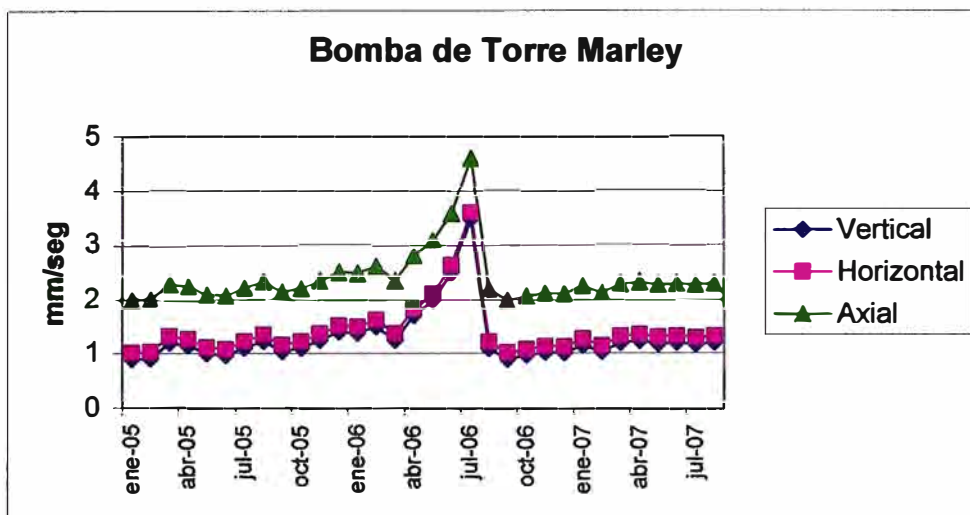


Figura 1.31 Reporte de la vibración horizontal de una caja de engranajes

La data del MP2 es exportable, lo que facilita generar cuadros comparativos de las máquinas, además se puede visualizar las vibraciones en sus tres ejes, permite visualizar los máximos, promedios y mínimos registrados. (Ver Figura 1.32)



**Figura 1.32 Monitoreo mensual de la bomba de la Torre de enfriamiento Marley 1
(Vibraciones de los tres ejes del motor de 40 HP)**

El monitoreo consiste en tomar los datos de vibraciones (velocidad) con un acelerómetro en sus tres ejes (vertical, horizontal y axial), mensualmente; se utilizará el analizador de vibraciones solo en caso el último dato registrado sobrepase en límite de control superior (Por ejemplo Jul-06 de la Figura 1.32).

Los análisis espectrales son exportados al MP2, aparte se guardan los archivos generados por el analizador o colector de datos como back up.

CAPITULO II

PROCEDIMIENTO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL ANÁLISIS VIBRACIONAL EN SAN MIGUEL INDUSTRIAL S.A.

2.1 Objetivo

Este procedimiento establece los pasos para implementar el Mantenimiento Predictivo en la Unidad de Negocios Químicos de San Miguel Industrial S.A.

2.2 Aplicación del procedimiento

El procedimiento se ejecutará en los siguientes equipos:

Motores eléctricos

Bombas

Ventiladores

Compresores

Cajas de engranajes

2.3 Fundamentos [6]

2.3.1 Registrar mensualmente las vibraciones y temperatura de los equipos críticos (Ver el listado de equipos críticos en el Anexo D).

2.3.2 Procesar la data en el utilitario de Mantenimiento Predictivo del software MP2 (software utilizado para la gestión del mantenimiento de equipos en San Miguel Industrial S.A.), el software tiene la capacidad de almacenar la data y crea un gráfico de control, si el último registro es mayor al límite superior de control se procederá al análisis vibracional de la máquina. Cabe mencionar, que los rangos sugeridos por la norma ISO 10816-3, también son tomados en cuenta. Ver Capítulo III.

2.3.3 Dependiendo del análisis vibracional y sugerencias, que elabore el especialista en análisis vibracional, se debe corregir el estado de rodamientos, alineamiento, balanceo, niveles de RPM de trabajo, cojinetes, ajuste de pernos, embocinar y centrar rotor, balanceo de carga térmica, alivio de esfuerzos. Estas correcciones las efectúa el mecánico de producción o en su defecto se contratará a Terceros para el Mantenimiento Correctivo.

2.3.4 Para garantizar la continuidad de operación de las máquinas el Mecánico de producción deberá cumplir con las inspecciones semanales a través de un Check list por cada máquina. El check list a sido elaborado en conjunto, por el mecánico de producción y el analista vibracional (aplicación del Mantenimiento Autónomo)

2.4 **Ámbito de aplicación**

La U.N. Químicos consta de tres plantas:

Planta de Ácido Sulfónico

Planta de Sulfato de Aluminio

Planta Molienda de Azufre

2.5 **Responsabilidades**

El responsable de este procedimiento es el Ingeniero de Mantenimiento especialista en análisis de vibraciones. El encargado de tomar la lectura es el técnico electricista de Producción.

2.6 **Actividades**

2.6.1 **Determinar equipos críticos**

Listar el total de equipos (máquinas) de la planta. Ver Anexo B.

Evaluar la criticidad de los equipos (ver Anexo C) utilizando los formularios elaborados (el instructivo IT.08.0001 en el Anexo C detalla las partes del formulario), en este formulario se debe ponderar cada una de las situaciones del equipo frente al proceso de producción, dependiendo del resultado se aplicará mantenimiento correctivo, preventivo o predictivo; participarán en la ponderación el

jefe o gerente de producción, el mecánico o instrumentista de producción y el especialista en Análisis Vibracional.

2.6.2 Determinar subequipos críticos contenidos en los equipos críticos

- Habiendo determinado los equipos críticos, se deben listar los subequipos más importantes de éstos, es decir, se debe listar los motores, bombas, compresores, ventiladores que tenga una máquina de producción. Por ejemplo, una máquina inyectora tiene un motor principal para el bombeo de aceite y de tres a cinco bombas (la inyectora es el equipo crítico, el motor y las bombas son los subequipos de la inyectora).
- Evaluar la criticidad de los subequipos (ver Anexo D), se debe ponderar cada una de las situaciones del subequipo frente a la operatividad del equipo (máquina), dependiendo del resultado se aplicará mantenimiento preventivo o predictivo; participarán de la ponderación el jefe o gerente de producción, el mecánico o instrumentista de producción y el especialista en análisis vibracional (ver instructivo IT.08.0002 en el Anexo D).

2.6.3 Determinar los parámetros a medir por cada subequipo crítico

- En motores: vibración horizontal, vertical y axial (mm/s), temperatura (°C).
- En compresores: temperatura (°C), vibración horizontal, vertical y axial (mm/s).
- En cajas de engranajes: Vibraciones horizontal, vertical y axial, temperatura (°C).
- En bombas, ventiladores: vibraciones horizontal, vertical y axial, temperatura (°C).

2.6.4 Elaborar ruta para toma de datos

En el plano de ubicación de los equipos críticos (vista de planta) trazar la ruta para toma de datos teniendo en cuenta el menor recorrido posible.

2.6.5 Crear planillas para toma de datos

Elaborar el formato de la planilla considerando la secuencia en la toma de datos de la ruta establecida. Ver formato LI 08.0003 en el Anexo E.

2.6.6 Procesamiento de datos en el Software de Mantenimiento Predictivo (MP2)

En el software de Mantenimiento se encuentran registradas el total de máquinas, es necesario configurar los equipos críticos dentro del utilitario “Predicción Estadística de Mantenimiento”, ver en el Anexo F: IT.08.0004: Instructivo para configurar tablas de mediaciones en el MP2. La configuración consiste en crear hojas (dentro del MP2) para el ingreso de datos (vibraciones, temperatura, importación de análisis de frecuencias, etc.)

2.6.7 Toma de datos

Portando la planilla, el analista de vibraciones realizará la primera toma de datos, explicando la ruta y uso de los instrumentos de medición a los mecánicos o instrumentistas de producción, en lo sucesivo éstos serán los responsables de recolectar los datos mensualmente, de detectar vibraciones por encima de los rangos sugeridos en la norma ISO 10816-3 y límites de control se procederá al análisis de vibraciones (espectros de frecuencia).

2.6.8 Ingreso de datos al software de Mantenimiento Predictivo (MP2)

Los datos recolectados en la planilla deberán ser ingresados al MP2 para crear los registros históricos de las vibraciones en cada equipo. Ver en el Anexo G el instructivo IT.08.0005: Instructivo para ingresar datos en el MP2.

2.6.9 Análisis

En el software de Mantenimiento Predictivo (MP2) se guarda el registro histórico de las vibraciones, por defecto el software calcula los límites de control superior e inferior, queda establecido que al registrar un valor por encima del límite superior se procederá a realizar el análisis vibracional.

Para el análisis vibracional, el especialista tomará los registros y procederá a diagnosticar el tipo de falla. Deberá elaborar un reporte y entregarlo al jefe de producción para programar el Mantenimiento Correctivo. El reporte es escaneado e importado al MP2 (el Mp2 tiene una base de datos en Oracle, ésta es administrada por el área de Informática).

2.6.10 Registros

LI.08.0003: Planillas de U.N. Químicos (Ver en el Capítulo III)

2.6.11 Documentos Relacionados

- a. ES.08.0001: Manual del acelerómetro (Ver Anexo H)
- b. ES.08.0002: Manual del analizador de vibraciones (Ver Anexo I)
- c. ES.08.0003: Termómetro con rayos infrarrojos (Ver Anexo J)

2.7 Información complementaria

A continuación se muestra la ubicación de los equipos críticos dentro de los procesos de producción en las plantas de la Unidad de Negocios Químicos y la gestión desplegada para garantizar su operatividad.

2.7.1 Proceso de producción de la Planta de Ácido Sulfónico

La planta de Acido Sulfónico produce ácido sulfónico lineal y ramificado, estos tensoactivos (surfactante) aniónicos y biodegradables obtenidos por la sulfonación del alquilbenceno (LAB) ó dodecilbenceno (DDB o BAB) para el Lineal y Ramificado respectivamente. Se caracteriza por ser un líquido viscoso de color marrón claro que es utilizado como materia prima en la elaboración de detergentes granulados, polvo, líquidos y en pasta.

En la Figura 2.33 se indica donde están instalados los equipos críticos.

Ubicación A: Equipos 5041-5042-5046

Ubicación B: Equipos 5040-5054-5055

Ubicación C: Equipos 5043

Ubicación D: Equipos 5044-5048

Ubicación E: Equipos 5045-5047-5052-5053

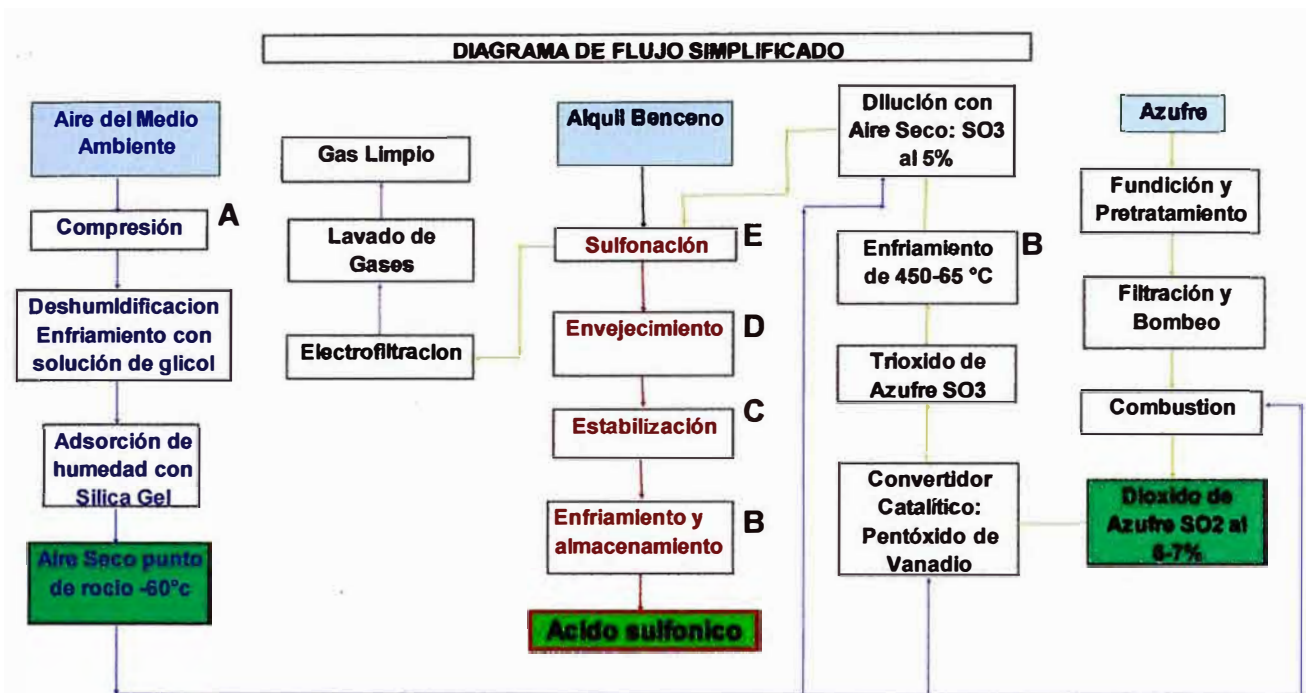


Figura 2.33 Diagrama de flujo simplificado de producción de la Planta de Ácido Sulfónico

2.7.2 Proceso de producción de la Planta de Sulfato de Aluminio

El sulfato de aluminio es una sal inorgánica que por sus propiedades físico-químicas es utilizada principalmente como agente coagulante y floculante primario en el tratamiento de aguas de consumo humano y aguas residuales. Se caracteriza por agrupar los sólidos suspendidos en el agua y acelerar la sedimentación, contribuyendo a la disminución de la carga bacteriana, así como la remoción del color y sabor.

Además del tratamiento de agua, nuestro sulfato de aluminio presenta los usos siguientes:

Agente encolante en la fabricación de papeles y cartones.

Fabricación de colorantes como el carmín.

Agente fijador de colorantes en textiles.

Tratamiento de agua para la industria de bebidas (gaseosas, cerveza, jugos, etc).

Agente astringente y cicatrizante en la industria farmacéutica.

Agente clarificante para grasas y aceites.

Agente removedor de olor y color en procesos de extracción y refinamiento de petróleo.

En la Figura 2.34 se indica donde están instalados los equipos críticos.

Ubicación A: Equipos 5059

Ubicación B: Equipos 5060

2.7.3 Proceso de producción de la Planta Molienda de Azufre

El azufre industrial PANTERA se caracteriza por su alta calidad y pureza, permitiendo su uso en múltiples industrias, destacando:

Vulcanización del caucho para la fabricación de neumáticos, suelas para zapatillas y calzado, empaquetaduras, etc.

Fabricación de fósforos y explosivos.

Refinación de metales de fundición.

Sulfitación del azúcar.

Elaboración de productos químicos como ácido sulfúrico.

Formulación de agroquímicos y fertilizantes.

En la Figura 2.35 se indica donde están instalados los equipos críticos.

Ubicación A: Equipos 5057-5058

Ubicación B: Equipos 5056

SULFATO DE ALUMINIO

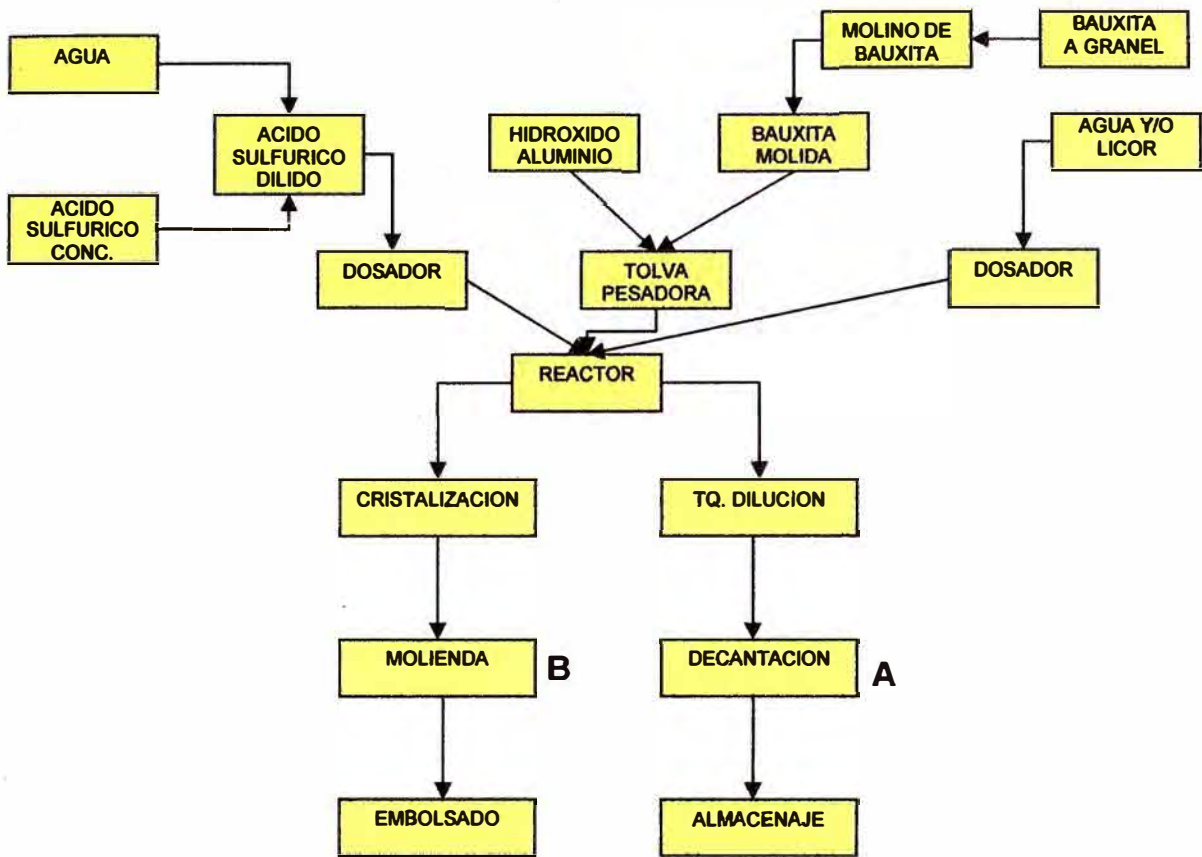


Figura 2.34 Diagrama de flujo simplificado de producción de la Planta de Sulfato de Aluminio

Diagrama del Proceso PTA AZUFRE

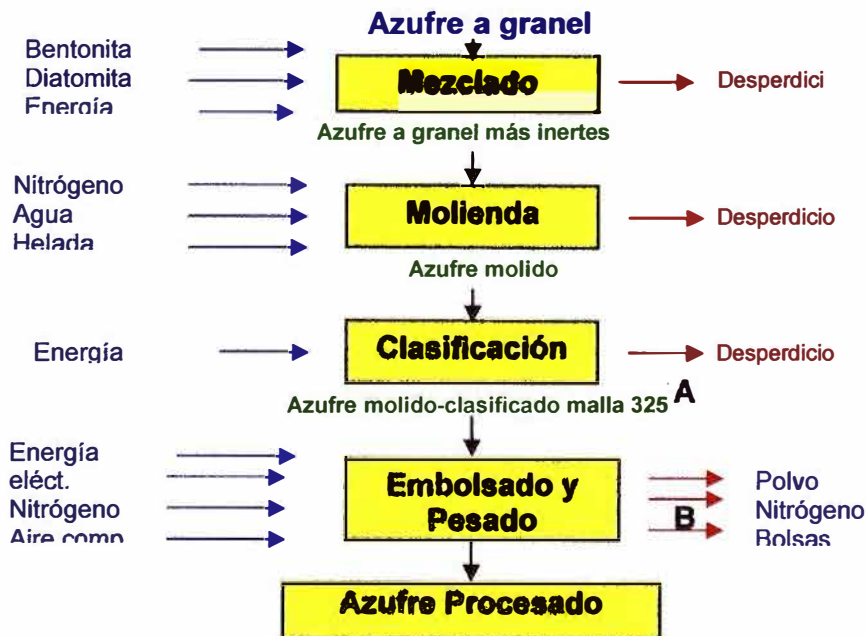


Figura 2.35 Diagrama de flujo simplificado de la Planta Molienda de Azufre

2.7.4 Gestión del Área de Mantenimiento en San Miguel Industrial S.A.

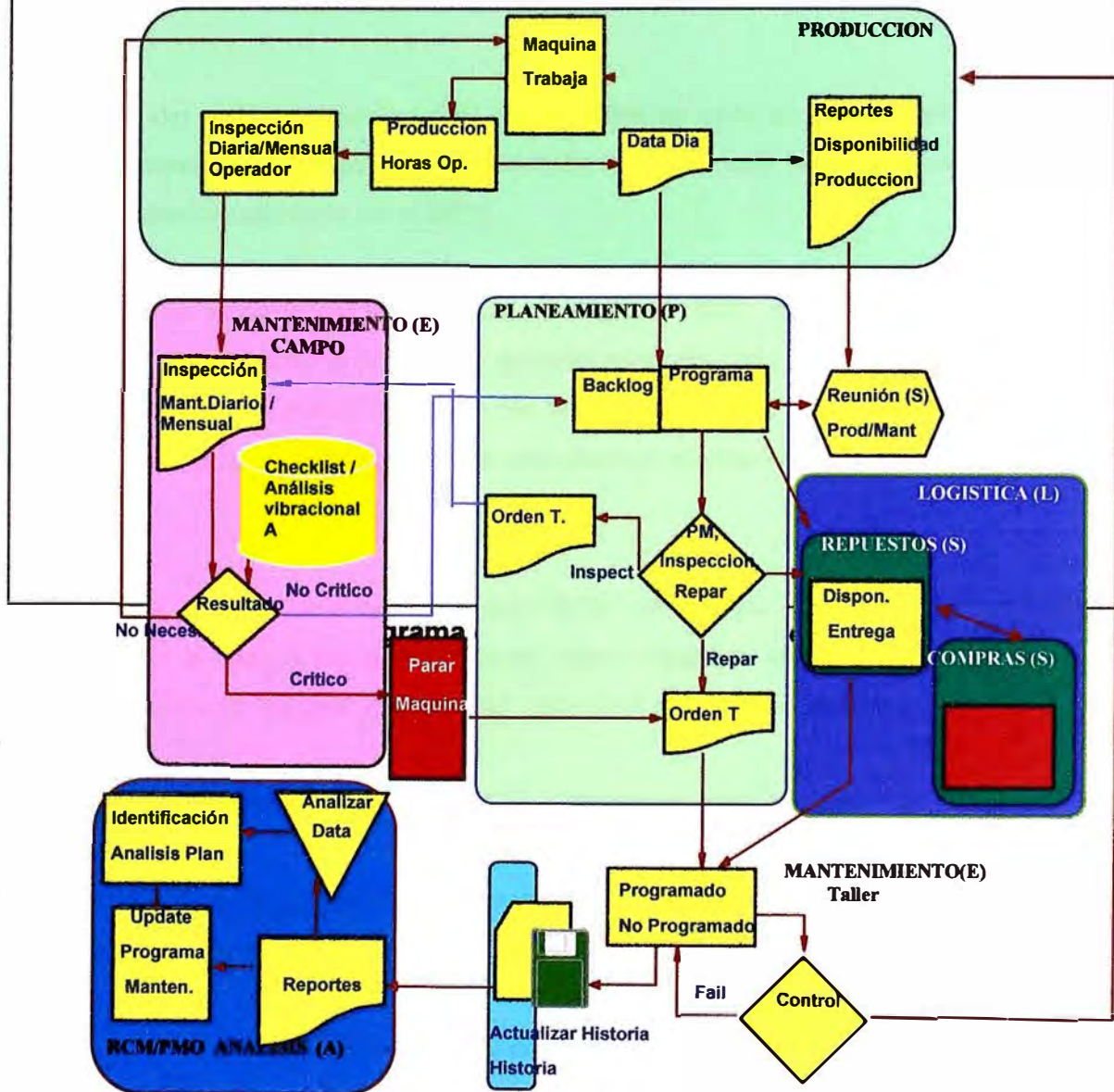
El procedimiento descrito para la implementación es mostrado en la Figura 2.36. El planeamiento es la columna vertebral del sistema, combina la retroalimentación de las demás funcionales y la información de Producción. El campo de Mantenimiento es el área netamente operativa, es el nexo entre mantenimiento y operaciones, toma atención de las reparaciones imprevistas de corta duración y cumple el programa de inspecciones de Mantenimiento (entre ellas el Mantenimiento Predictivo). Logística gestiona el ingreso de repuestos al almacén general de la empresa, debe tener disponibilidad de repuestos críticos, es el ente responsable del abastecimiento de artículos y equipos.

La experiencia ha mostrado la necesidad de ciertas funciones en todo Sistema de Administración del Mantenimiento, como son:

- Mantenimiento Predictivo
- Mantenimiento Preventivo
- Administración de Backlogs (Lista de Necesidades)
- Administración de Componentes
- Administración de Repuestos
- Taller de Mantenimiento, campo, taller de reparación
- Sistema de Información (CMMS, EAM, ERP)
- Análisis de Rendimiento, KPI
- Administración de Problemas

Para facilitar la gestión de mantenimiento, San Miguel Industrial S.A. decidió integrar un sistema CMMS, es el sistema de gestión de Mantenimiento MP2, con módulos para los almacenes, requerimiento de compras, tareas de mantenimiento (incluye el utilitario de Predicción Estadística de Mantenimiento, en éste se almacenan los registros de las vibraciones), órdenes de trabajo, integración con el RISC (sistema de Logística). En el MP2 se tienen clasificados los artículos de compra, gestiona el stock de almacenes, datos de compra, costos, tipo de abastecimiento, inventario físico, análisis ABC.

Flujo General de Mantenimiento



CAPITULO III
REPORTES DEL ANÁLISIS VIBRACIONAL

Los reportes del análisis vibracional [8] son emitidos en caso un registro del monitoreo de vibraciones (mm/seg, G) exceda lo sugerido en la norma ISO 10816-3 o exceda el límite de control superior calculado en el MP2.

El monitoreo de vibraciones fue iniciado en Febrero 2005, el mecánico de producción debe realizar el monitoreo el primer día de cada mes, con una tolerancia de una semana, para el presente informe se consideran los registros tomados hasta Diciembre 2007; es decir se tiene una base de datos de tres años para el monitoreo de los equipos críticos de la Tabla 3.12.

Para empezar el monitoreo fue necesario hacer un análisis vibracional de los equipos críticos, con el análisis y los correctivos se llega a registrar las magnitudes de vibración estando el equipo en buenas condiciones, este será el punto de partida.

3.1 Equipos críticos y registros del monitoreo de vibraciones

Para la Unidad de Negocios Químicos se han determinado como equipos críticos los indicados en la Tabla 3.12.

Tabla 3.12 Relación de equipos y subequipos críticos

N° Equipo	Equipo	Subequipo	Potencia	RPM
<i>Planta de Ácido Sulfónico</i>				
5040	Torre de enfriamiento Marley 1	Motor de ventilador	50 HP	1800
5041	Compresor Omel	Motor	200 HP	1800
5042		Compresor		
5043	Motor del estabilizador 16MX2	Motor	37 KW	1800

5044	Motor de envejecimiento 16 A1	Motor	200 HP	1800
5045	Ventilador de regeneración 11K2	Motor del ventilador	20 HP	3600
5046	Ventilador del Convertidor 12K1	Motor del ventilador	75 HP	1800
5047	Ventilador Precipitador 14K1	Motor del ventilador	30 HP	3600
5048	Bomba de agua del Reactor 16P1	Motor	37 KW	1800
5049		Bomba		
5050	Bomba de agua de retorno	Motor	100 HP	1800
5051		Bomba		
5052	Bomba de agua de producción 16 A1	Motor	100 HP	1800
5053		Bomba		
5054	Bomba de agua de Sulfónico	Motor	75 HP	1800
5055		Bomba		
Planta de Sulfato de Aluminio				
5059	Torre de enfriamiento Marley 2	Motor del ventilador	50 HP	1800
5060	Ventilador de recuperación de polvo	Motor de ventilador	10 HP	3600
Planta de Molienda de Azufre				
5056	Ventilador de Sílica 11K2	Motor del ventilador	20 HP	1800
5057	Ventilador de Sílica 12K1	Motor del ventilador	75 HP	1800
5058	Ventilador de Sílica 14K1	Motor del ventilador	75 HP	1800

Ver fotos de los equipos críticos en el Anexo J.

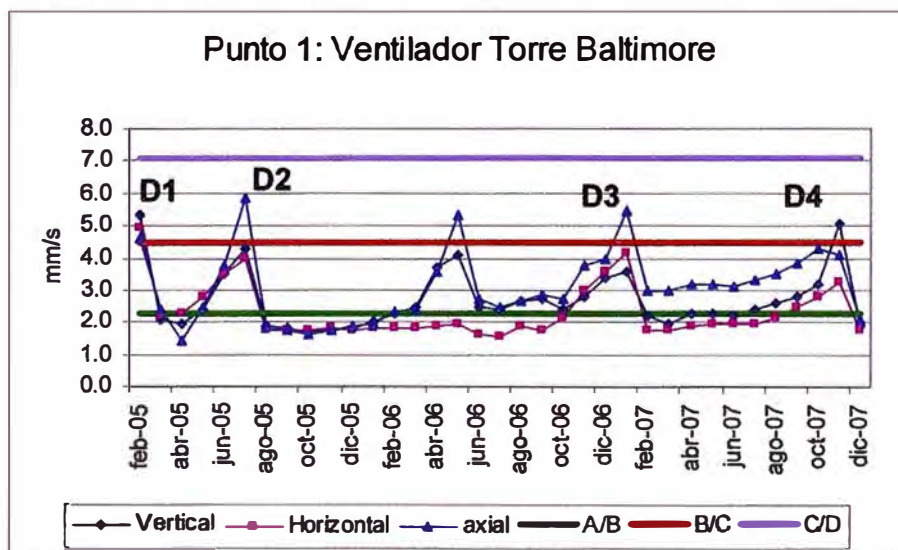
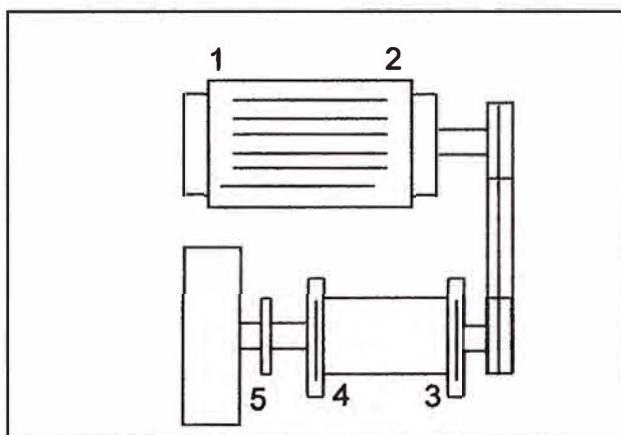
Los registros históricos de las vibraciones (mm/s, G) y temperatura de los equipos críticos contienen las vibraciones en los tres ejes (vertical, horizontal y axial), además se incluyen los límites de control y/o los rangos máximos sugeridos por la normativa ISO 10816-3, también se señala en cada grafica las veces que se realizó el análisis vibracional con una la letra 'D' seguida por un numeral, los diagnósticos se encuentran en el Capítulo IV, notar que cada gráfica tiene numerado el diagnóstico que se tratará en el siguiente capítulo.

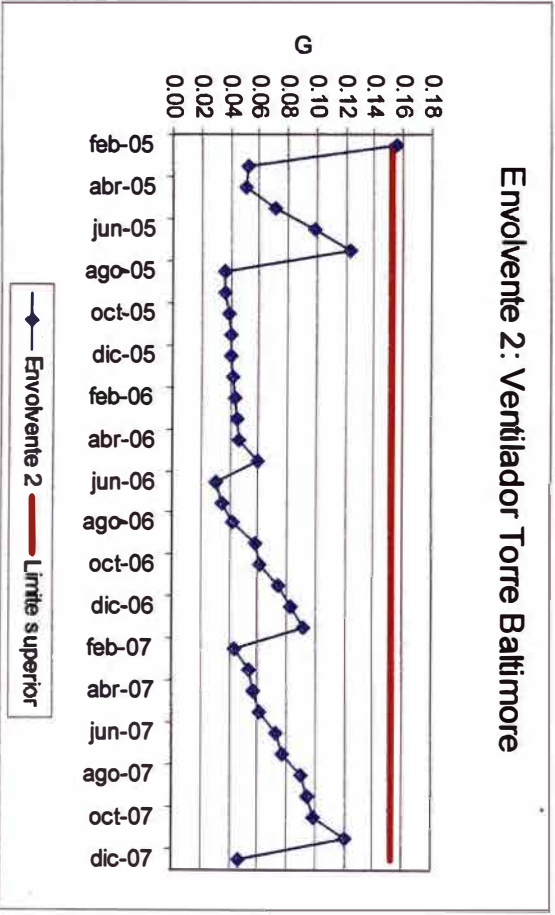
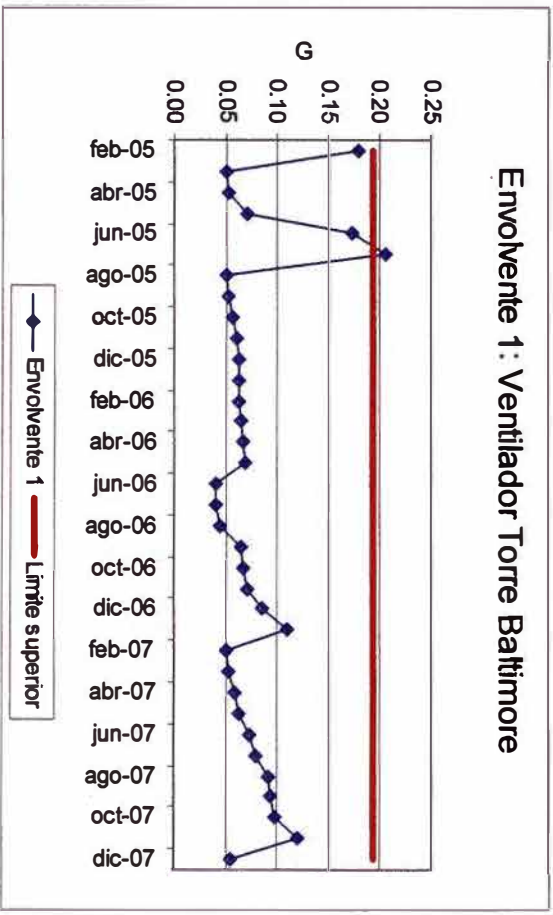
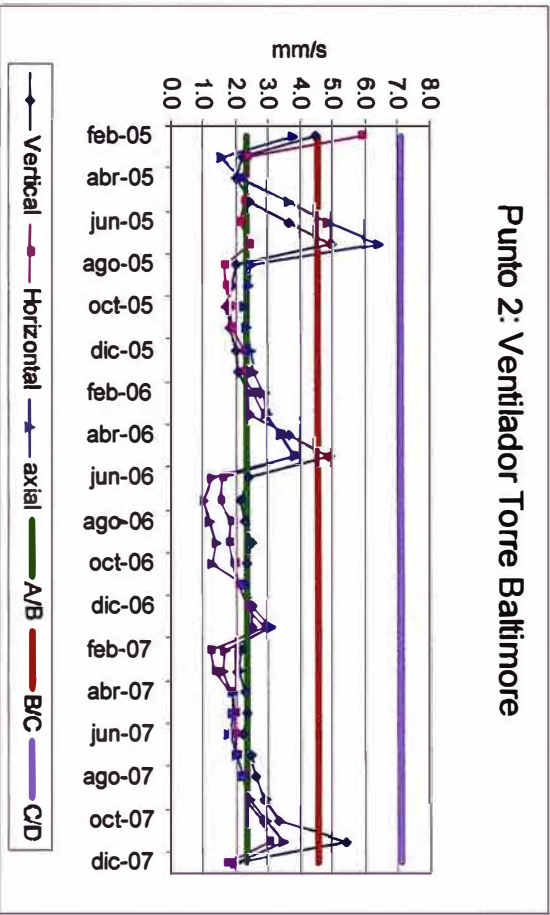
Los registros serán tomados con un acelerómetro VIB-1200, marca Megabras, sensor de vibración de 100 mV/g con base magnética y frecuencia 10 Hz a 10 kHz (Ver Anexo H)

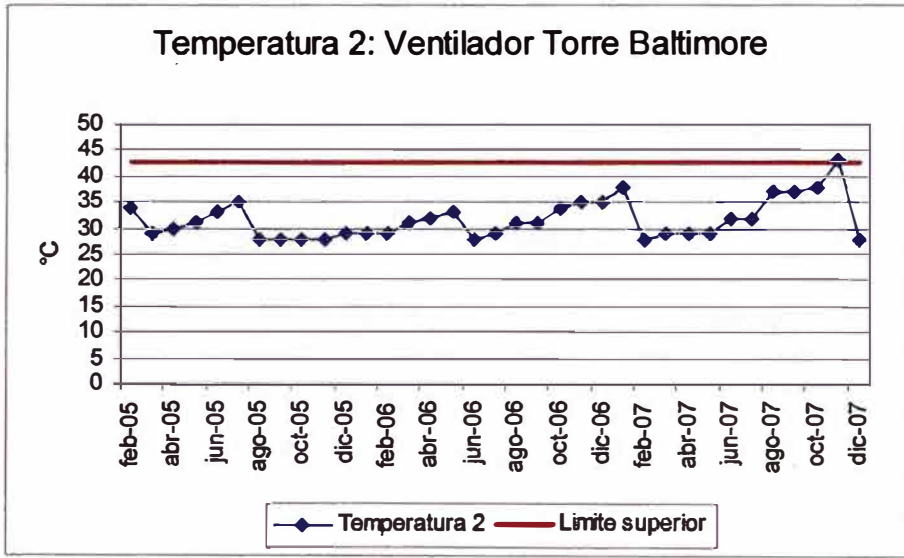
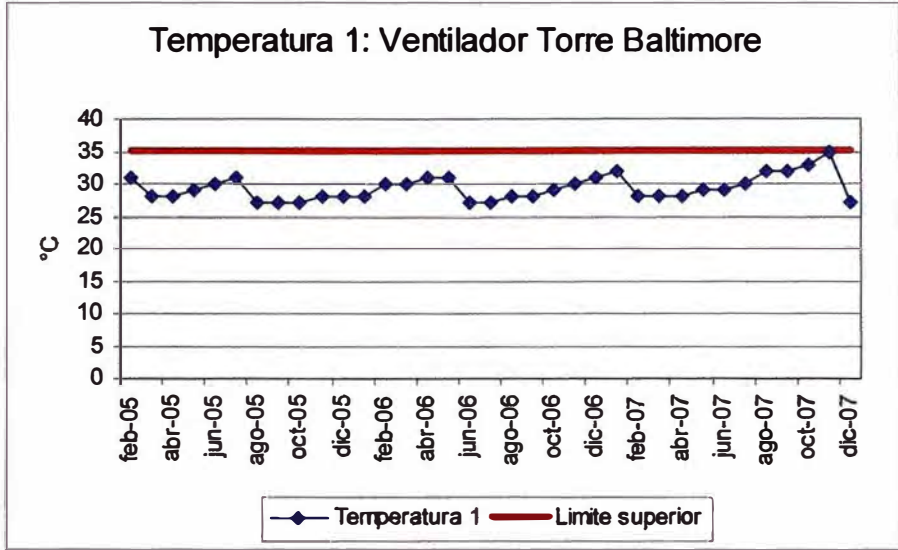
3.2 Planta de Acido Sulfónico

3.2.1 Equipo 5040: Torre de enfriamiento Marley 1

Diagnóstico N°	Fecha
D1	Feb-05
D2	Jul-05
D3	Ene-07
D4	Nov-07

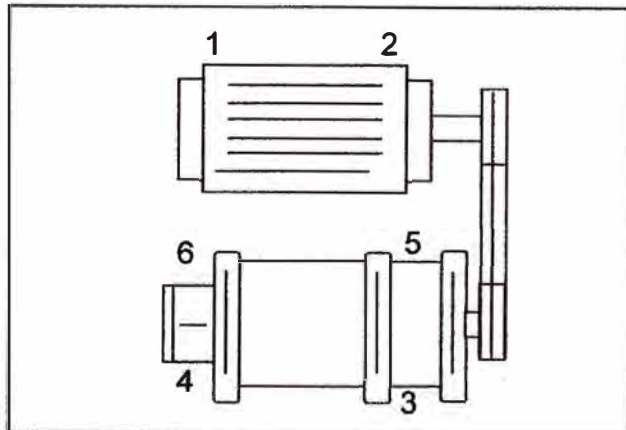


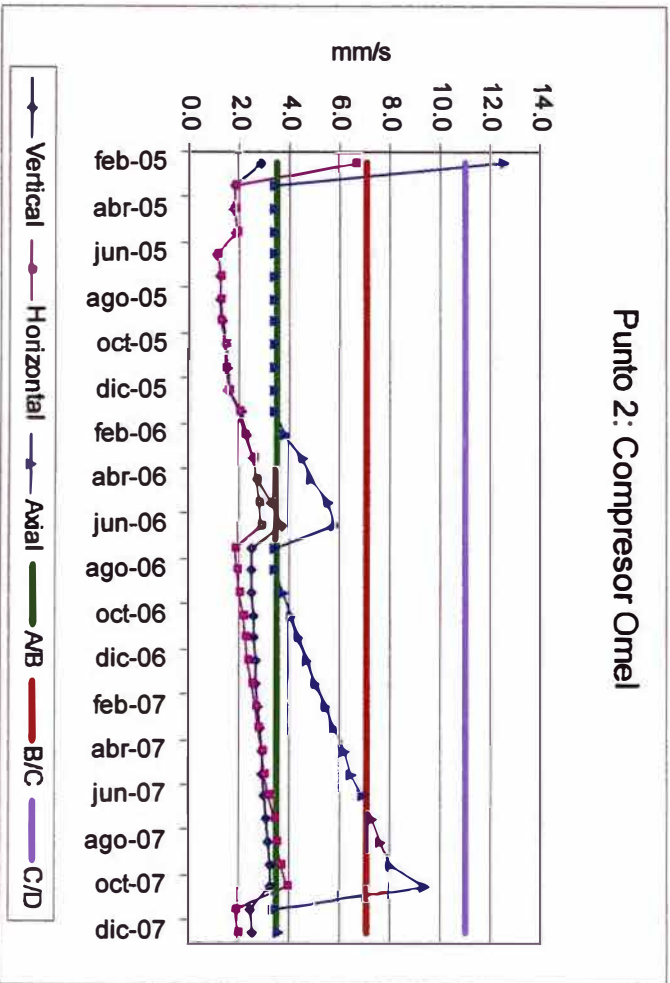
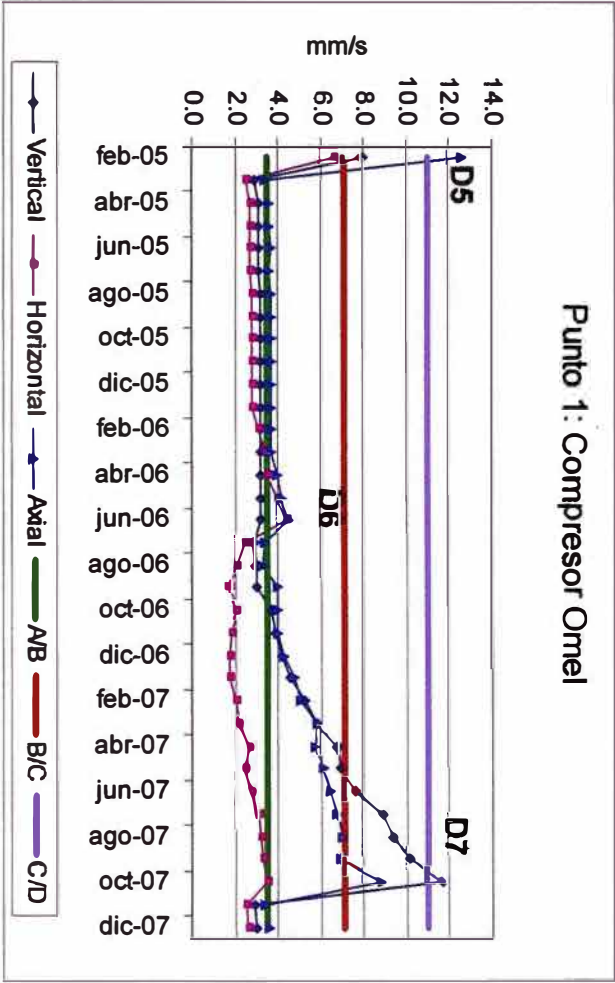


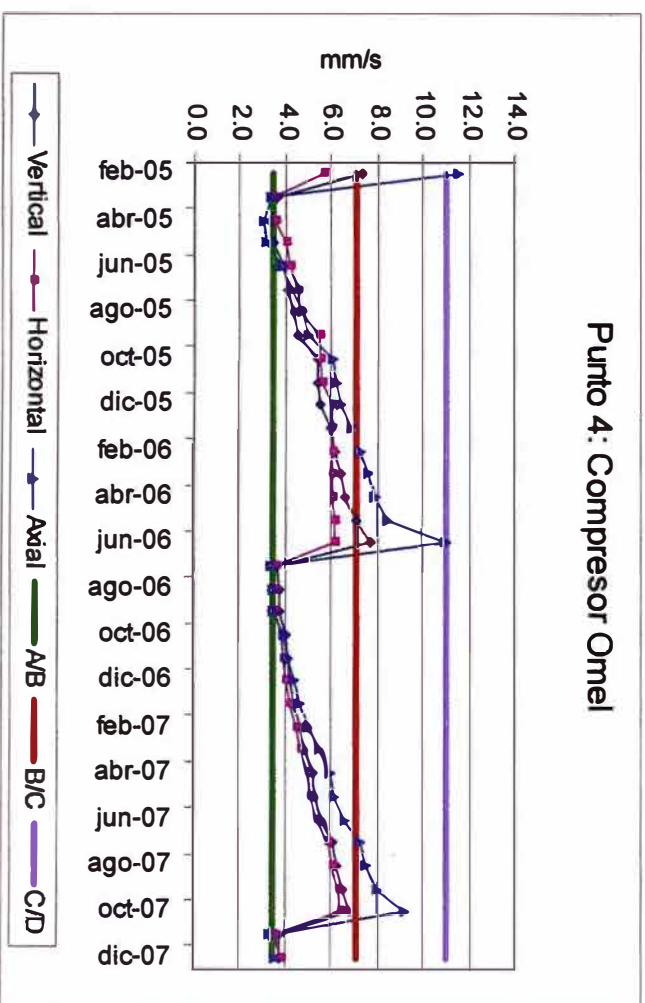
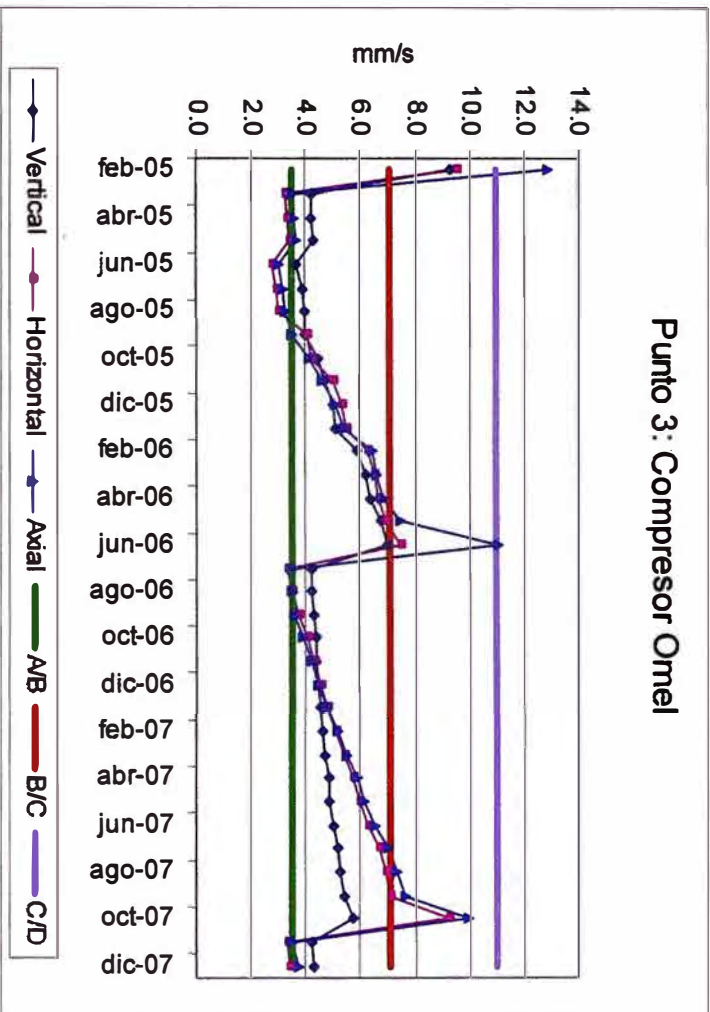


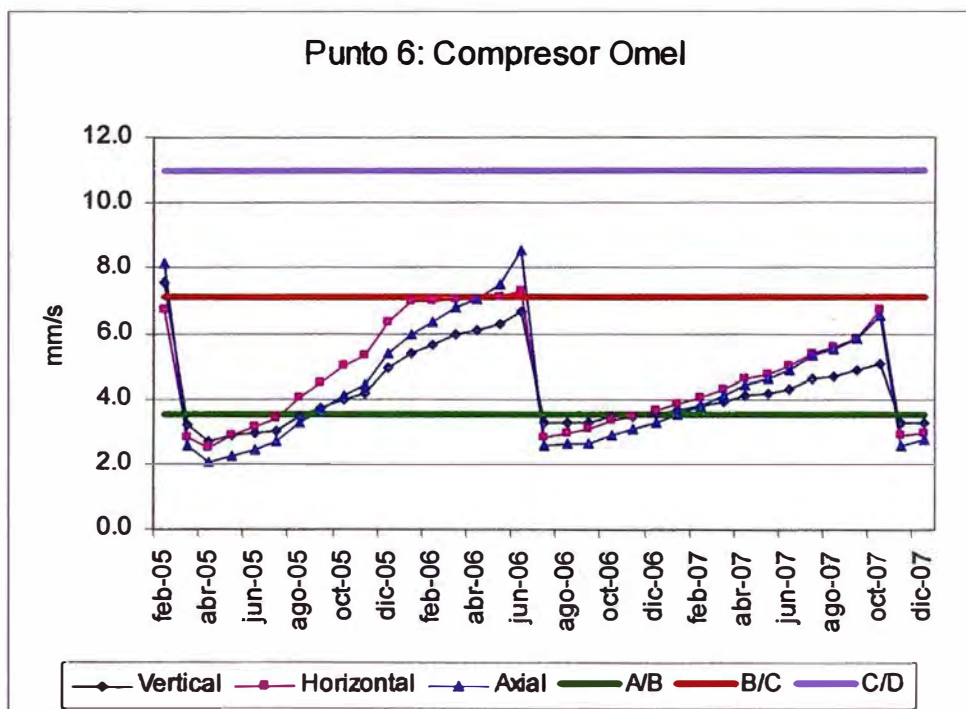
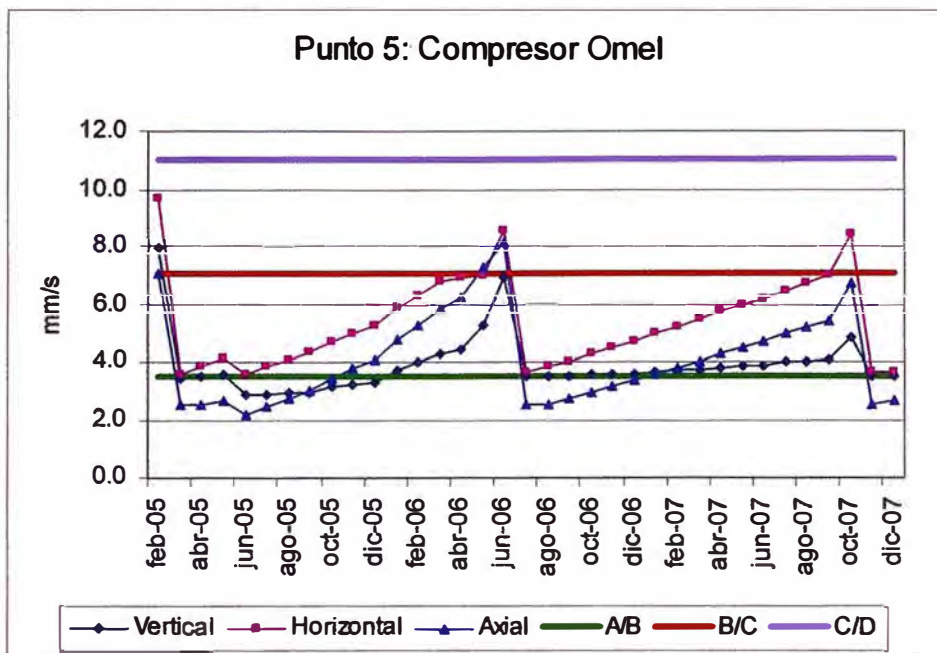
3.2.2 Equipo 5041-5042: Compresor Omel

Diagnóstico N°	Fecha
D5	Feb-05
D6	Jun-06
D7	Oct-07



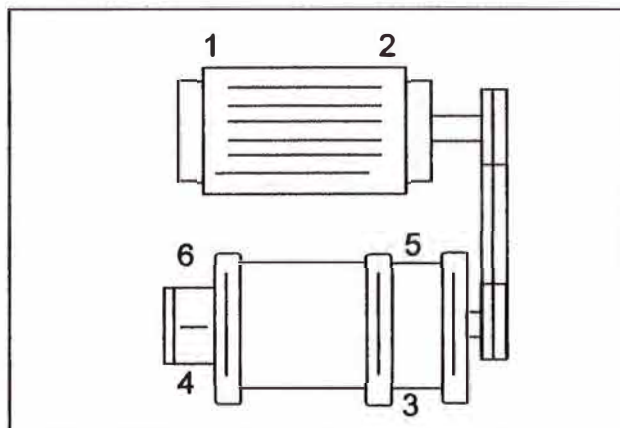




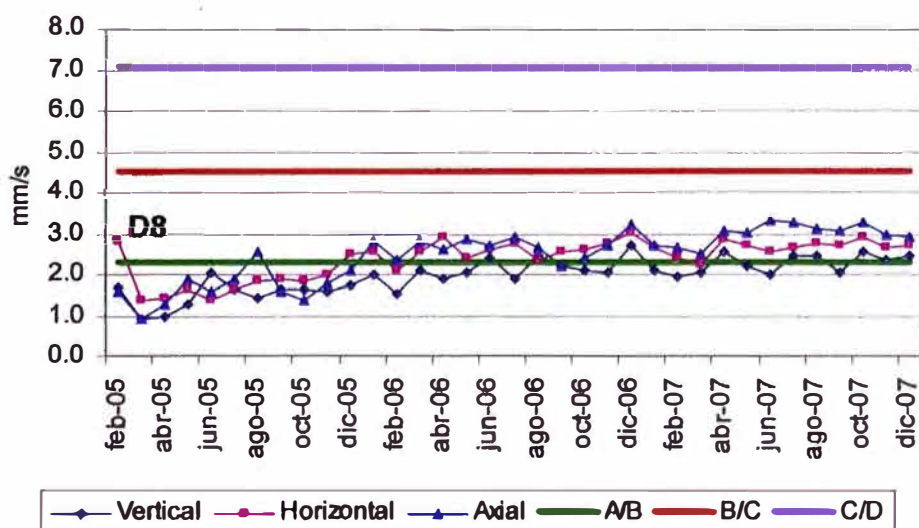


3.2.3 Equipo 5043: Motor del estabilizador 16MX2

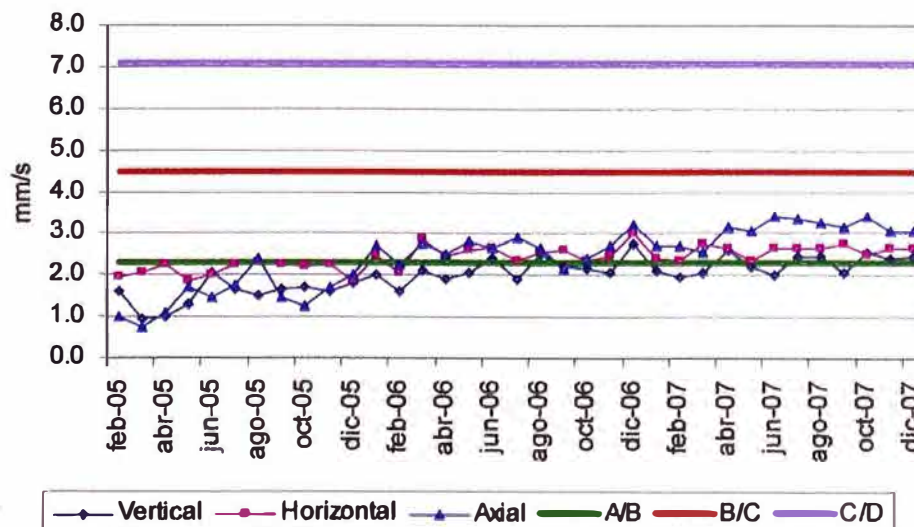
Diagnóstico N°	Fecha
D8	Feb-05

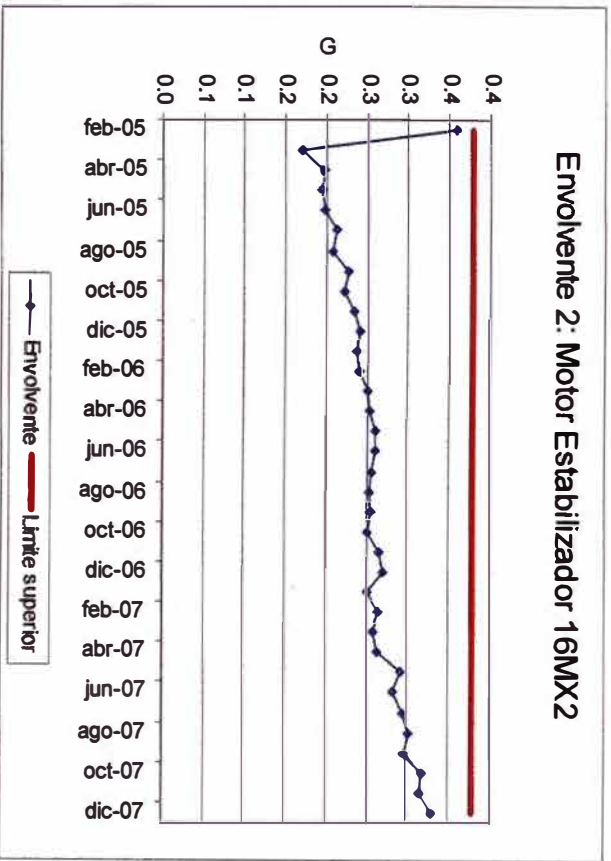
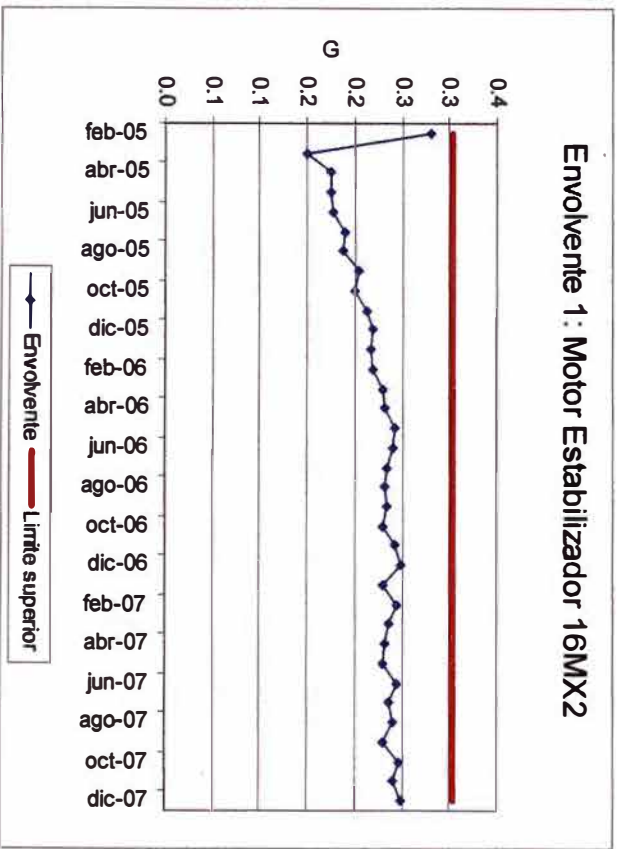
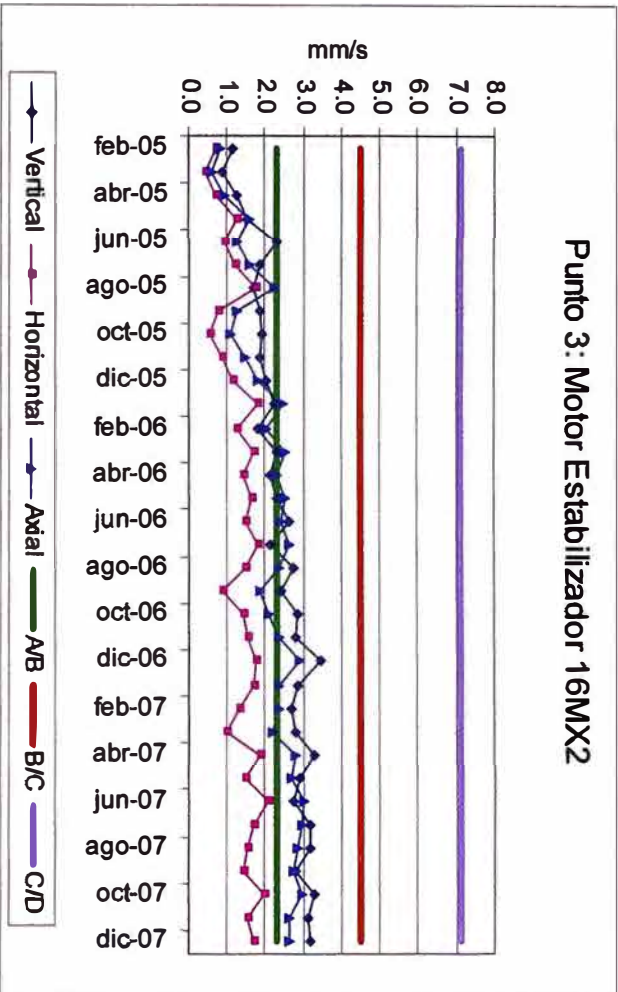


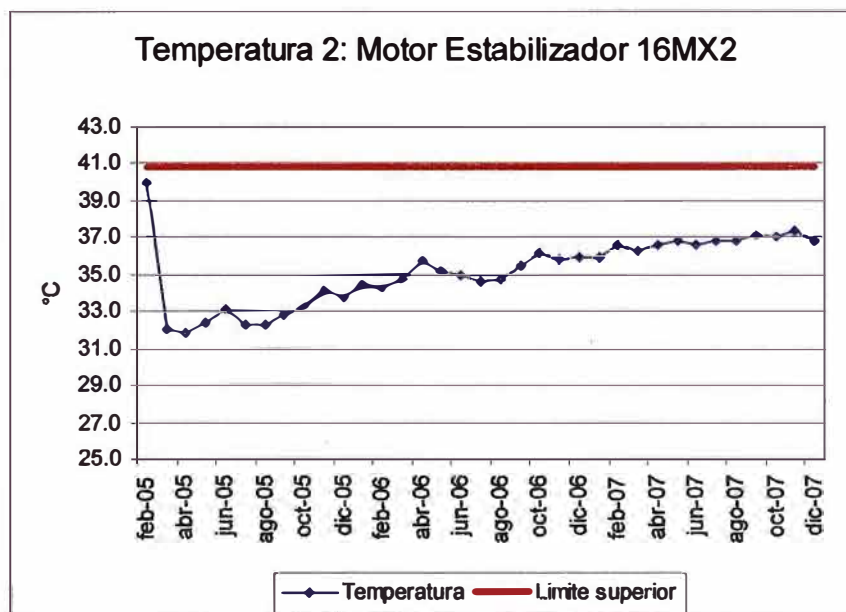
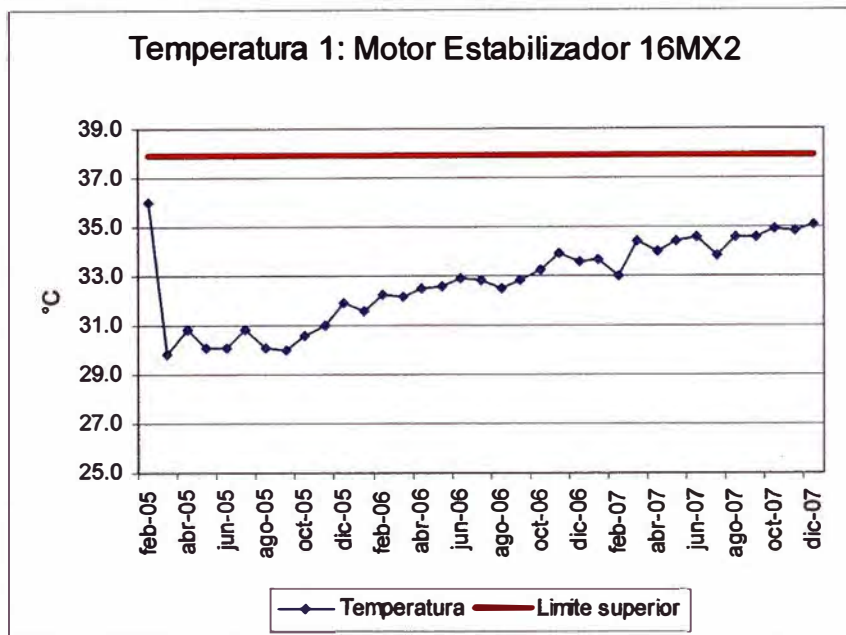
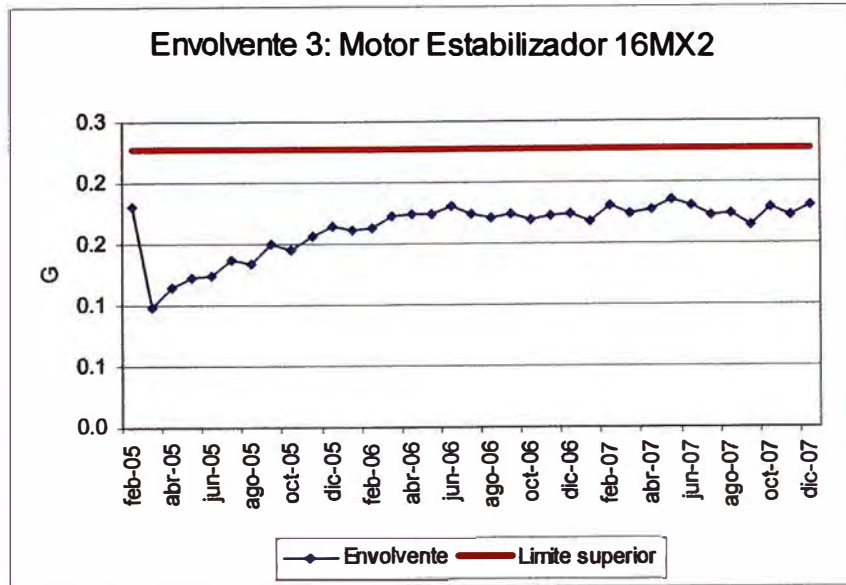
Punto 1: Motor Estabilizador 16MX2

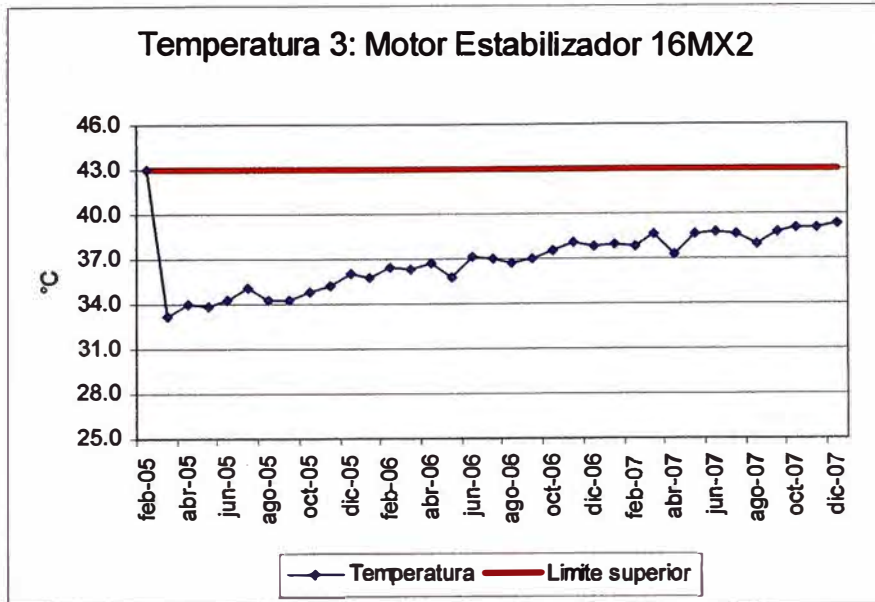


Punto 2: Motor Estabilizador 16MX2



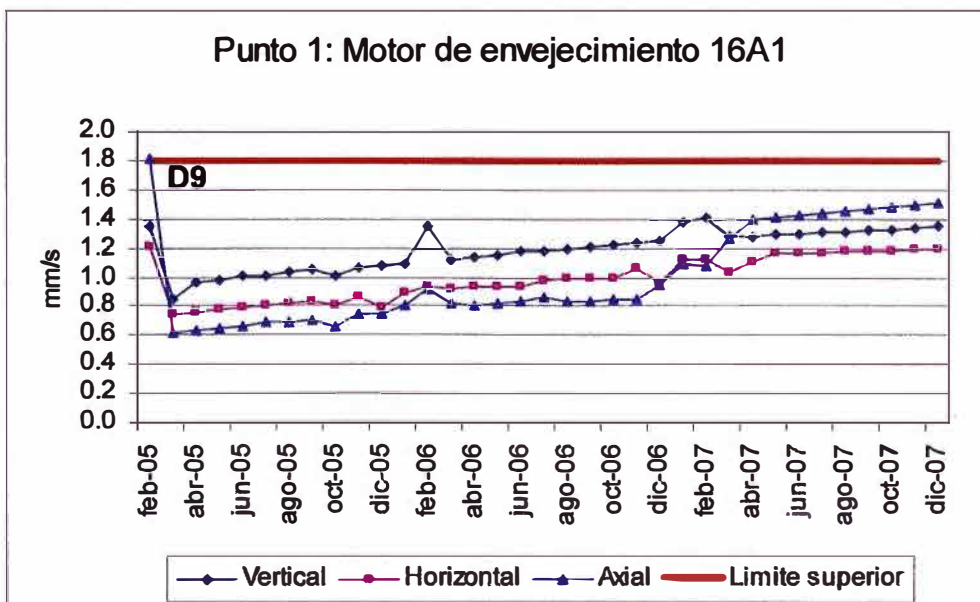
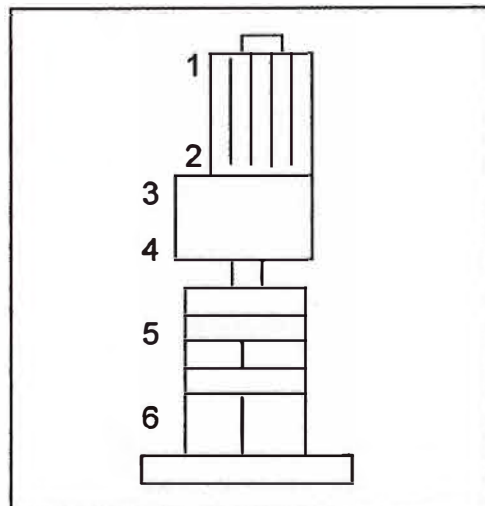




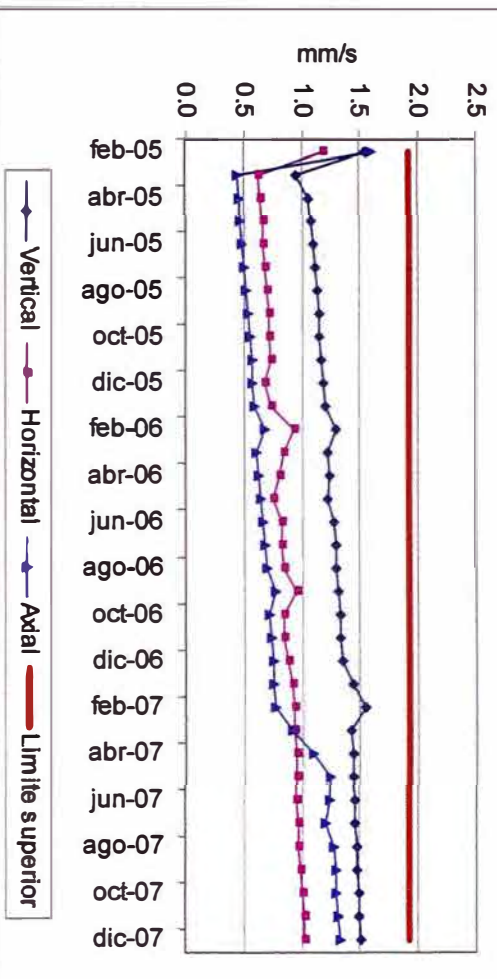


3.2.4 Equipo 5044: Motor de envejecimiento 16 A1

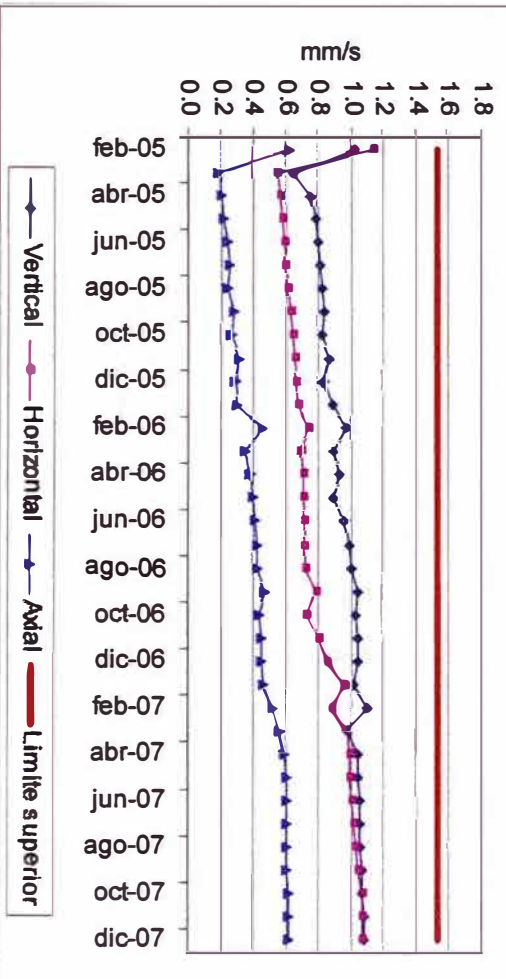
Diagnóstico N°	Fecha
D9	Feb-05



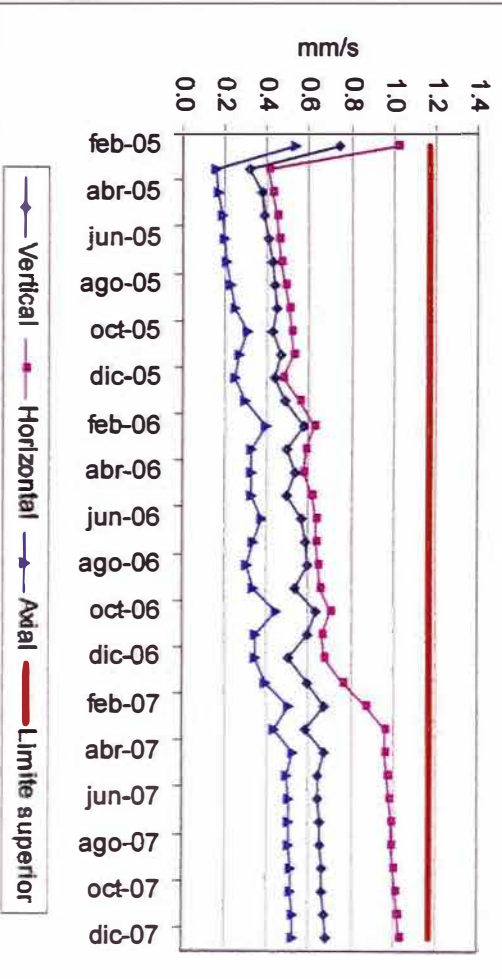
Punto 2: Motor de envejecimiento 16A1



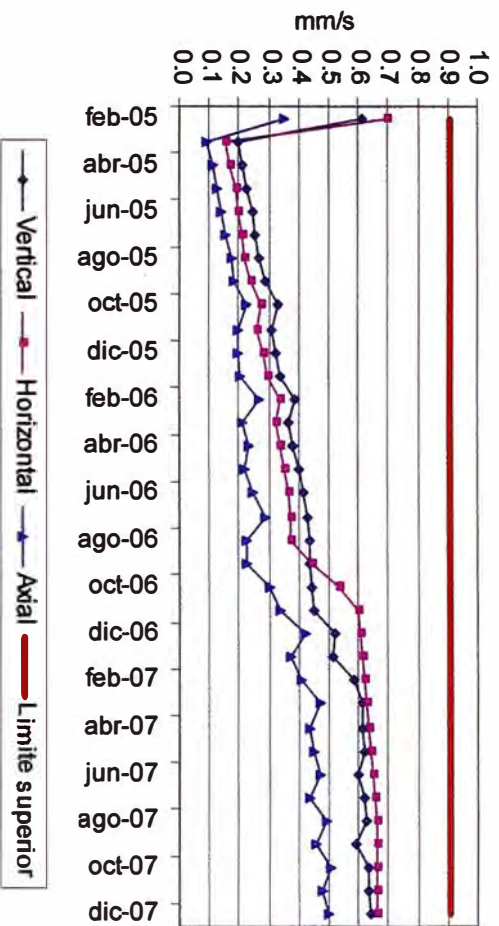
Punto 3: Motor de envejecimiento 16A1



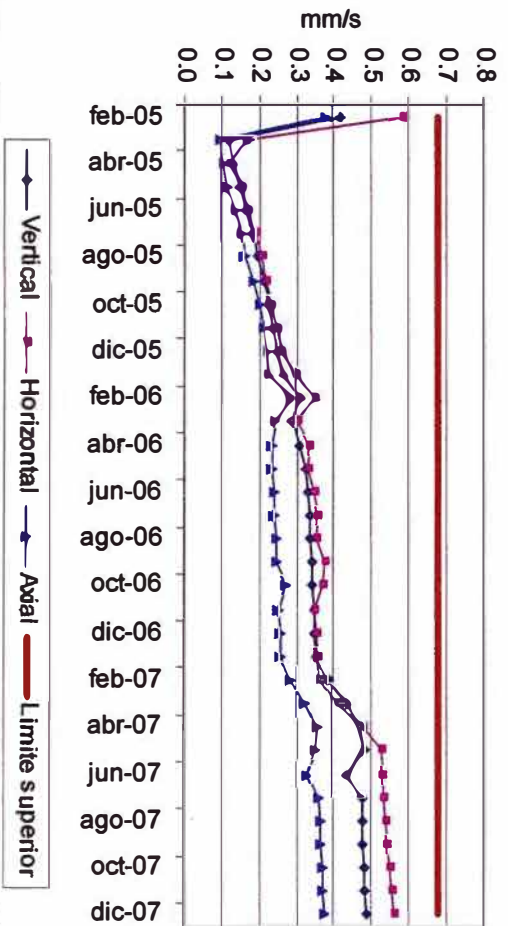
Punto 4: Motor de envejecimiento 16A1



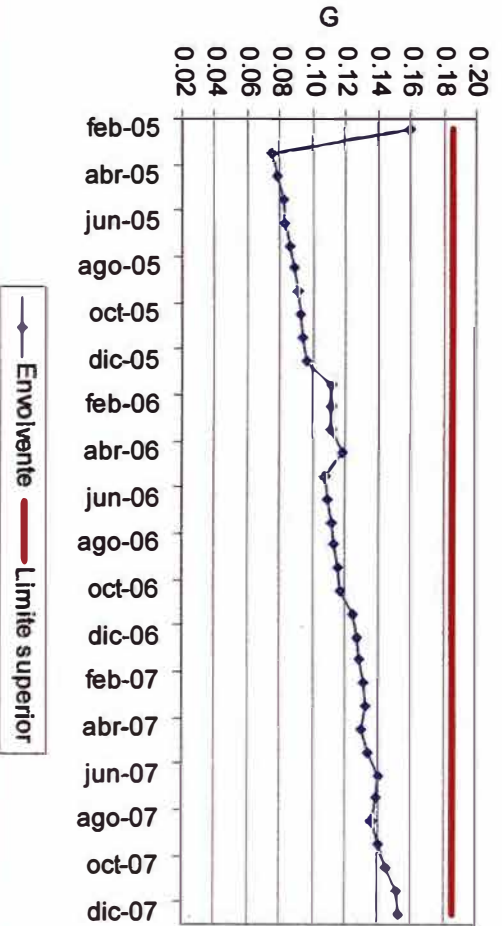
Punto 5: Motor de envejecimiento 16A1

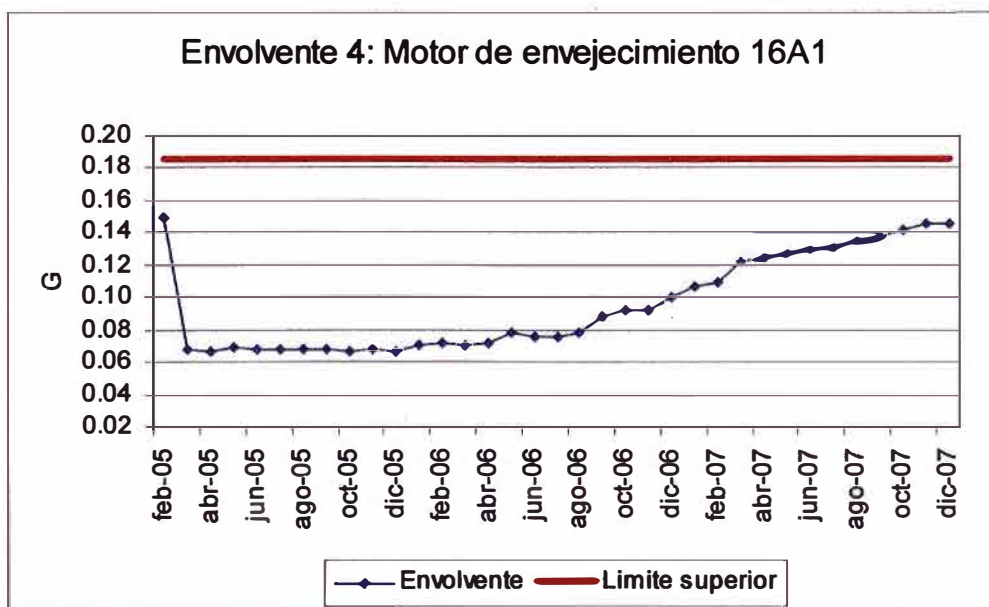
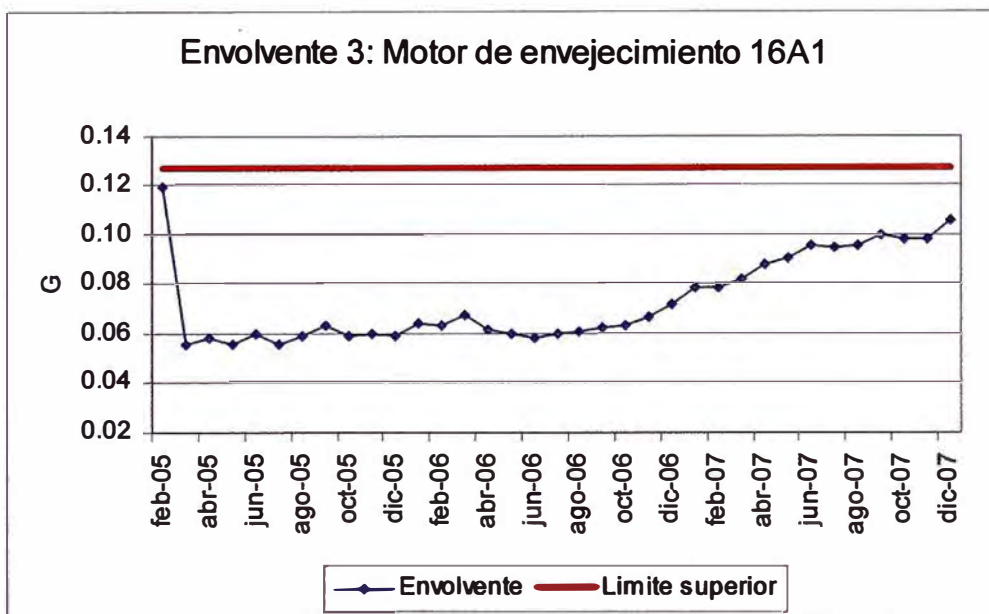
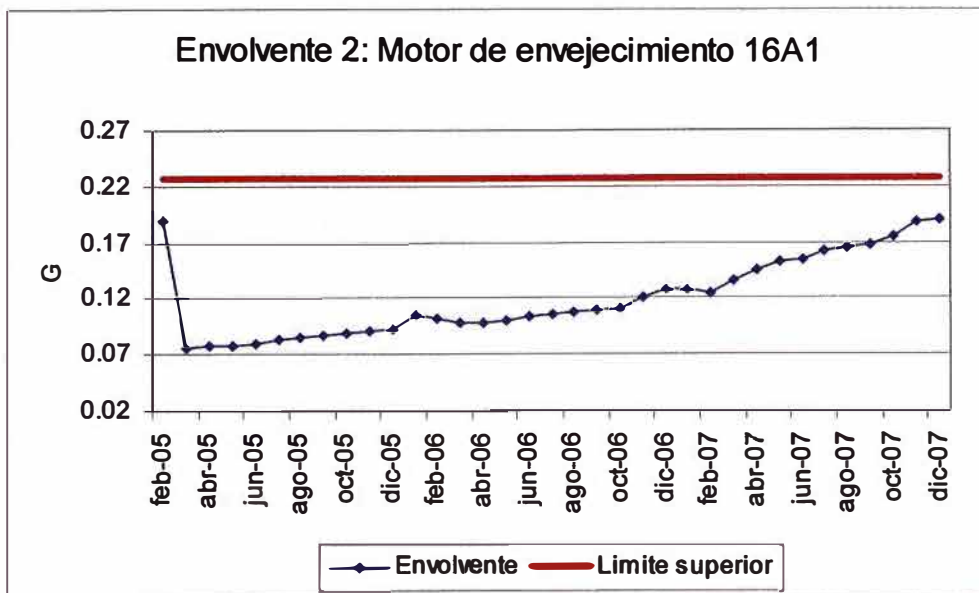


Punto 6: Motor de envejecimiento 16A1

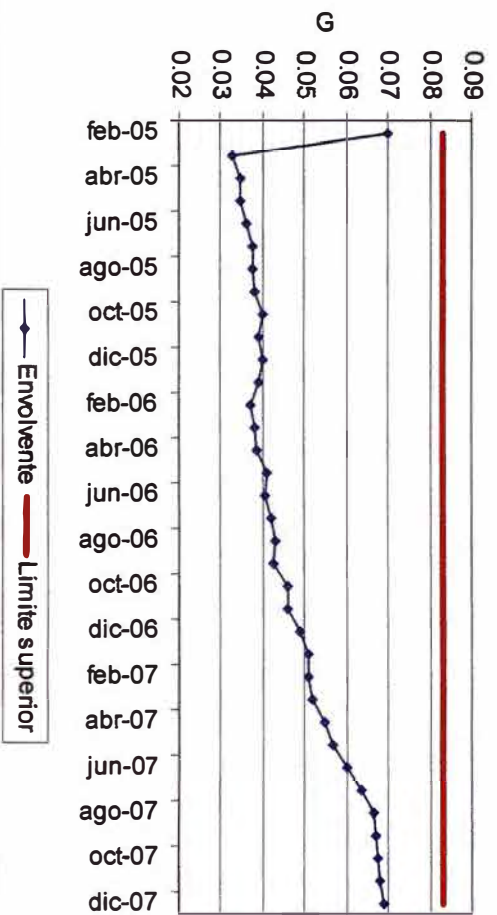


Envolvente 1: Motor de envejecimiento 16A1

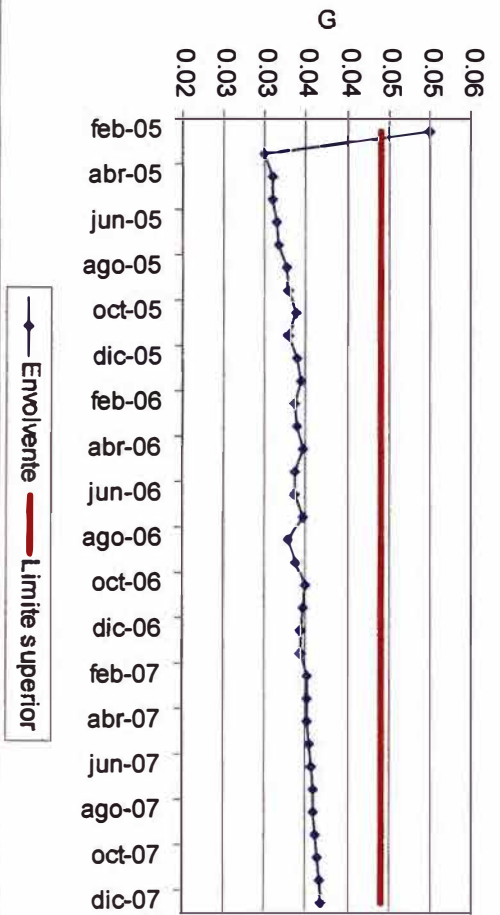




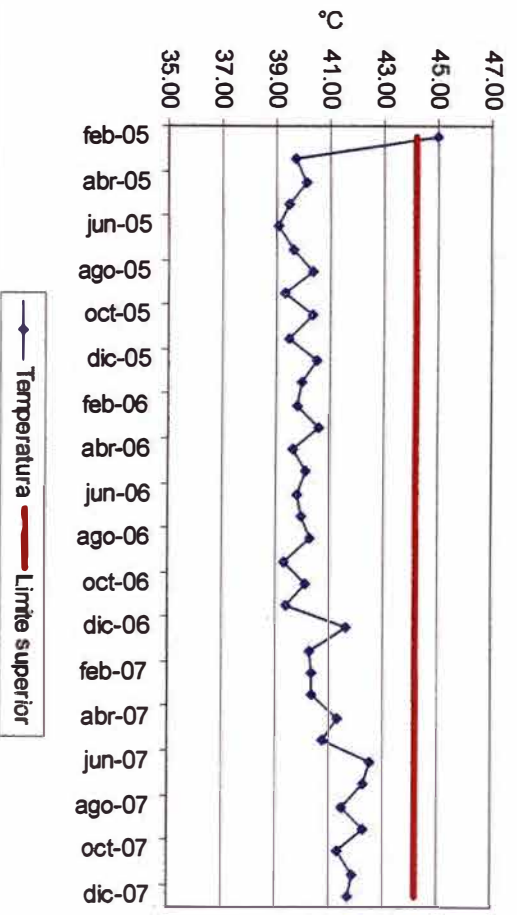
Envolvente 5: Motor de envejecimiento 16A1



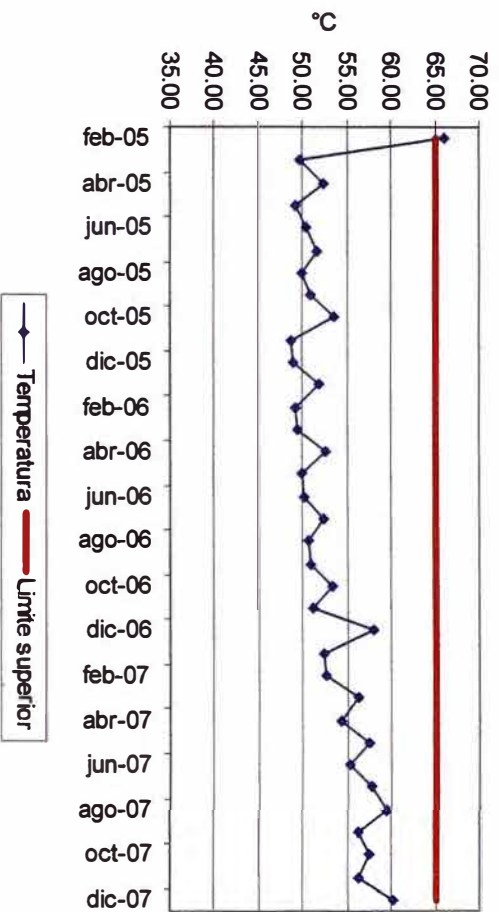
Envolvente 6: Motor de envejecimiento 16A1



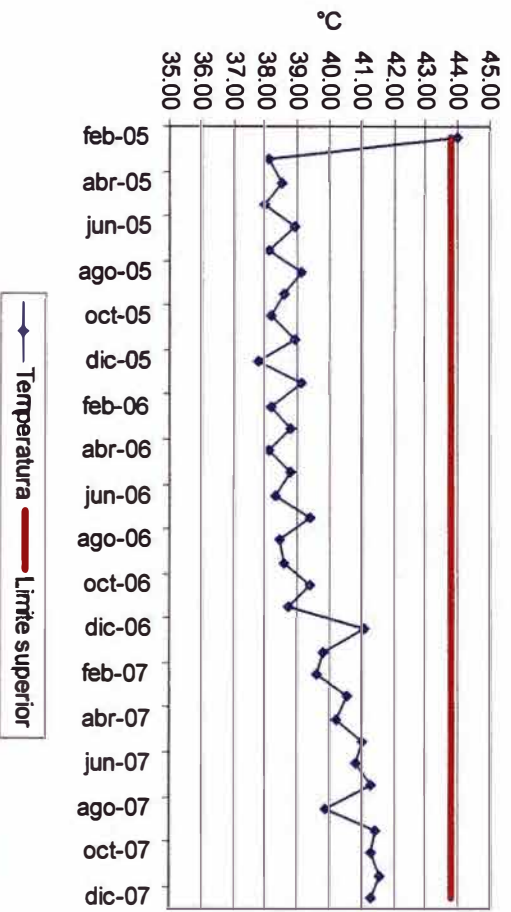
Temperatura 1: Motor de envejecimiento 16A1



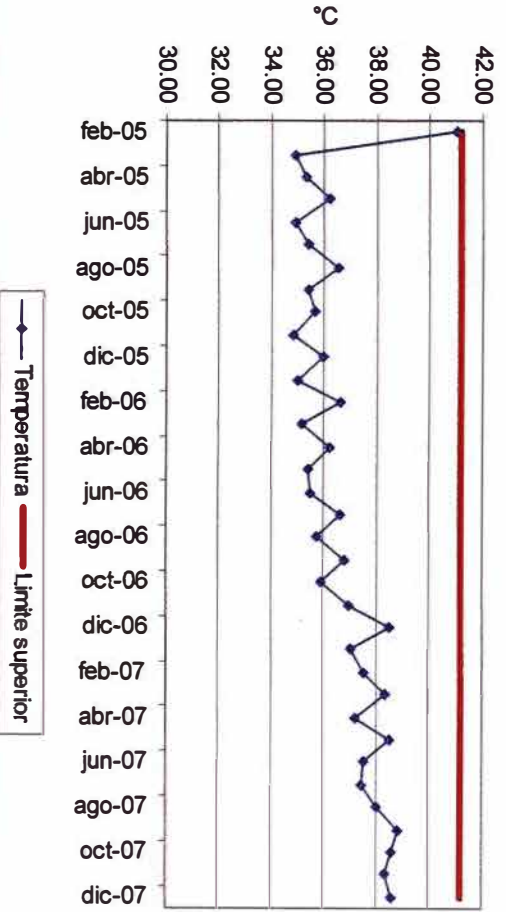
Temperatura 2: Motor de envejecimiento 16A1

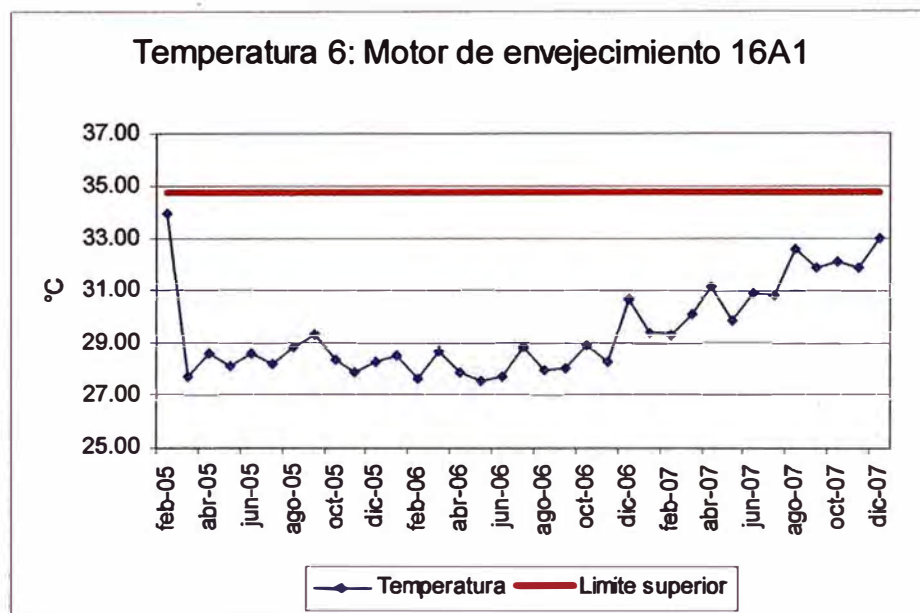
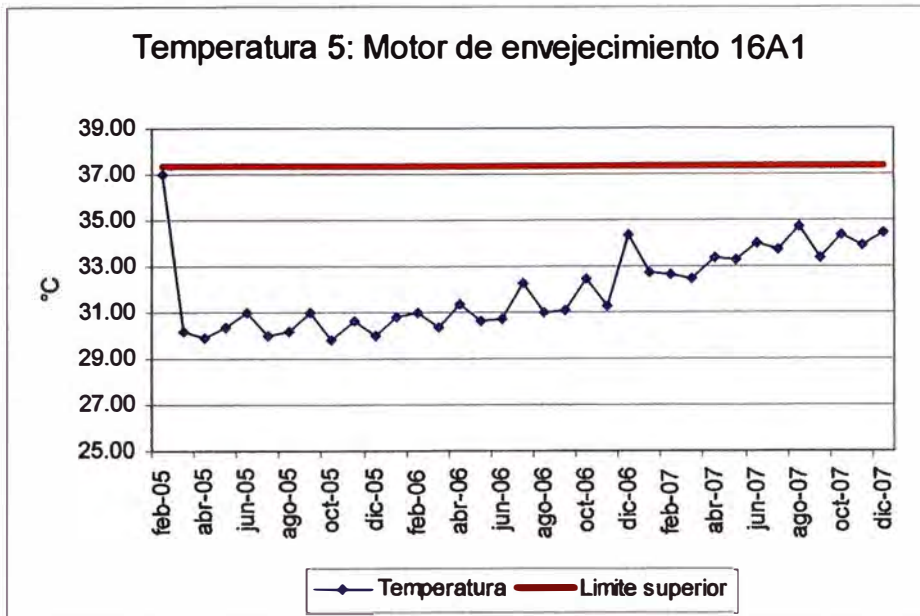


Temperatura 3: Motor de envejecimiento 16A1



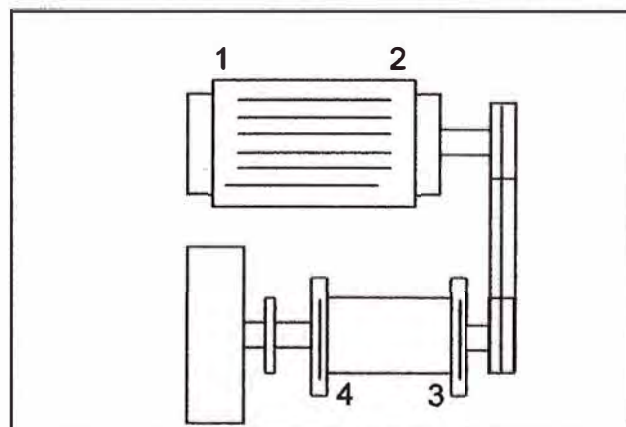
Temperatura 4: Motor de envejecimiento 16A1

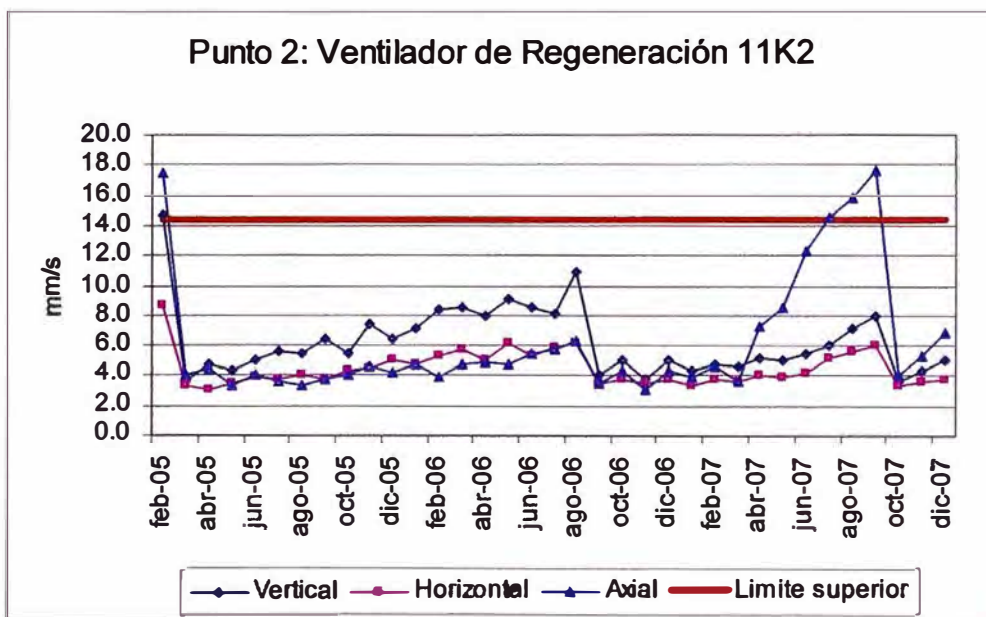
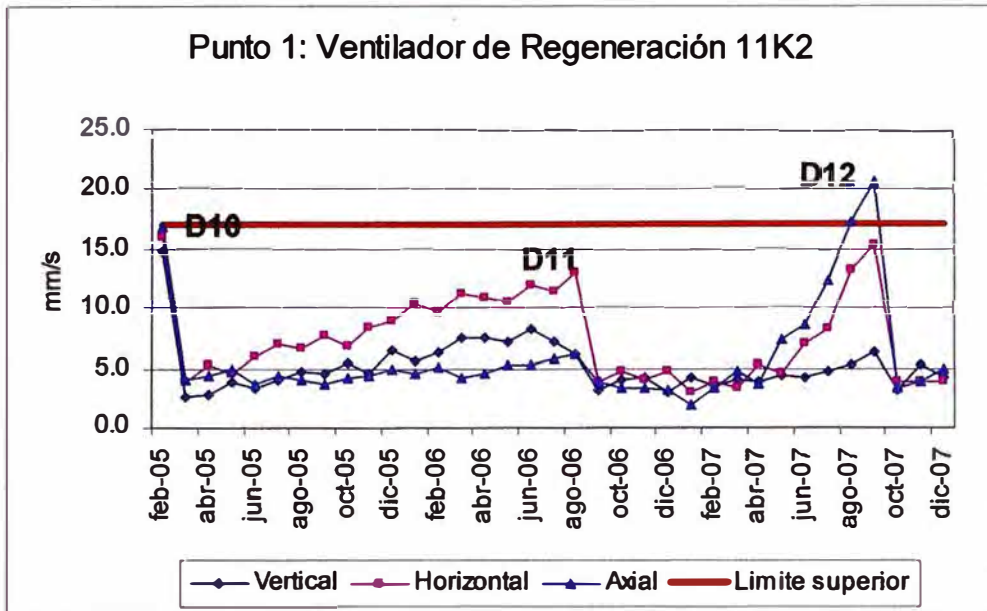


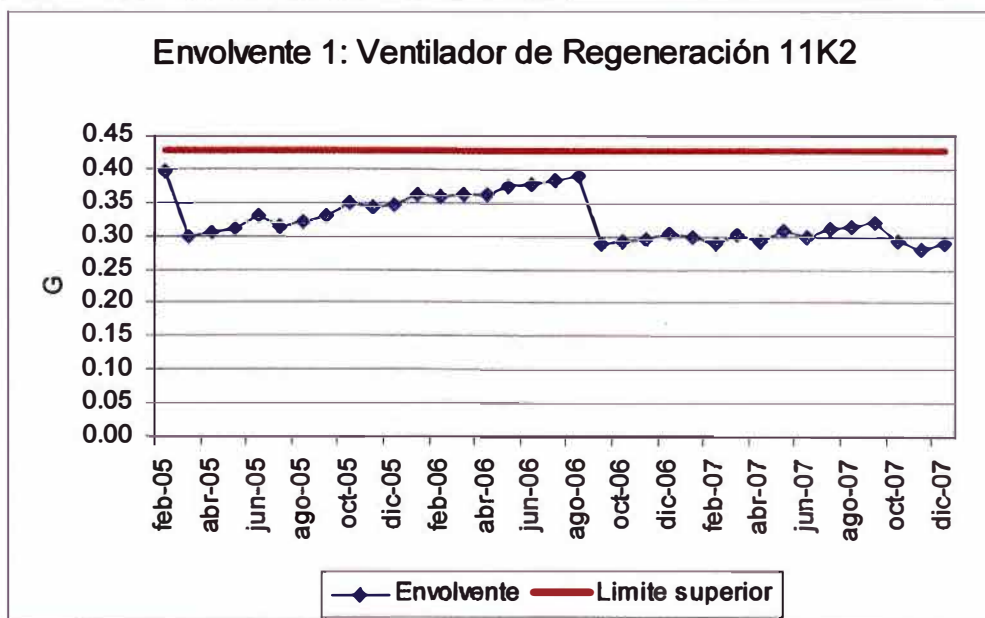
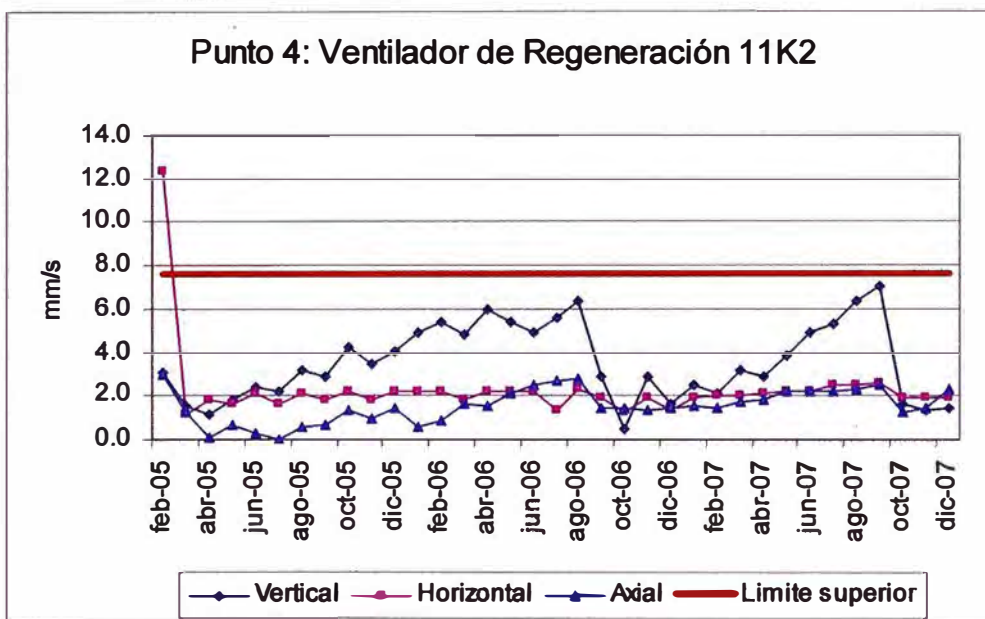
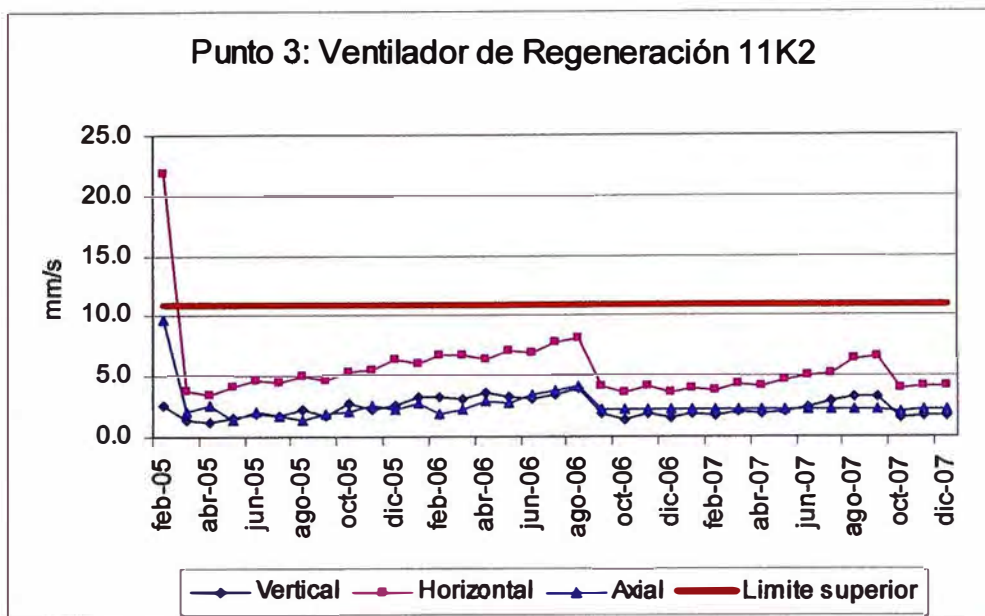


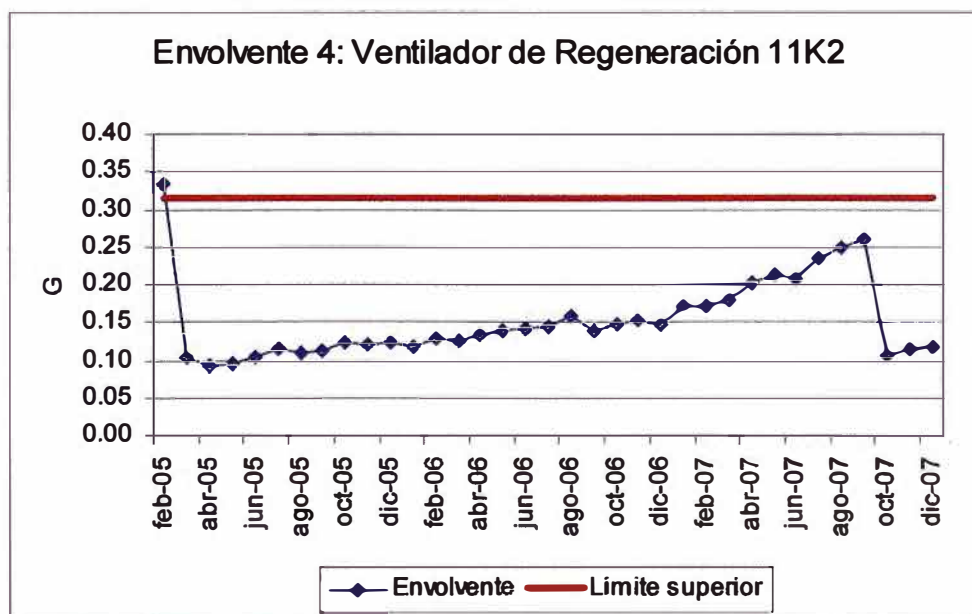
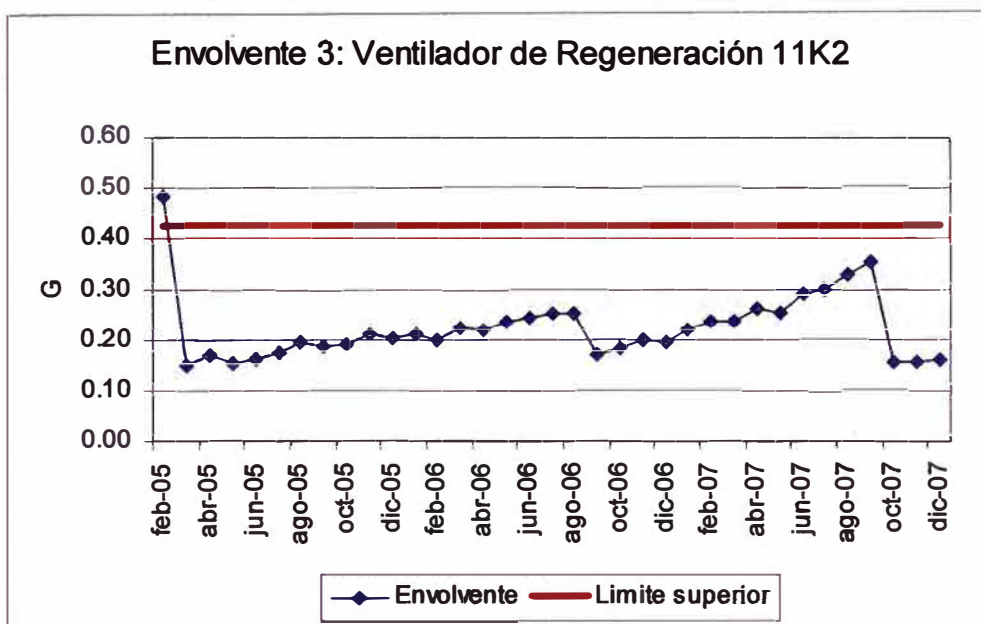
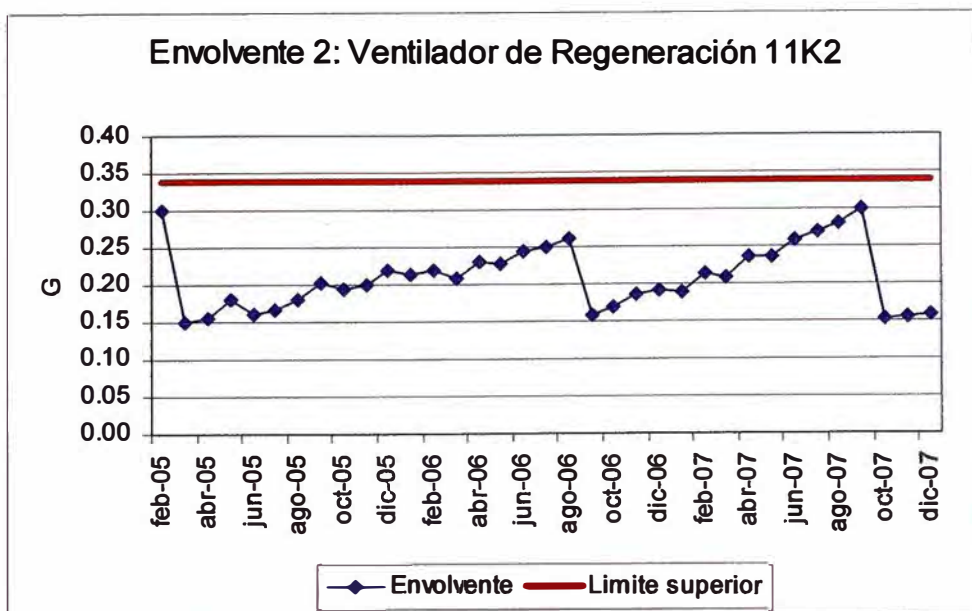
3.2.5 Equipo 5045: Ventilador de regeneración 11K2

Diagnóstico N°	Fecha
D10	Feb-05
D11	Ago-06
D12	Set-07

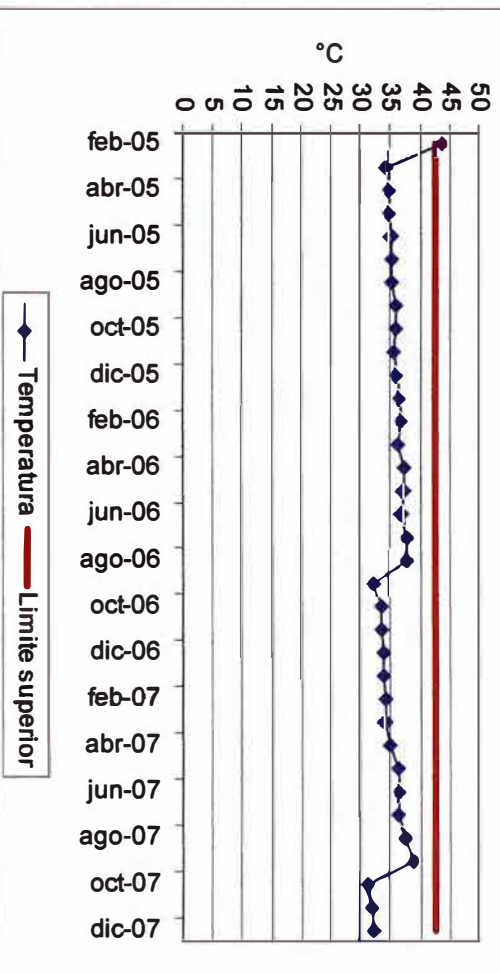




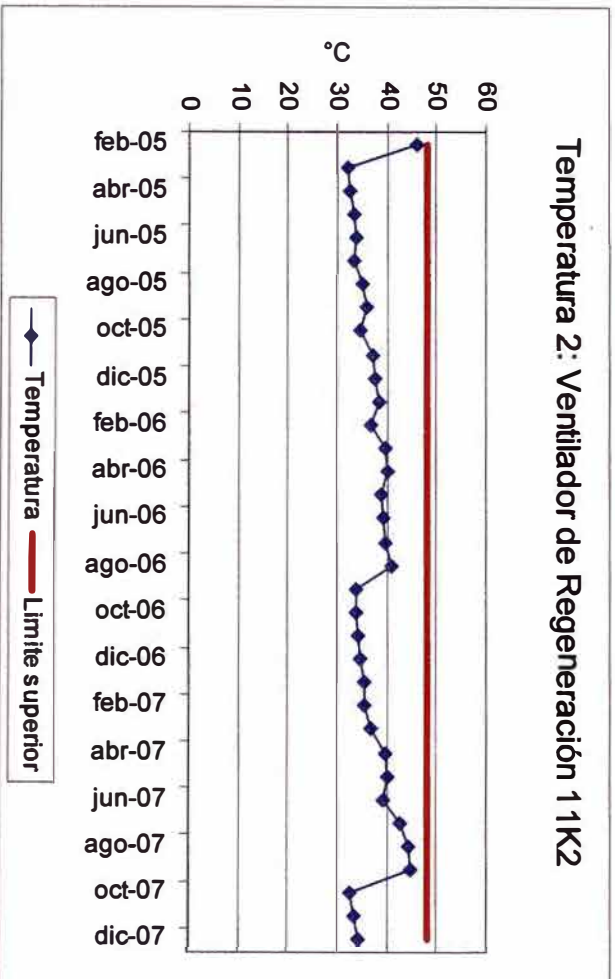




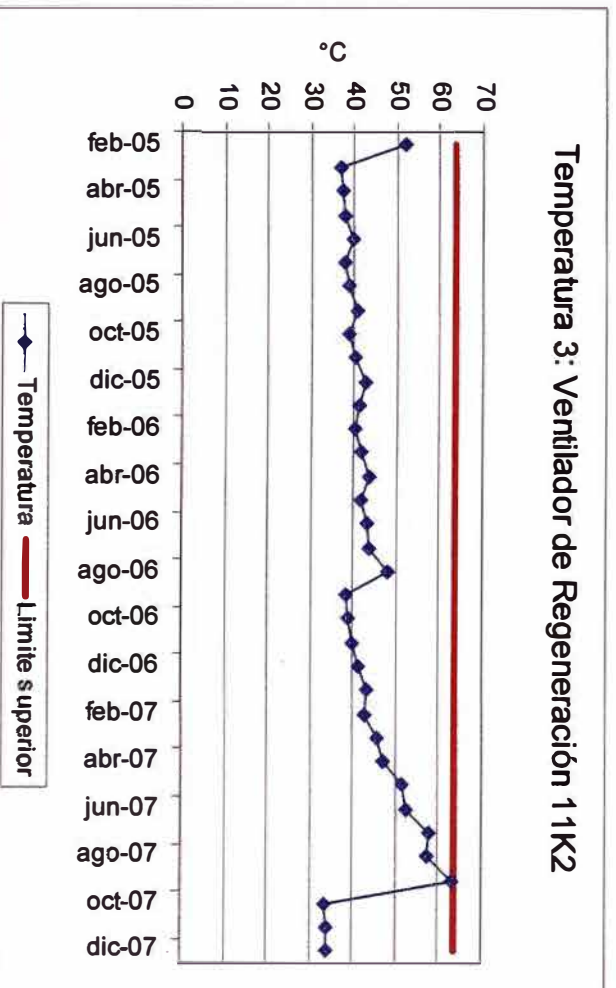
Temperatura 1: Ventilador de Regeneración 11K2

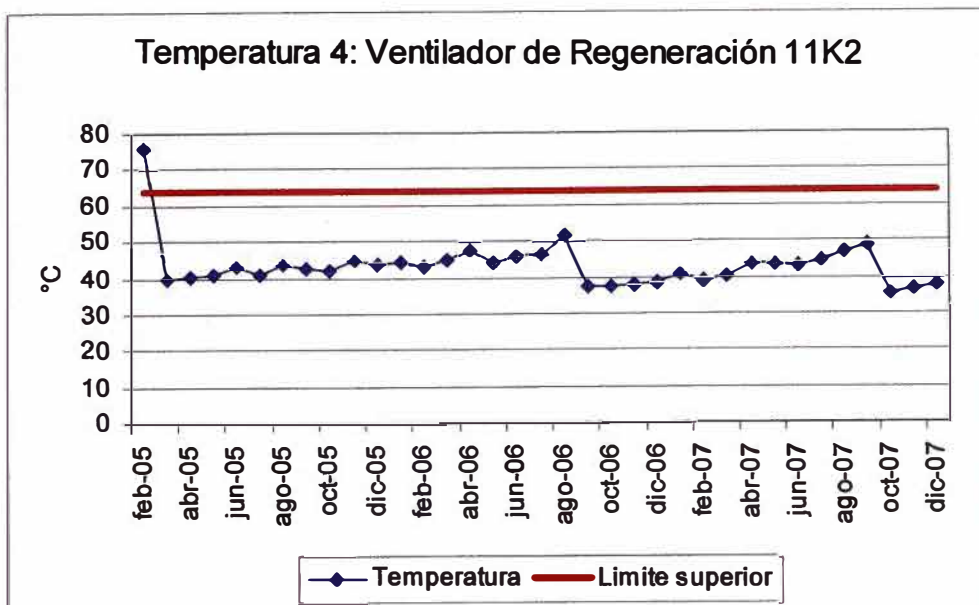


Temperatura 2: Ventilador de Regeneración 11K2



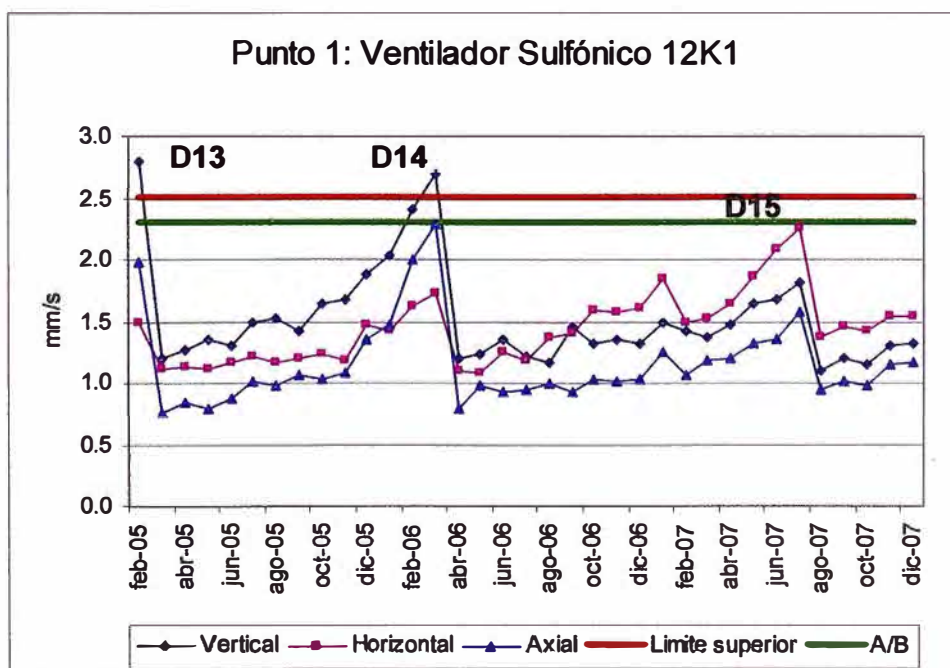
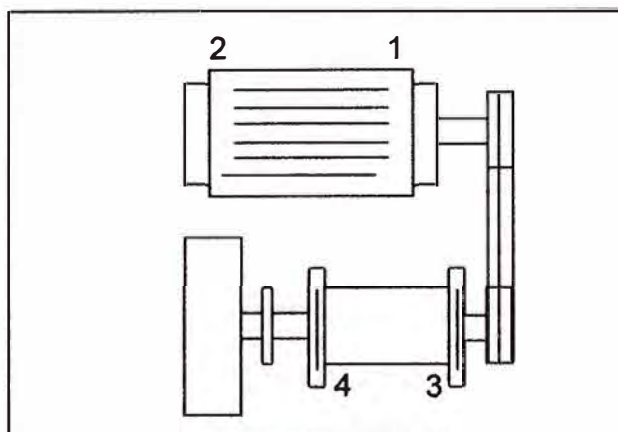
Temperatura 3: Ventilador de Regeneración 11K2

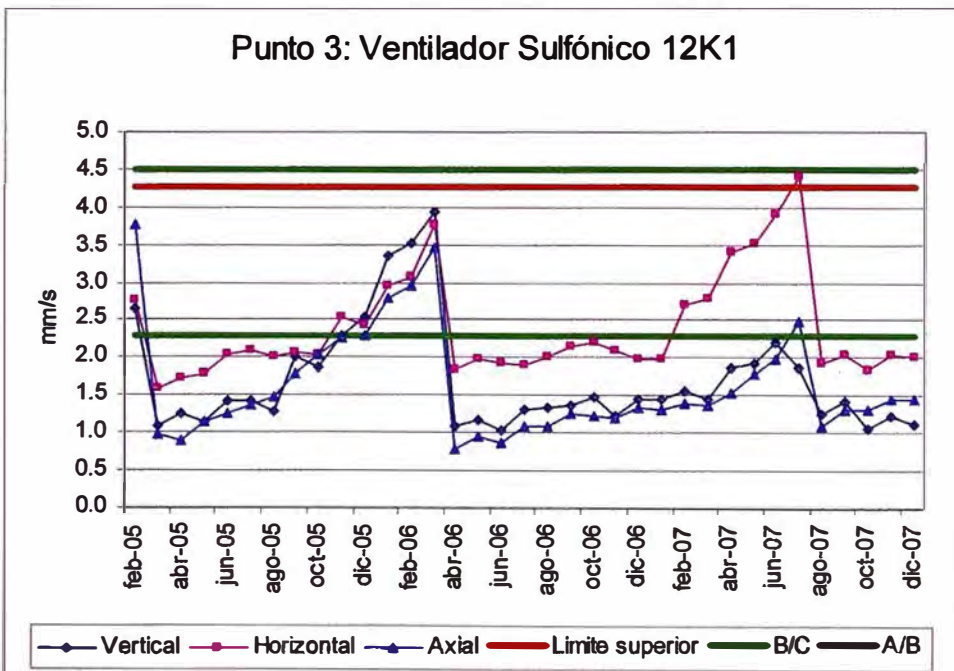
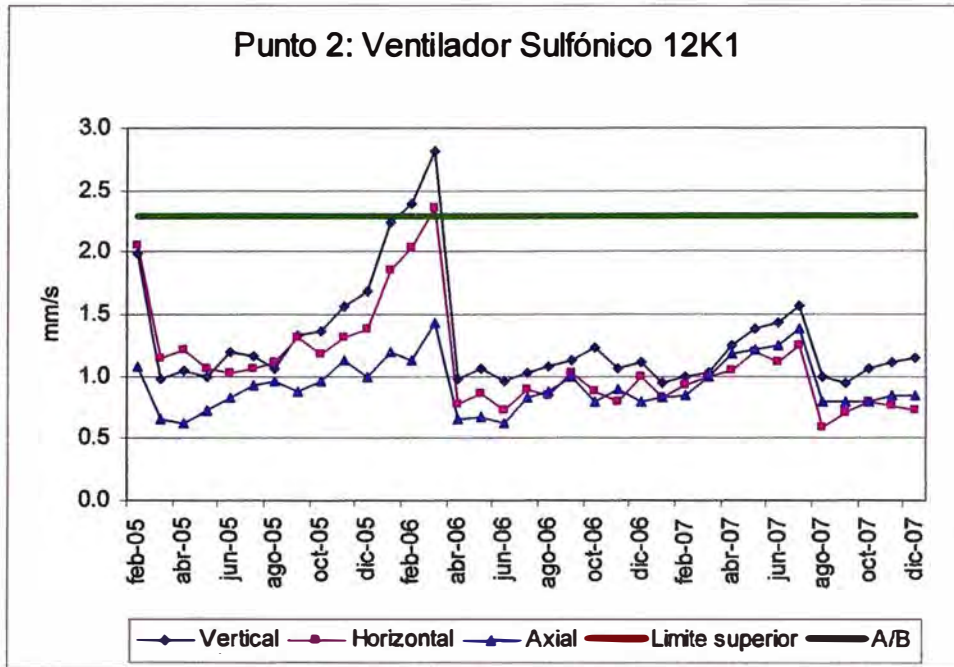




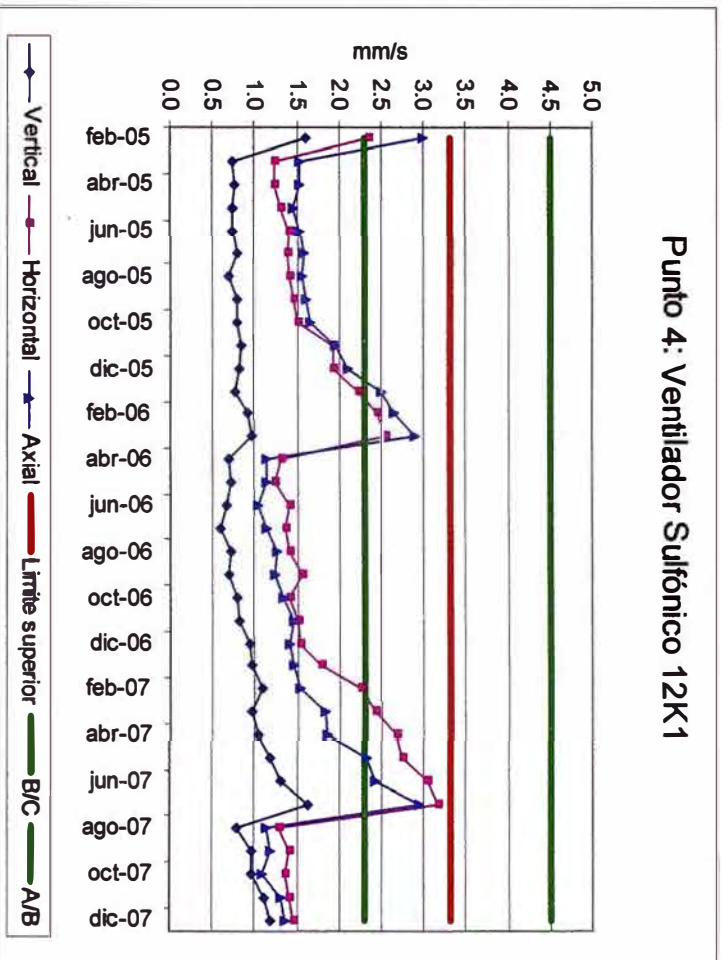
3.2.6 Equipo 5046: Ventilador del Convertidor 12K1

Diagnóstico N°	Fecha
D13	Feb-05
D14	Mar-06
D15	Jul-07

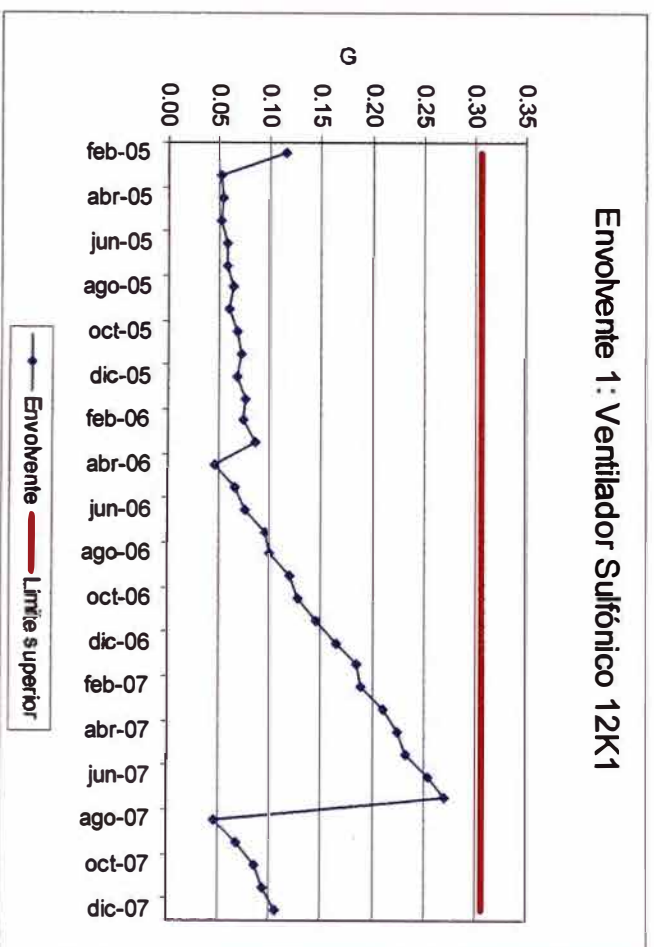


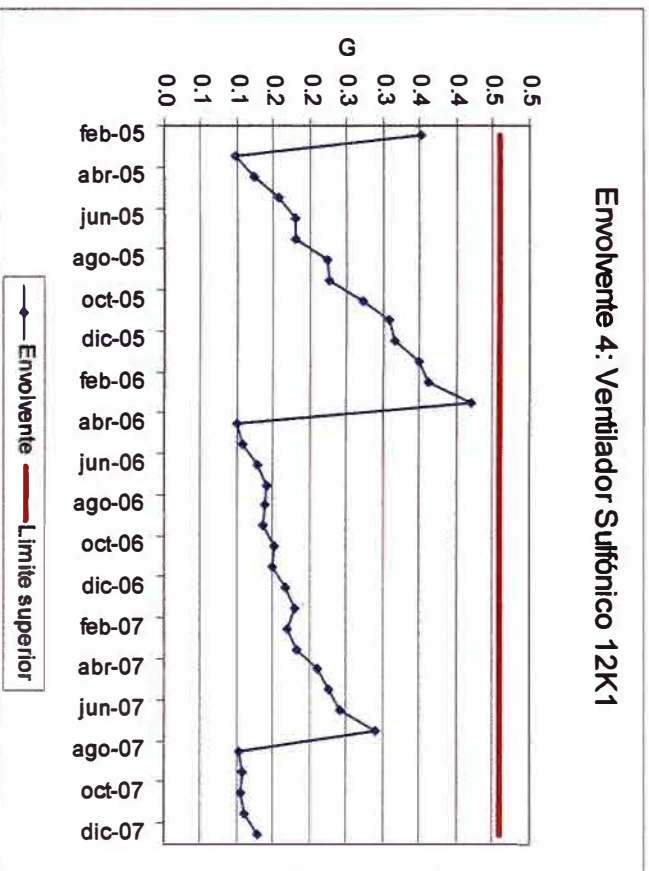
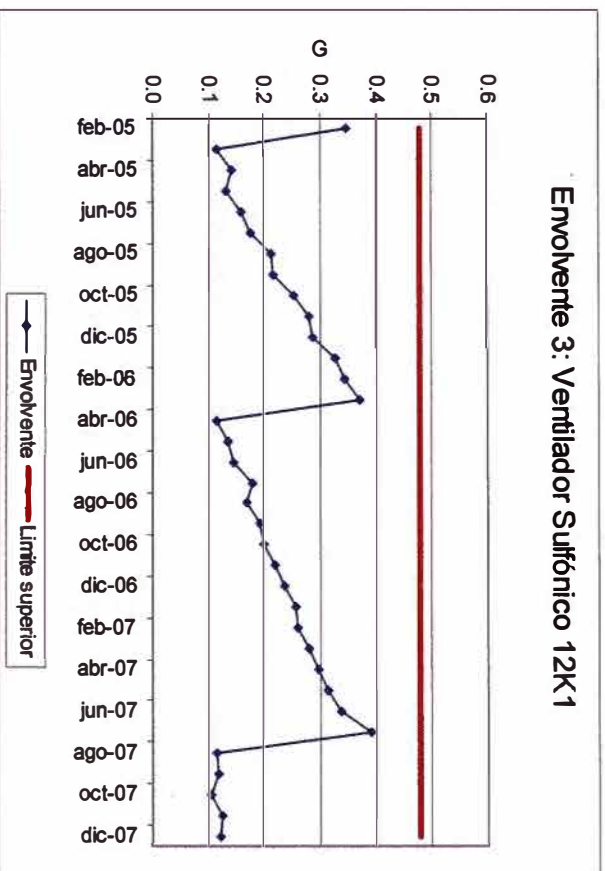
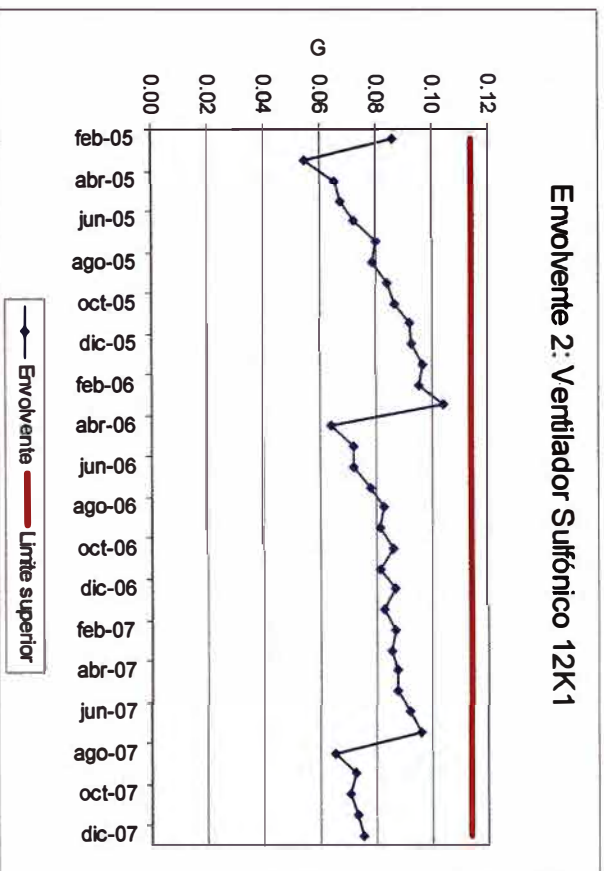


Punto 4: Ventilador Sulfónico 12K1

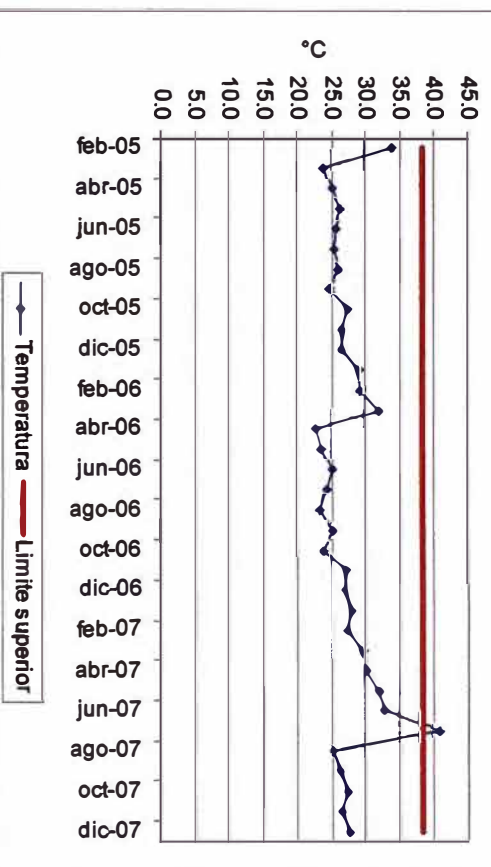


Envolvente 1: Ventilador Sulfónico 12K1

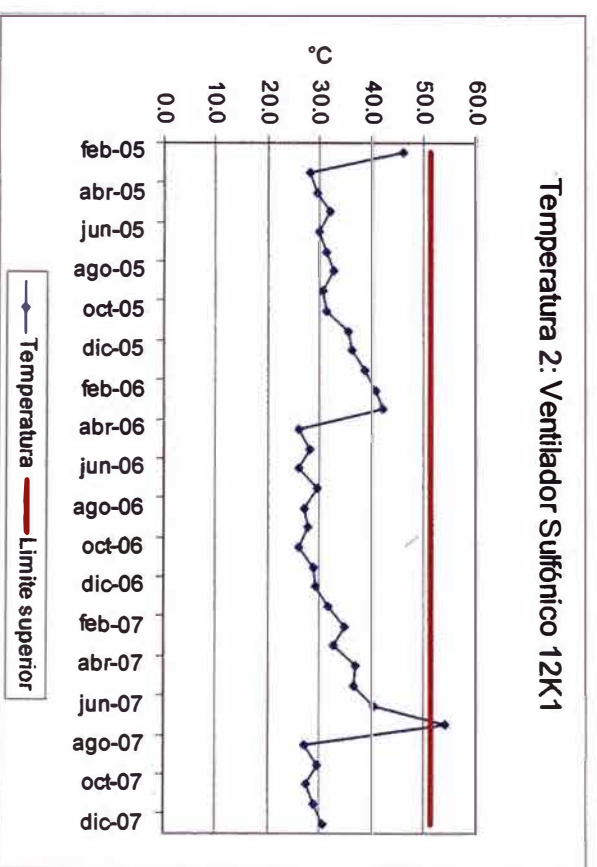




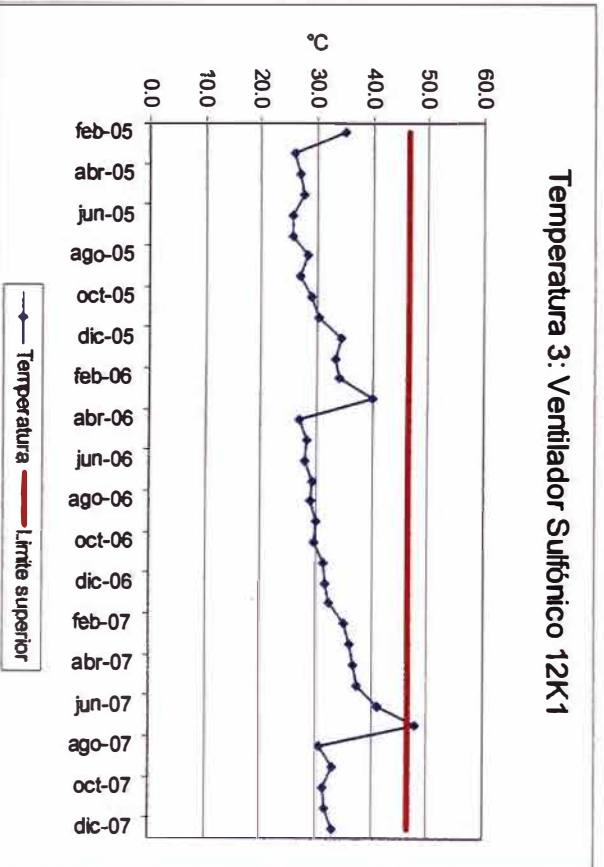
Temperatura 1: Ventilador Suffónico 12K1

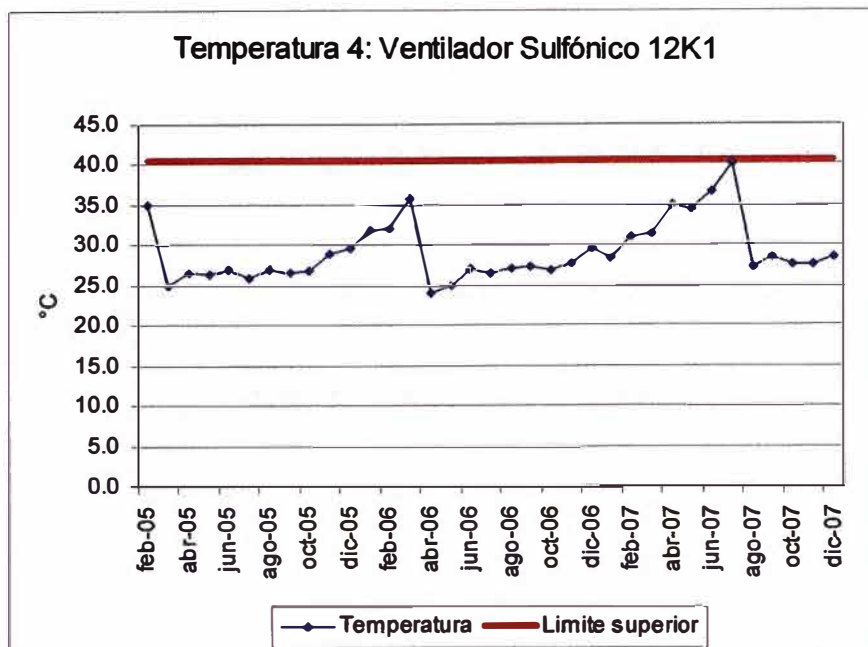


Temperatura 2: Ventilador Suffónico 12K1



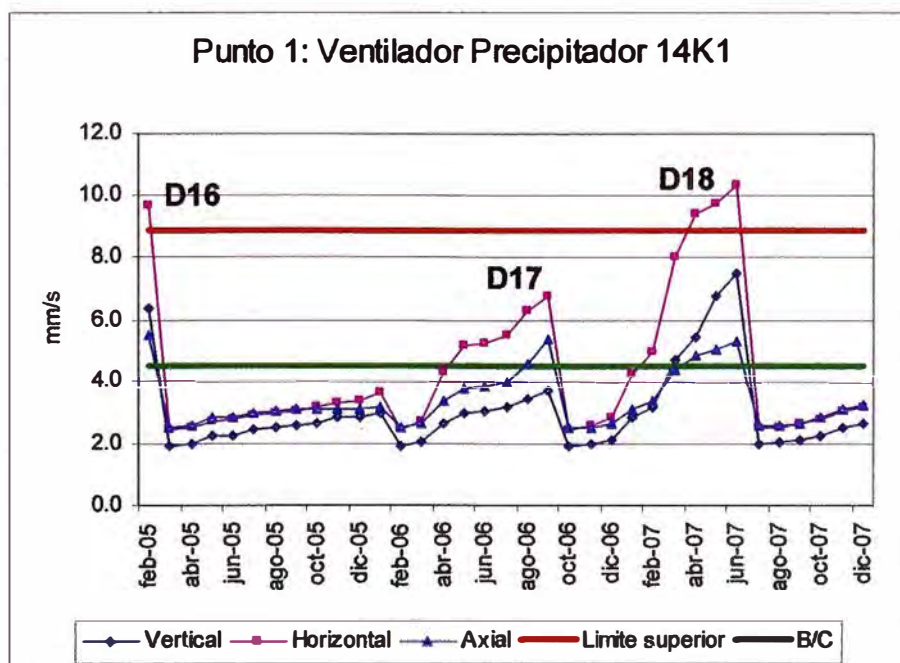
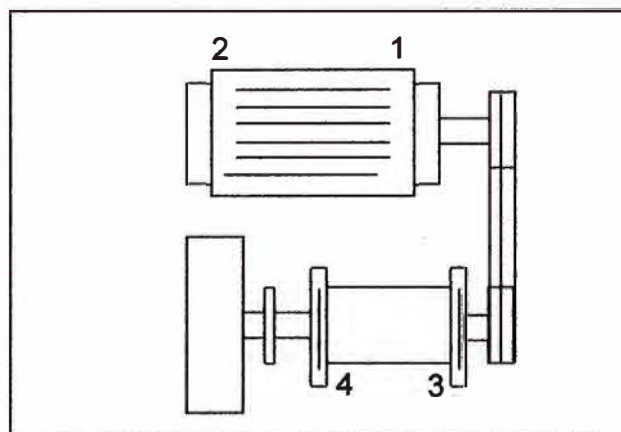
Temperatura 3: Ventilador Suffónico 12K1

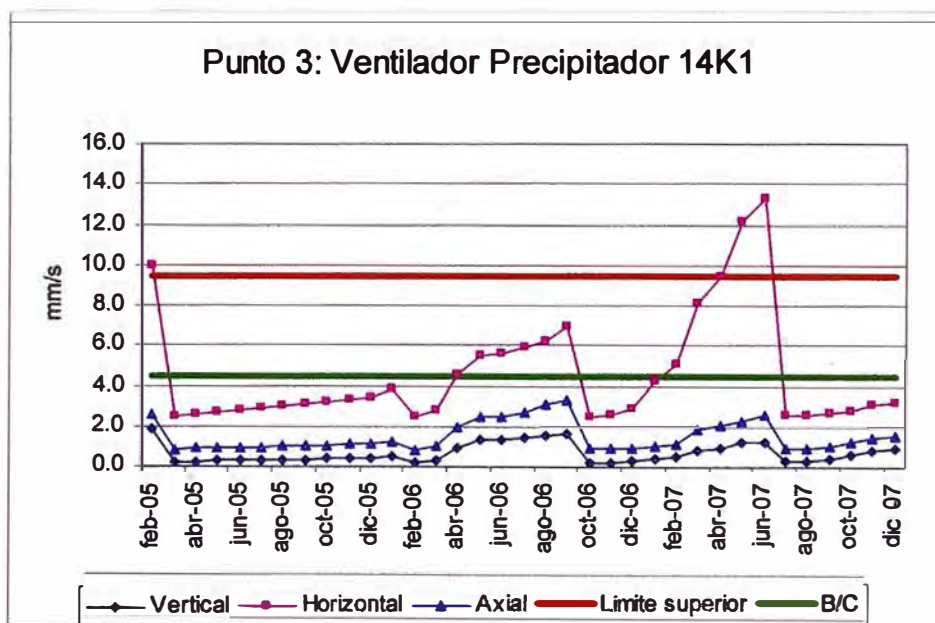
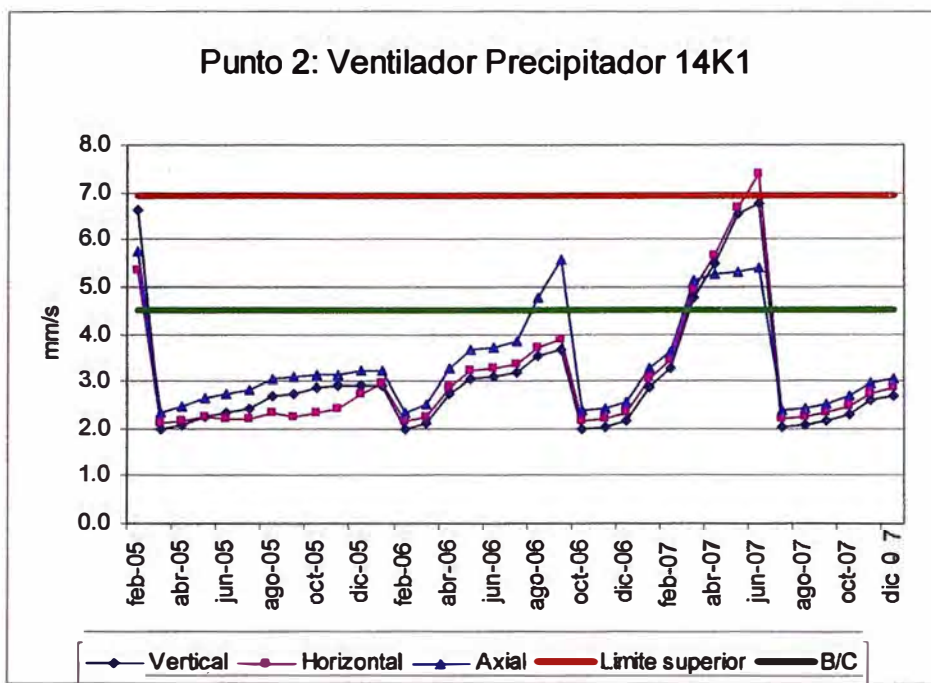


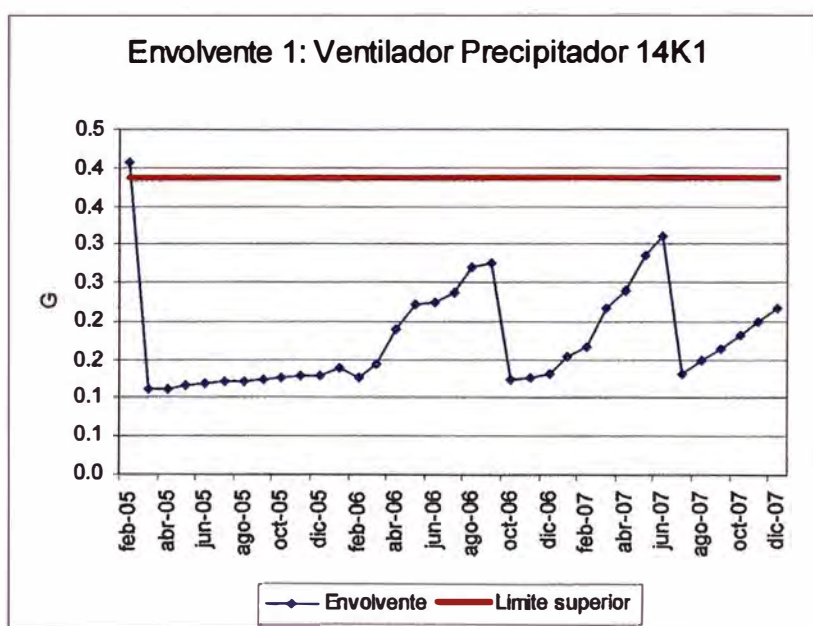
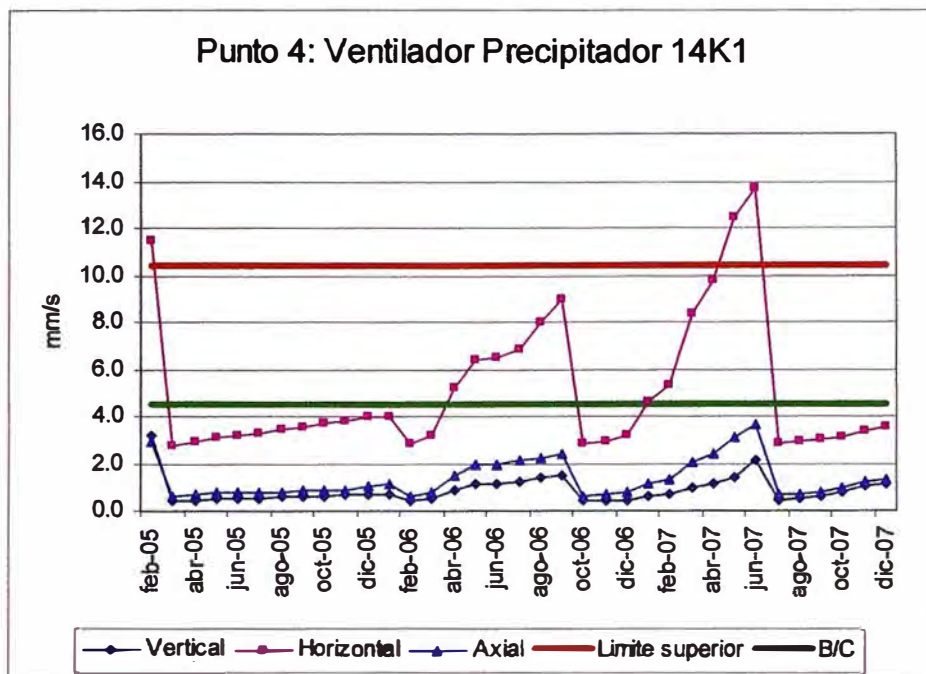


3.2.7 Equipo 5047: Ventilador Precipitador 14K1

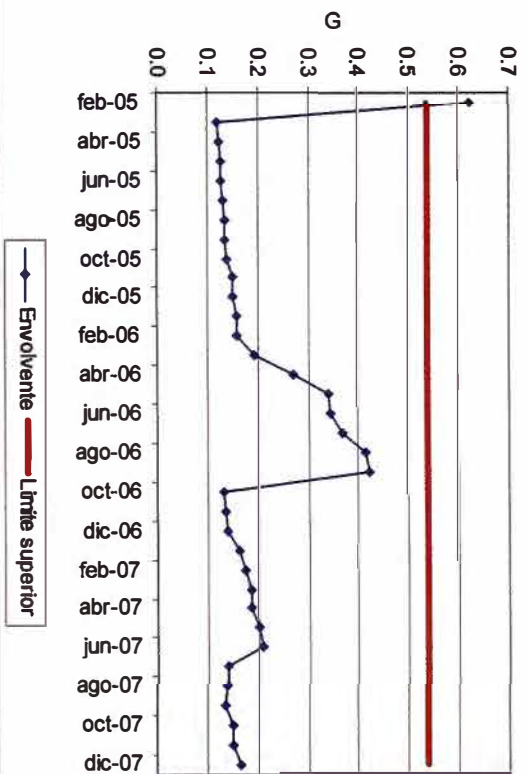
Diagnóstico N°	Fecha
D16	Feb-05
D17	Set-06
D18	Jun-07



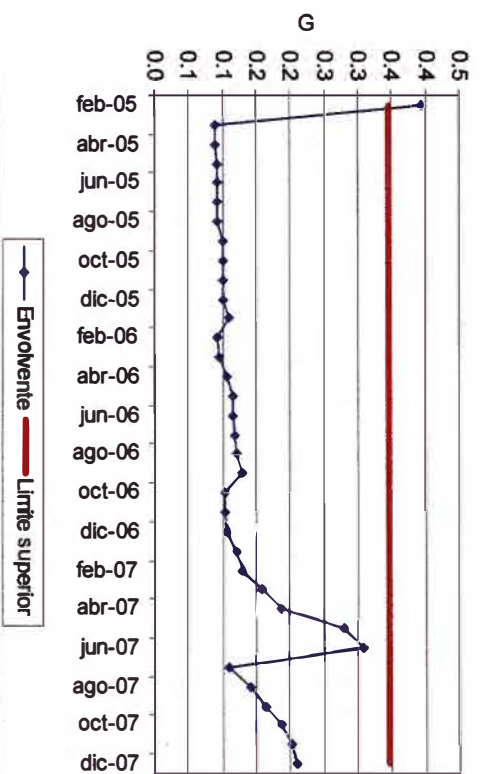




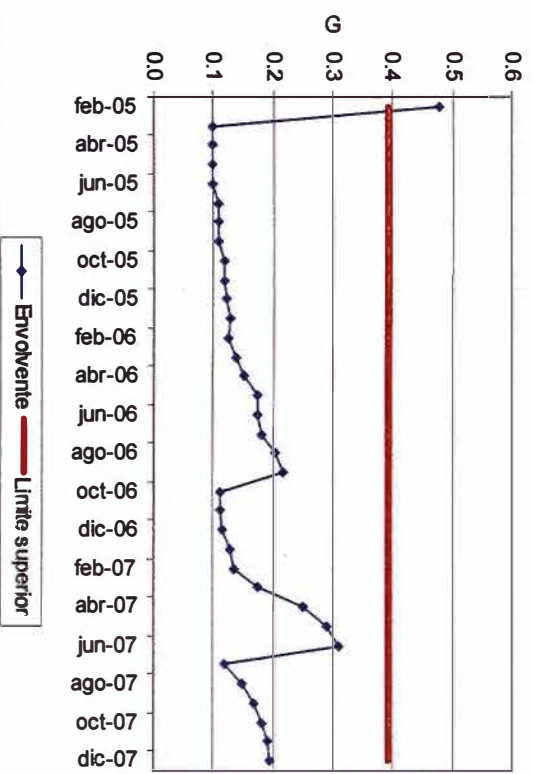
Envolvente 2: Ventilador Precipitador 14K1



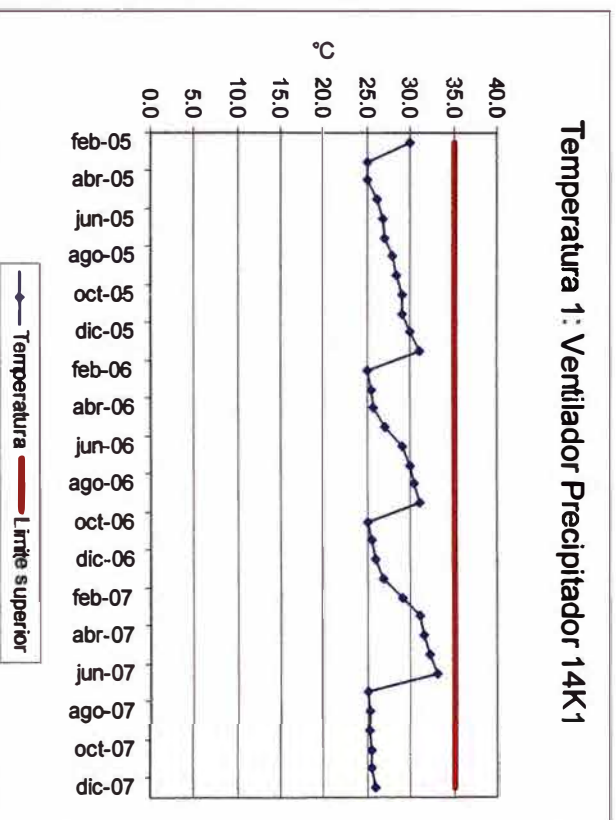
Envolverte 3: Ventilador Precipitador 14K1



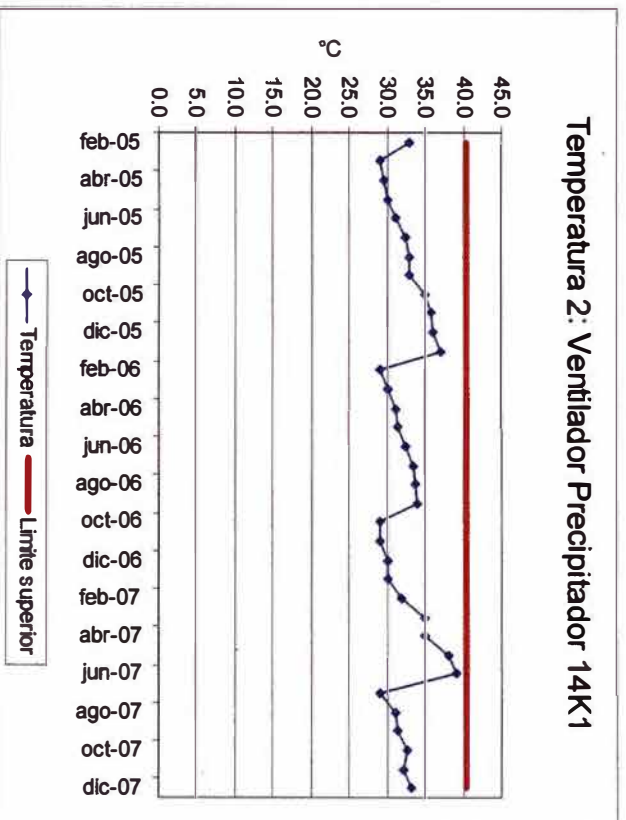
Envolverte 4: Ventilador Precipitador 14K1



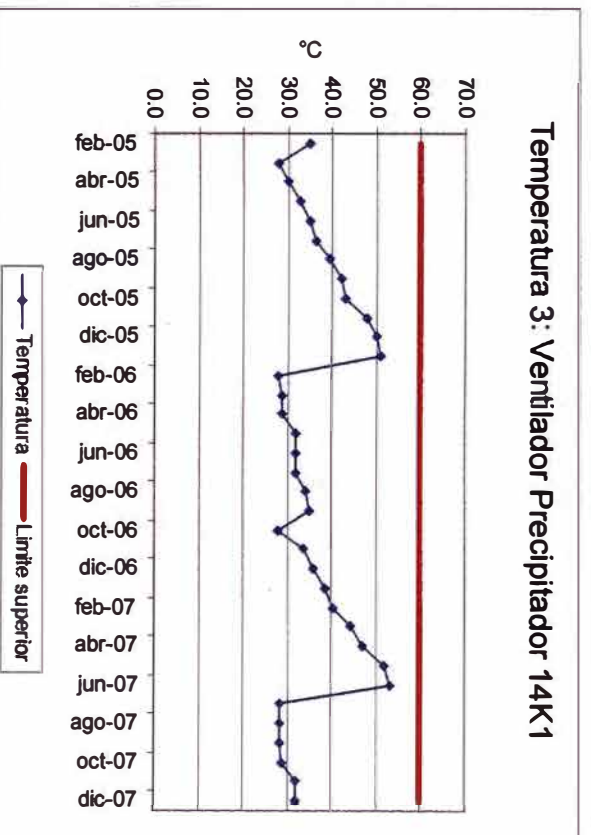
Temperatura 1: Ventilador Precipitador 14K1

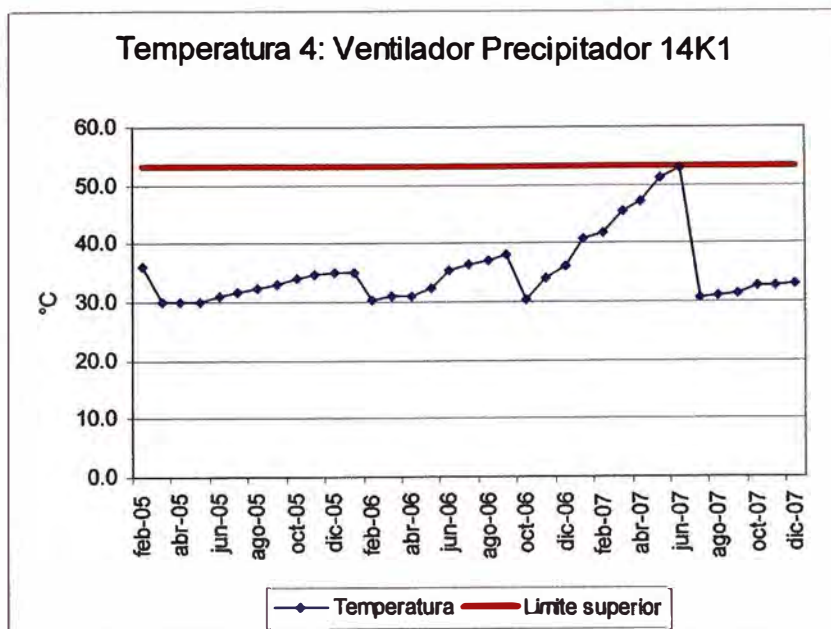


Temperatura 2: Ventilador Precipitador 14K1



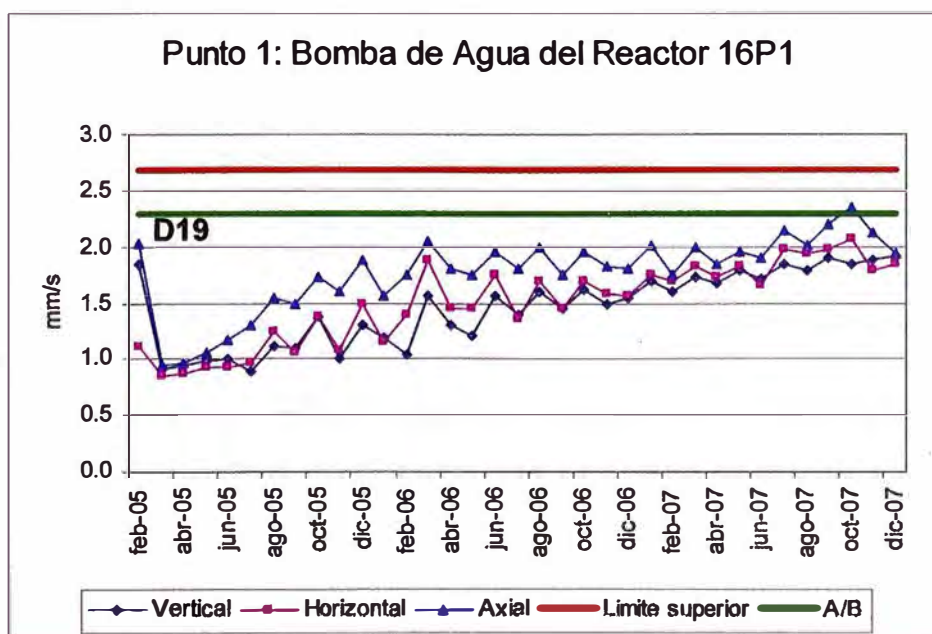
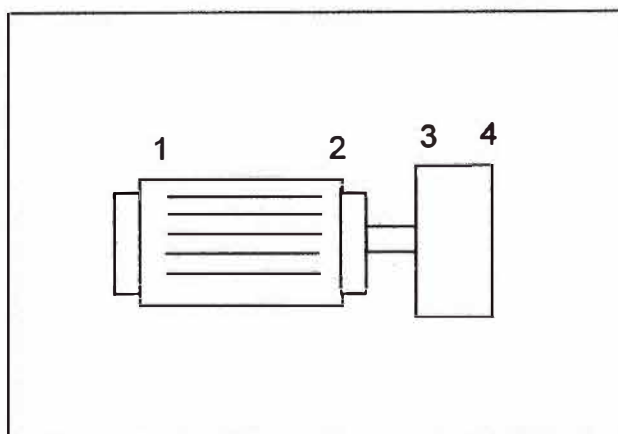
Temperatura 3: Ventilador Precipitador 14K1

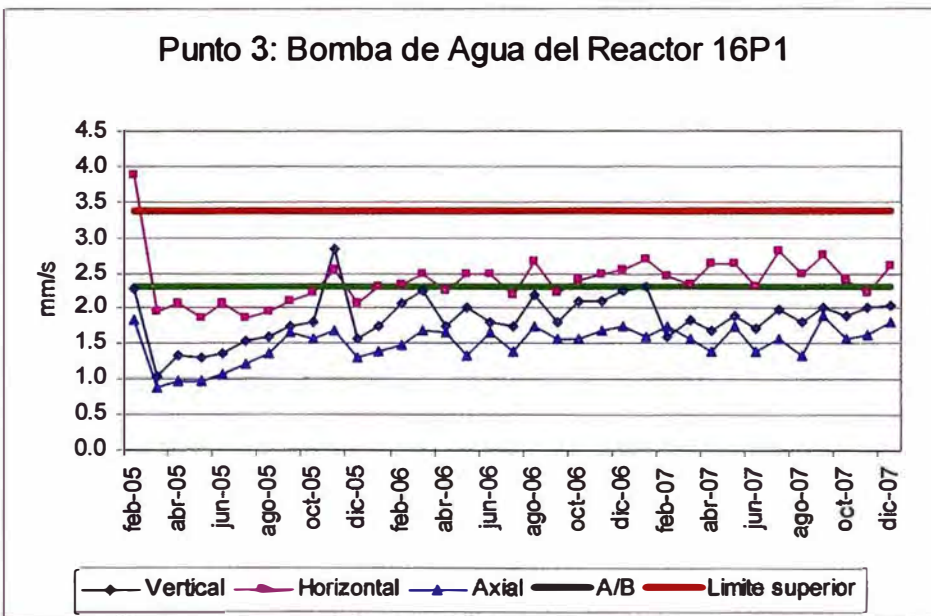
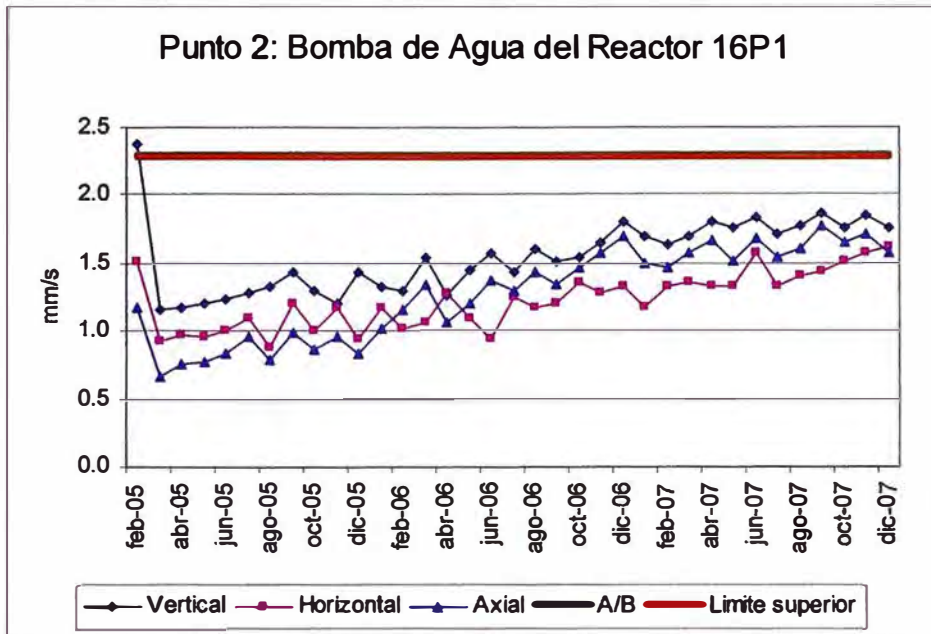




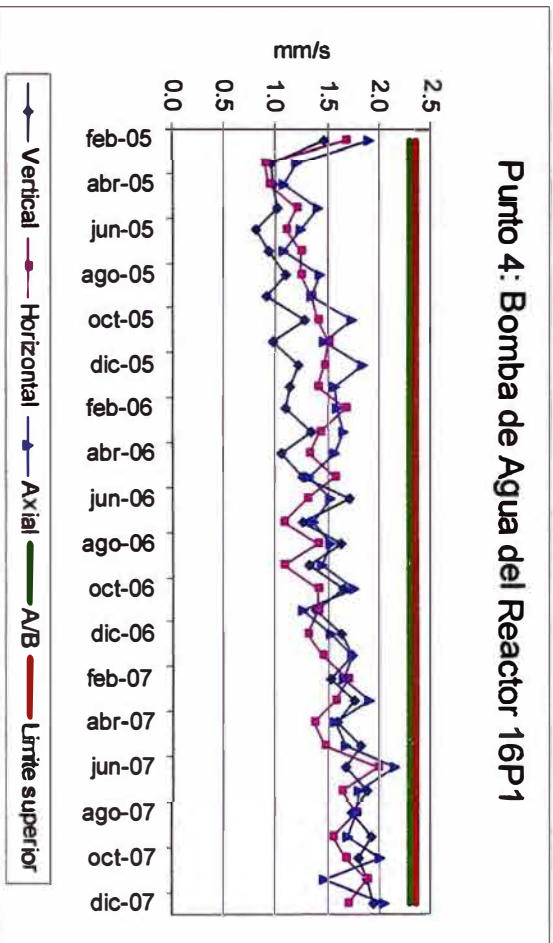
3.2.8 Equipo 5048-5049: Bomba de agua del Reactor 16P1

Diagnóstico N°	Fecha
D19	Feb-05

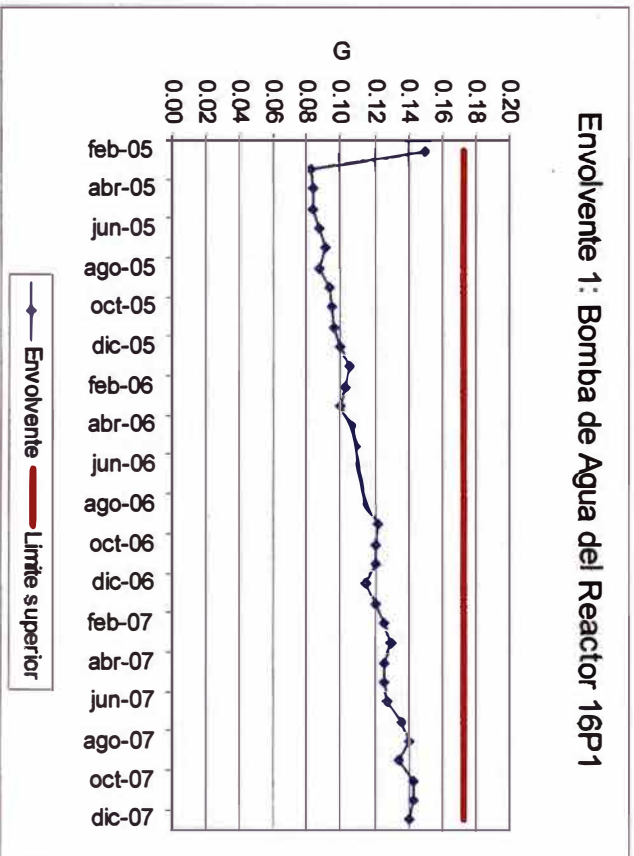




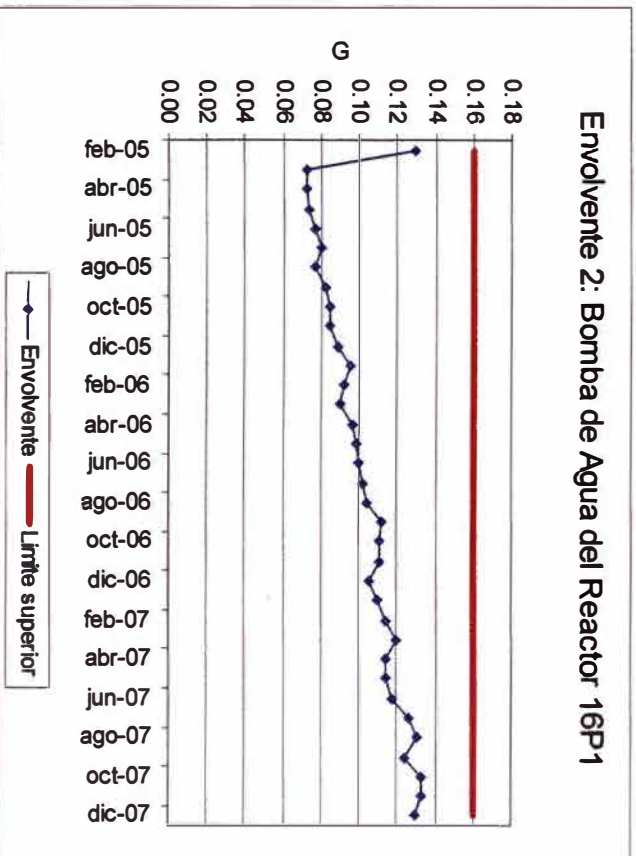
Punto 4: Bomba de Agua del Reactor 16P1



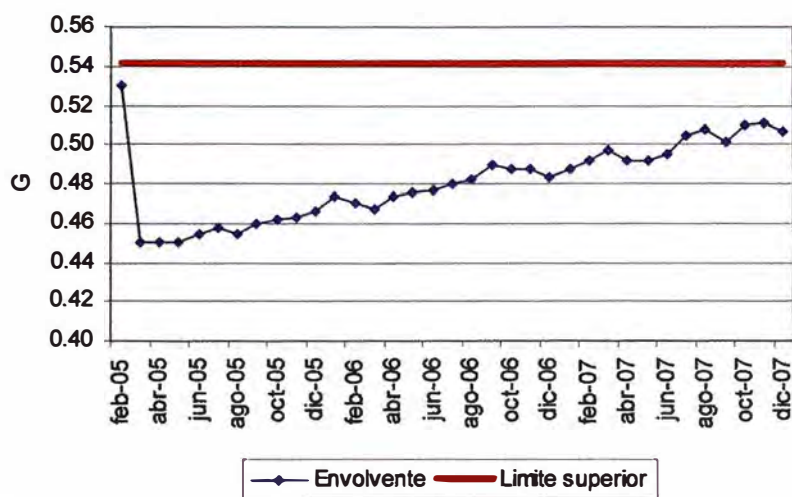
Envolvente 1: Bomba de Agua del Reactor 16P1



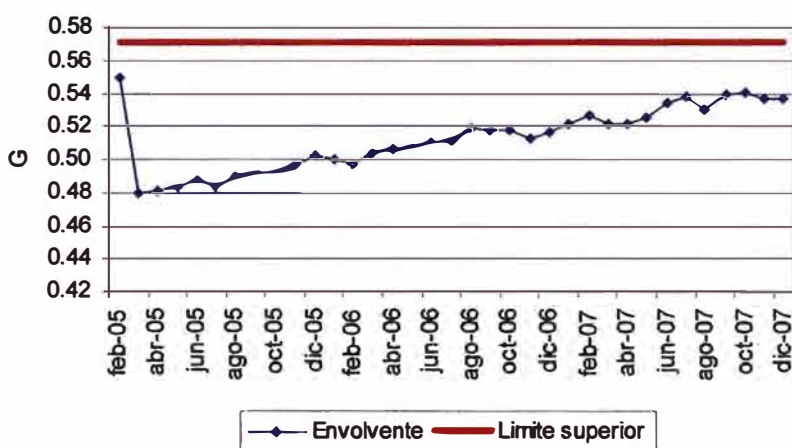
Envolvente 2: Bomba de Agua del Reactor 16P1



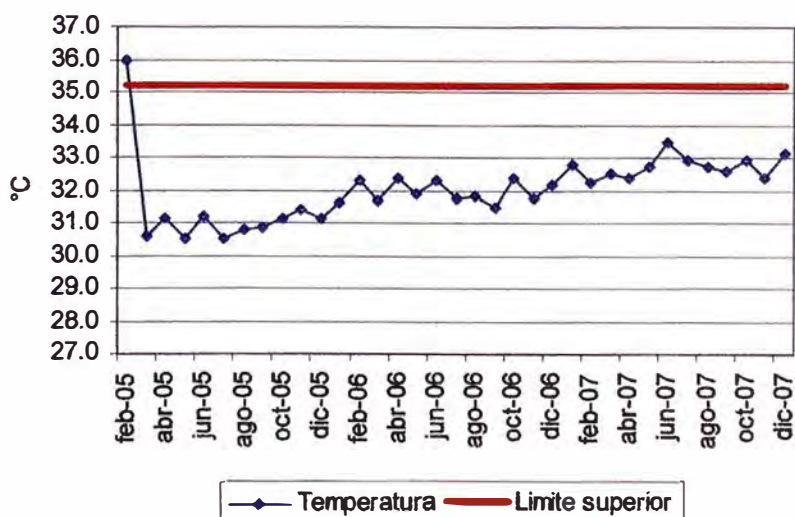
Envolvente 3: Bomba de Agua del Reactor 16P1



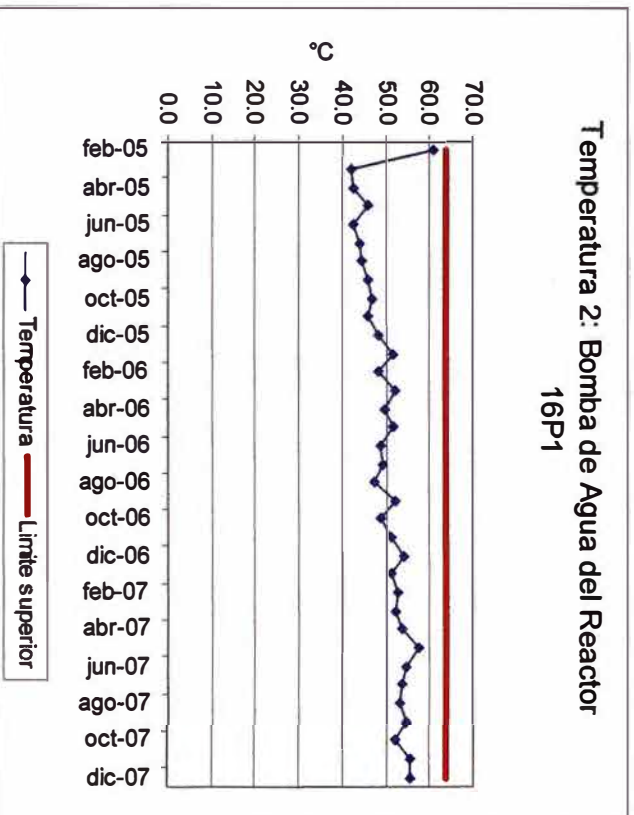
Envolvente 4: Bomba de Agua del Reactor 16P1



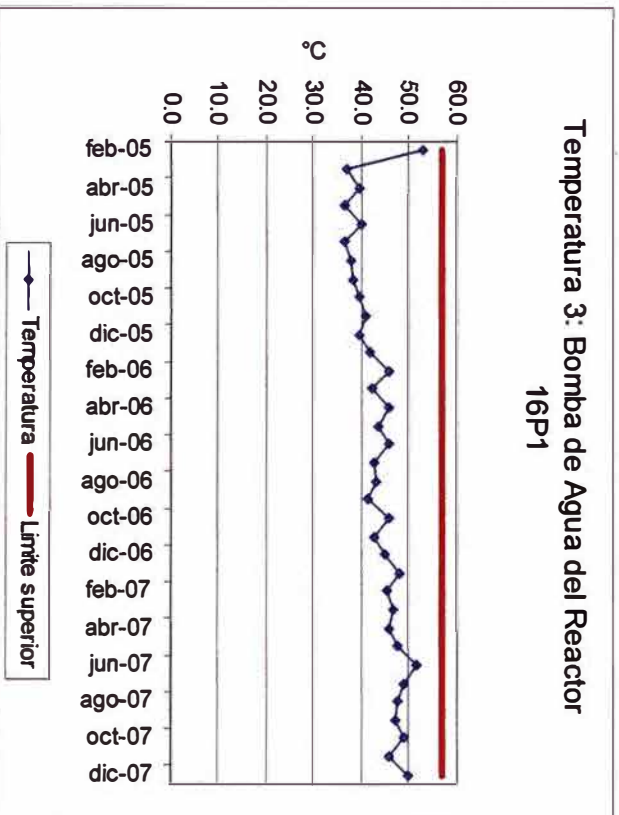
Temperatura 1: Bomba de Agua del Reactor 16P1



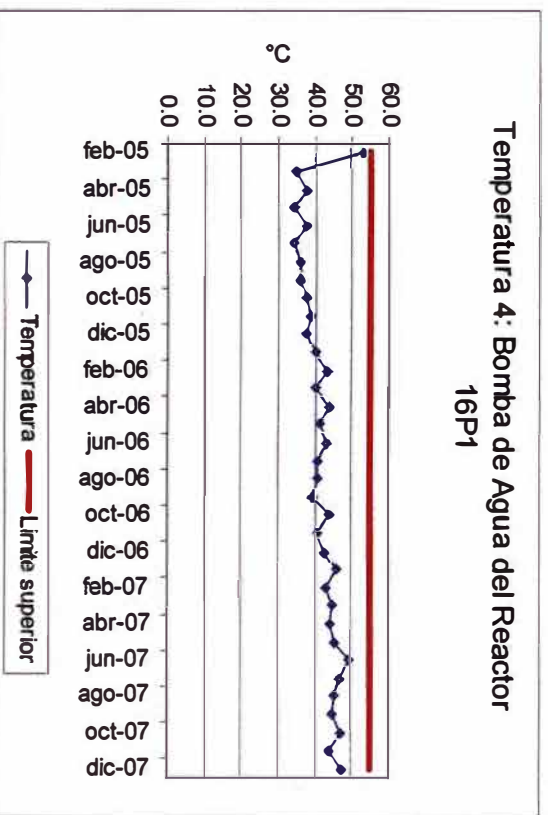
Temperatura 2: Bomba de Agua del Reactor
16P1



Temperatura 3: Bomba de Agua del Reactor
16P1

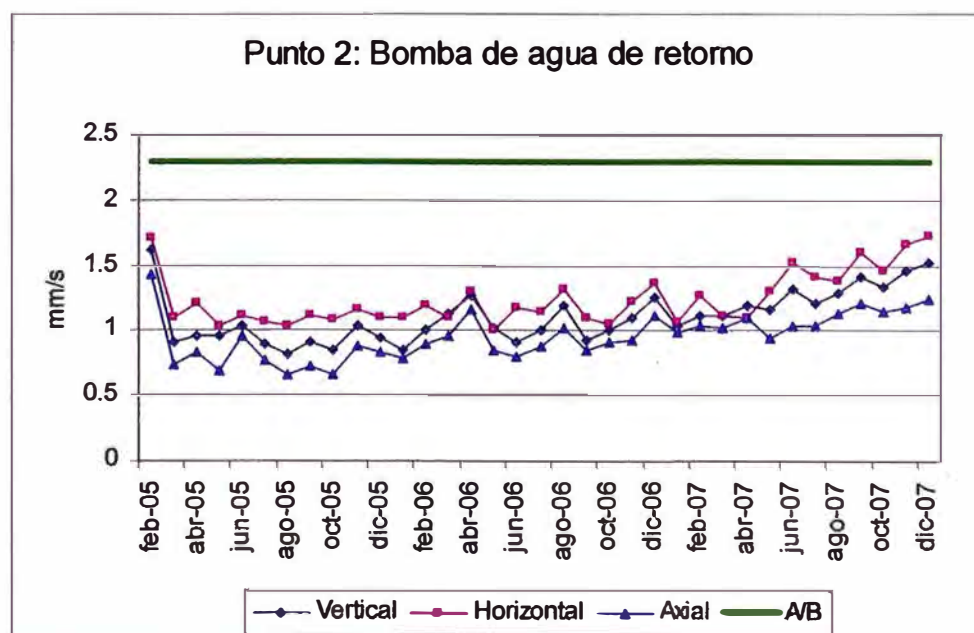
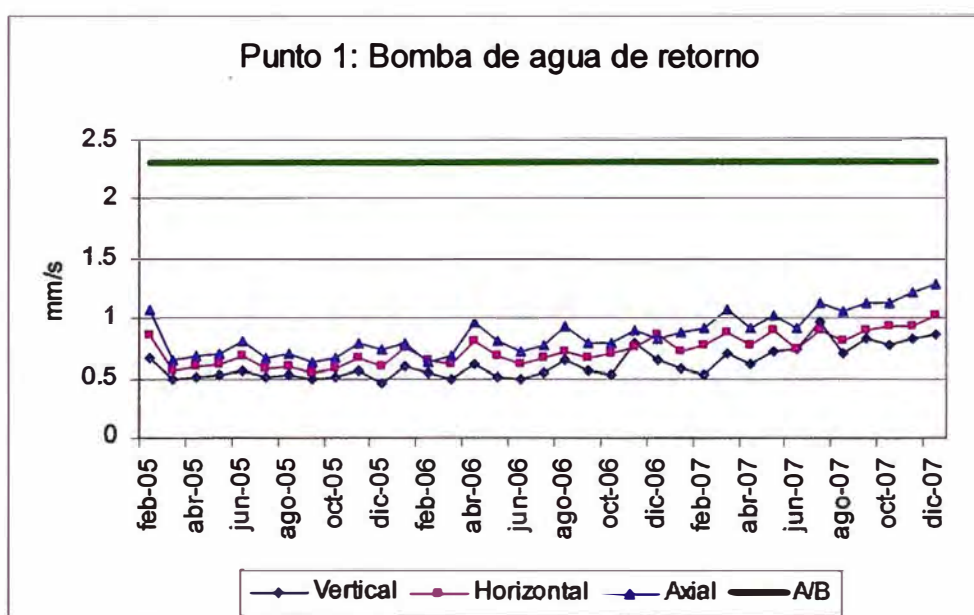
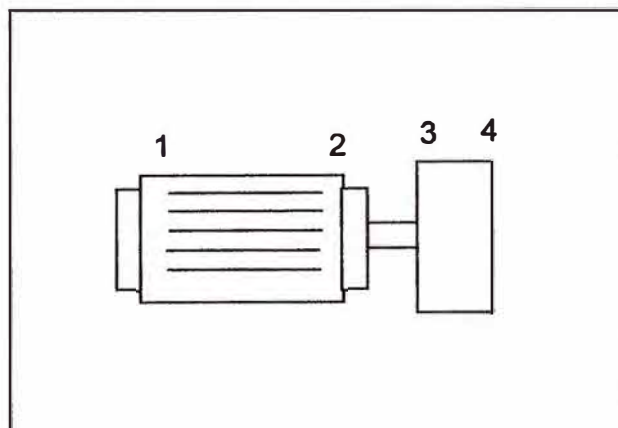


Temperatura 4: Bomba de Agua del Reactor
16P1

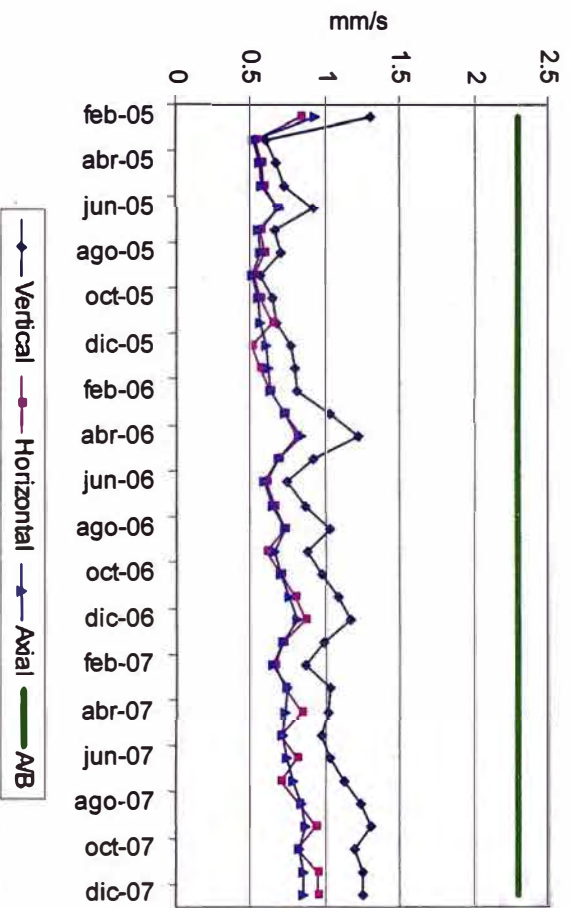


3.2.9 Equipo 5050-5051: Bomba de agua de retorno

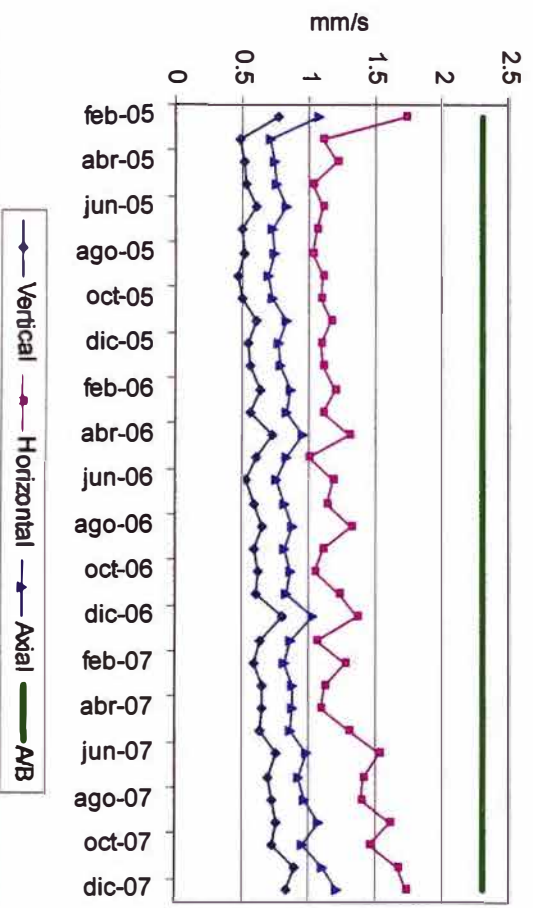
Diagnóstico N°	Fecha
D20	Feb-05

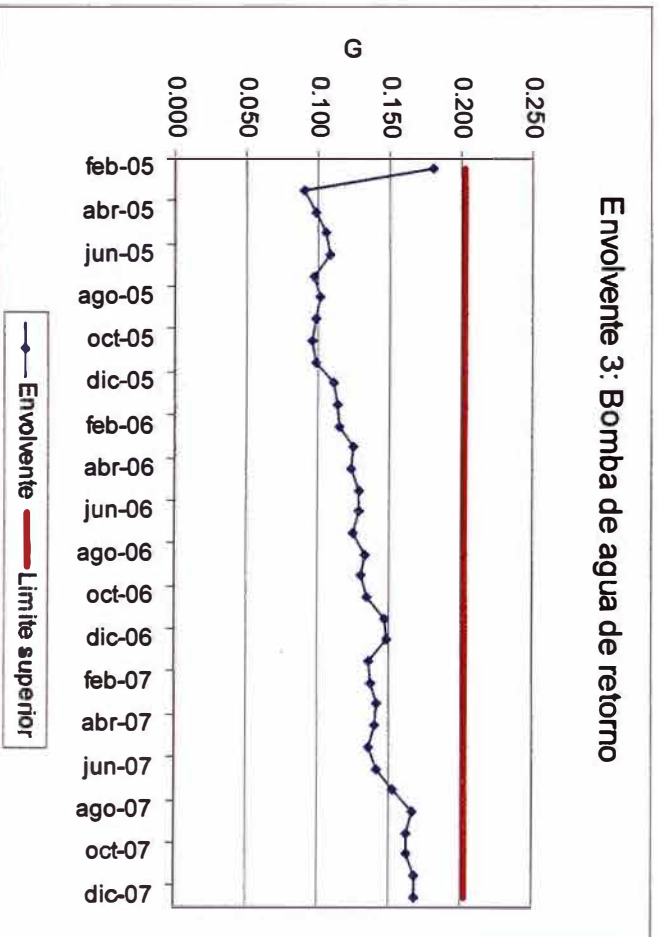
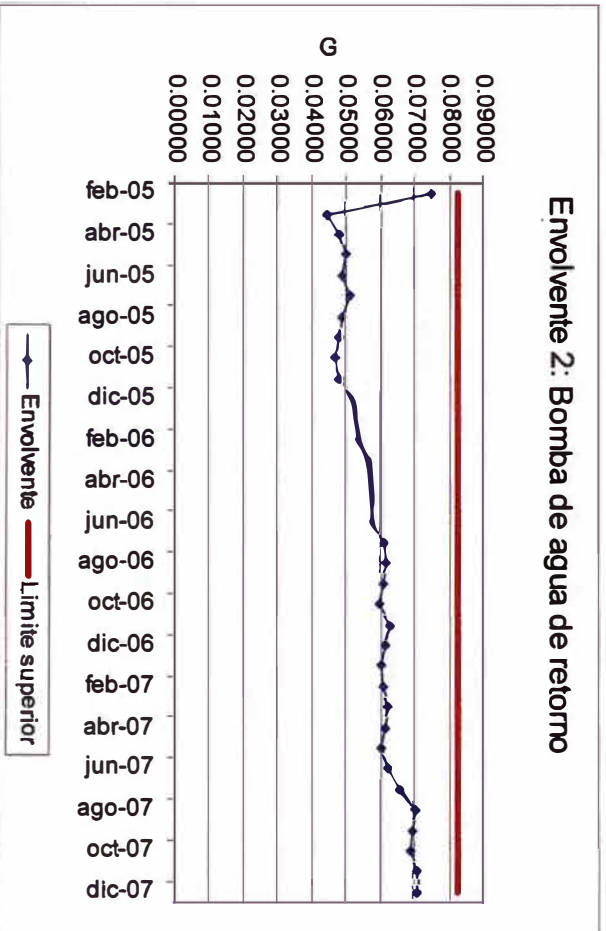
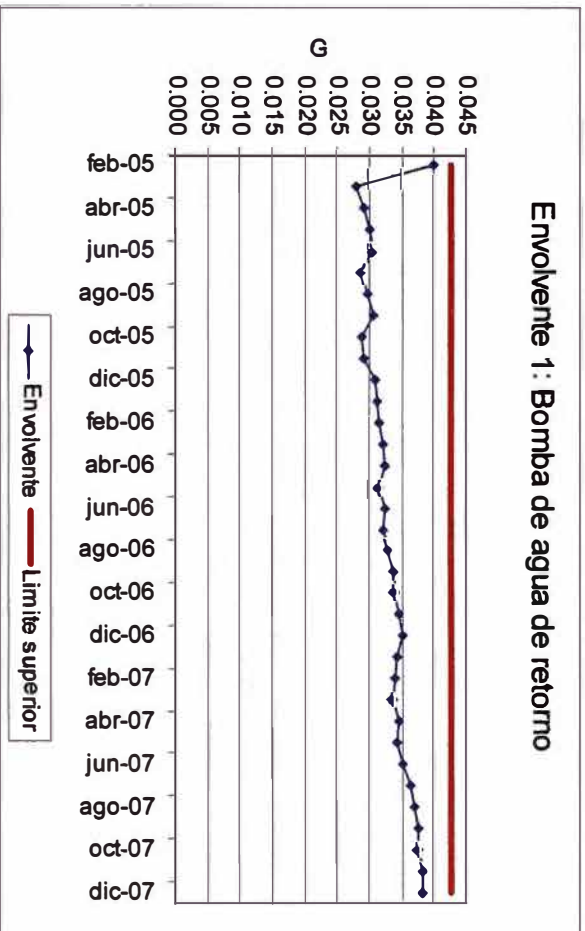


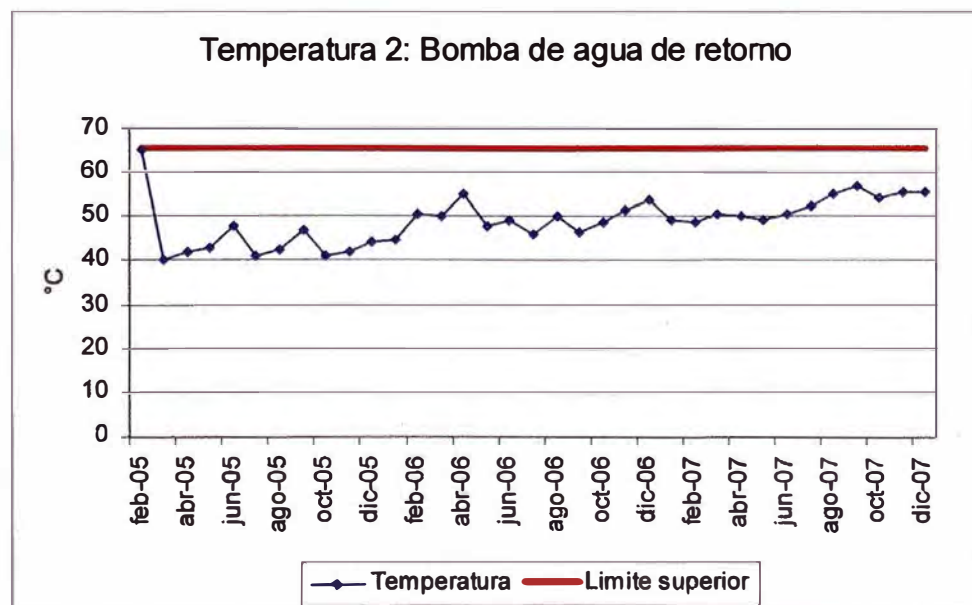
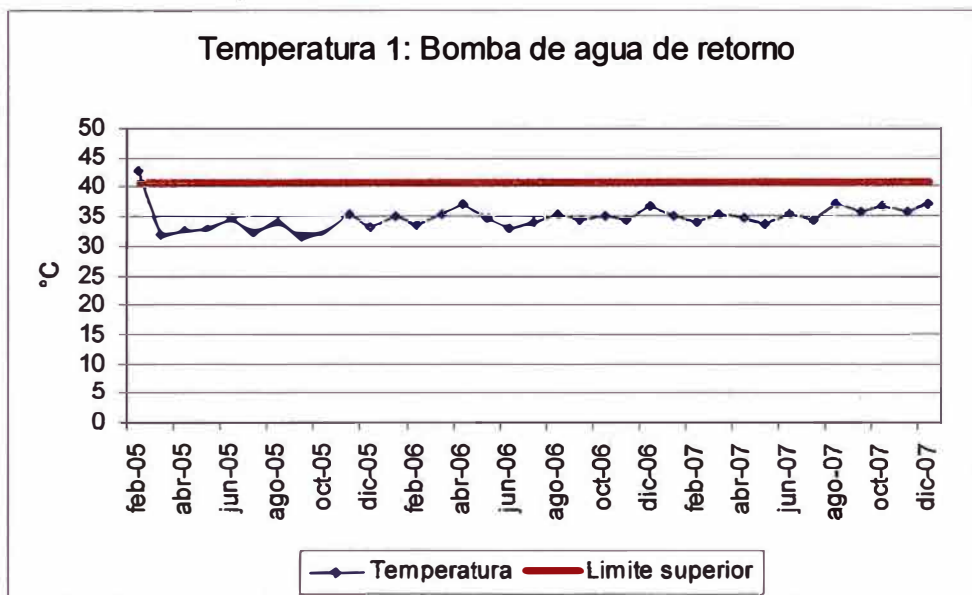
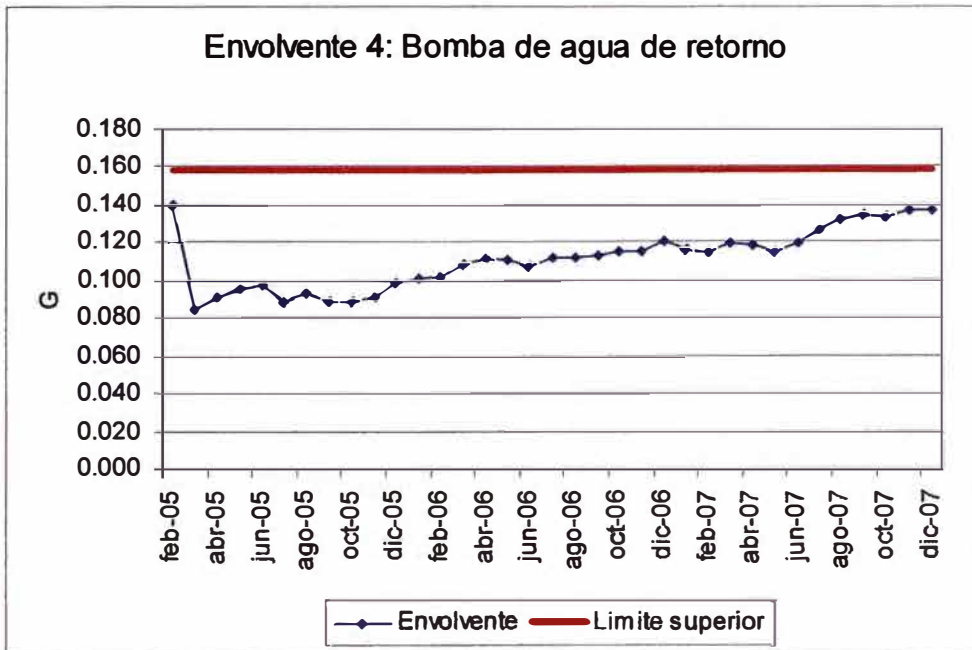
Punto 3: Bomba de agua de retorno

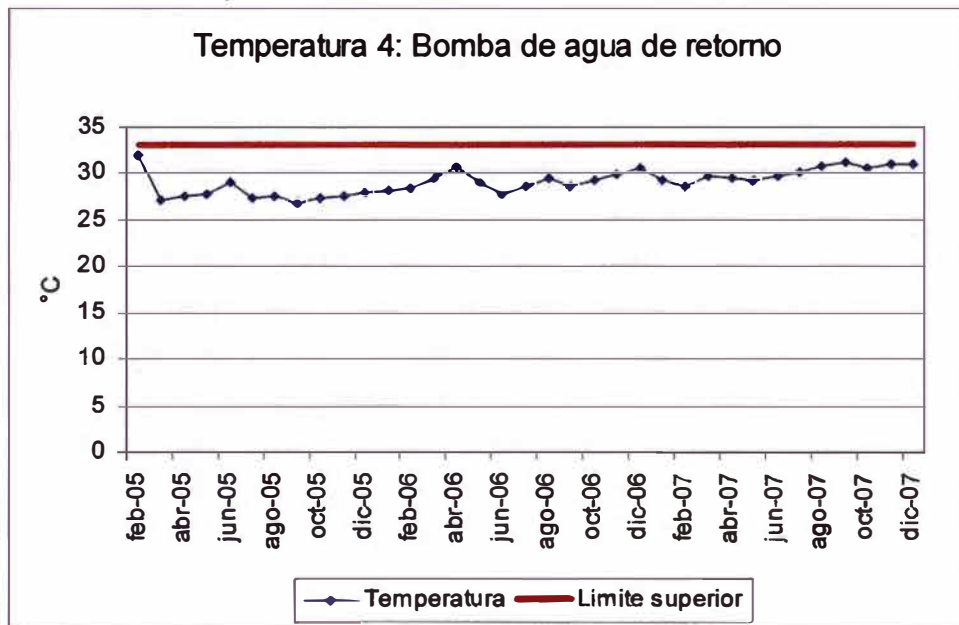
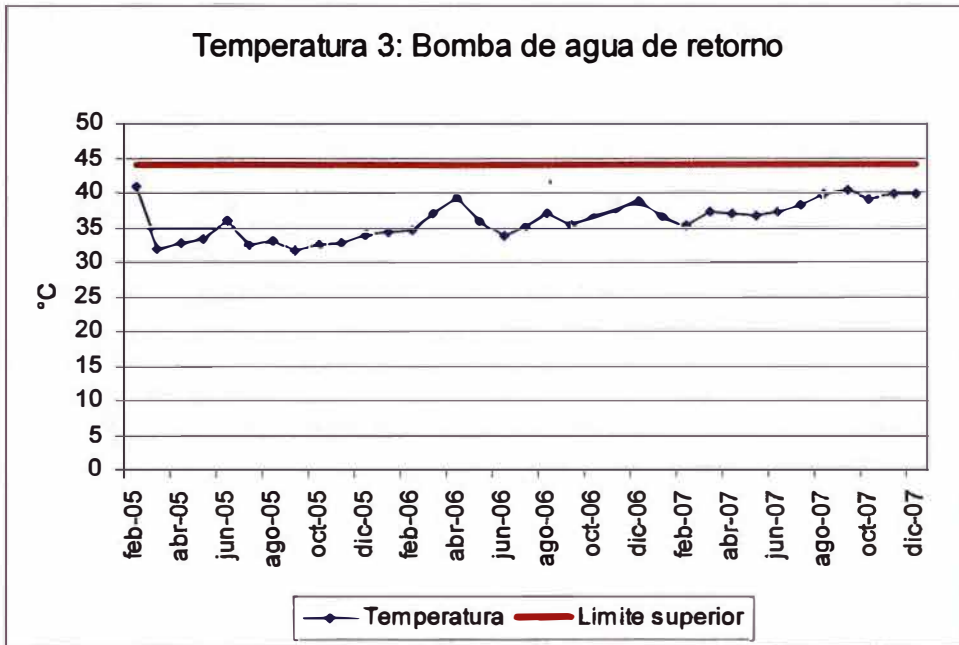


Punto 4: Bomba de agua de retorno



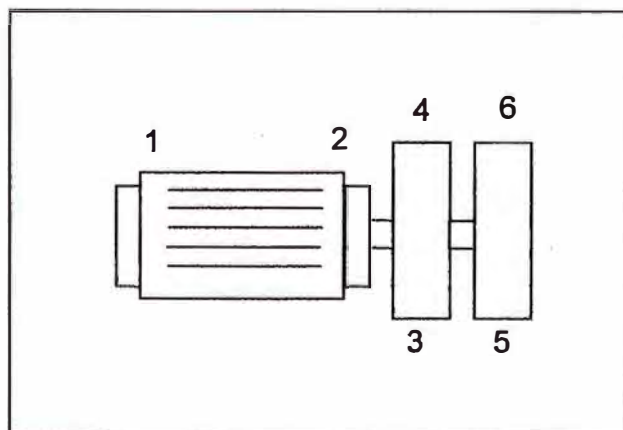


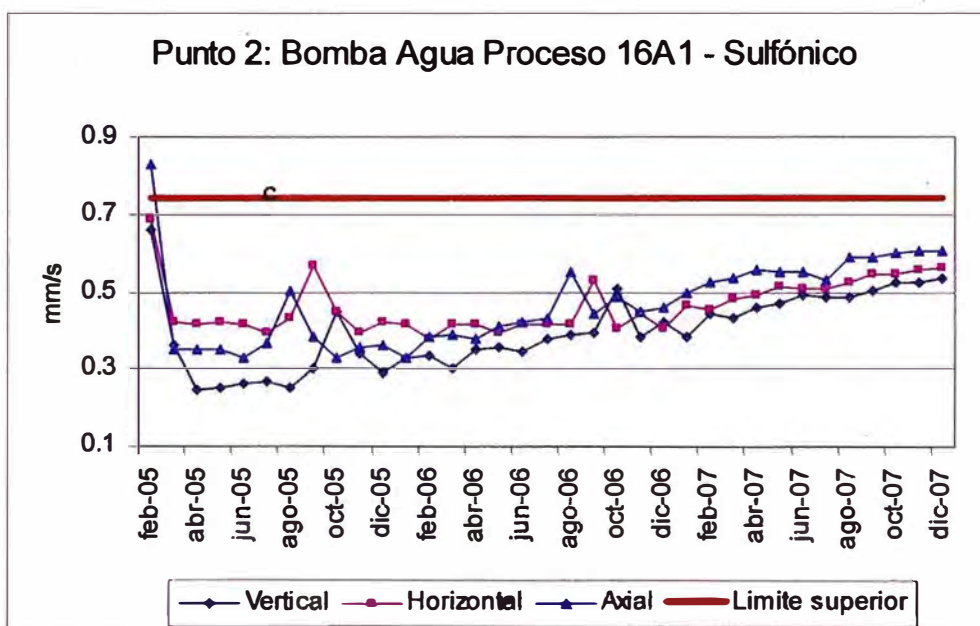
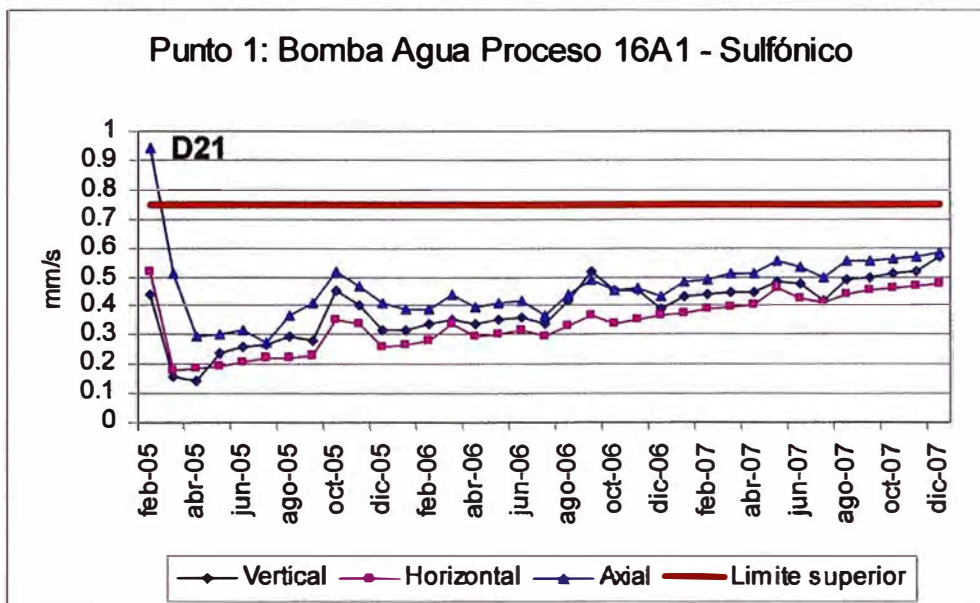




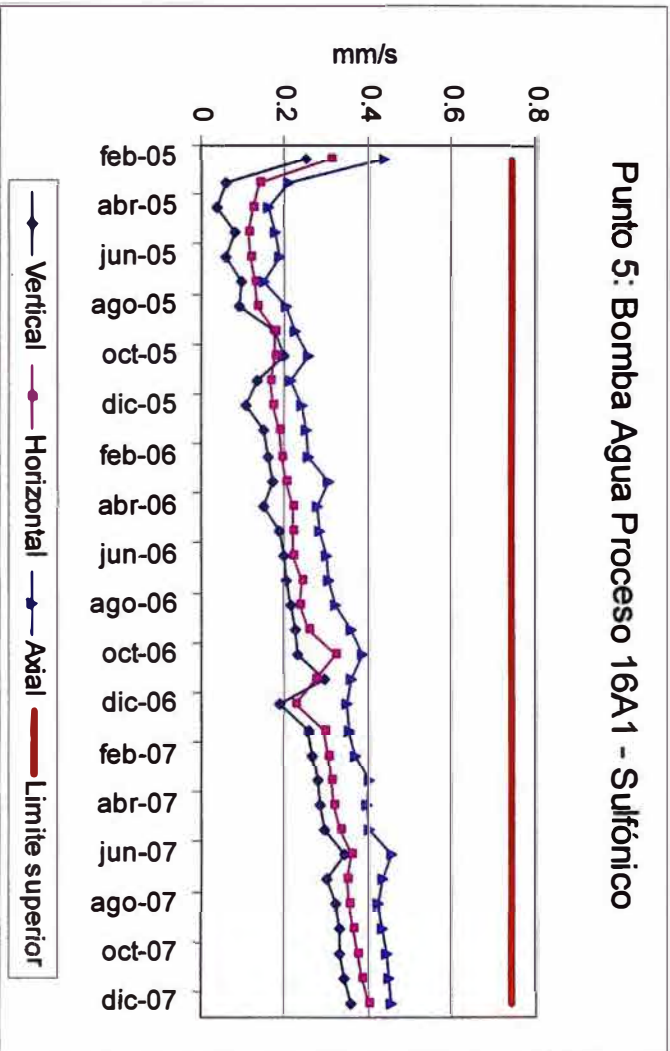
3.2.10 Equipo 5052-5053: Bomba de agua de producción 16 A1

Diagnóstico N°	Fecha
D21	Feb-05

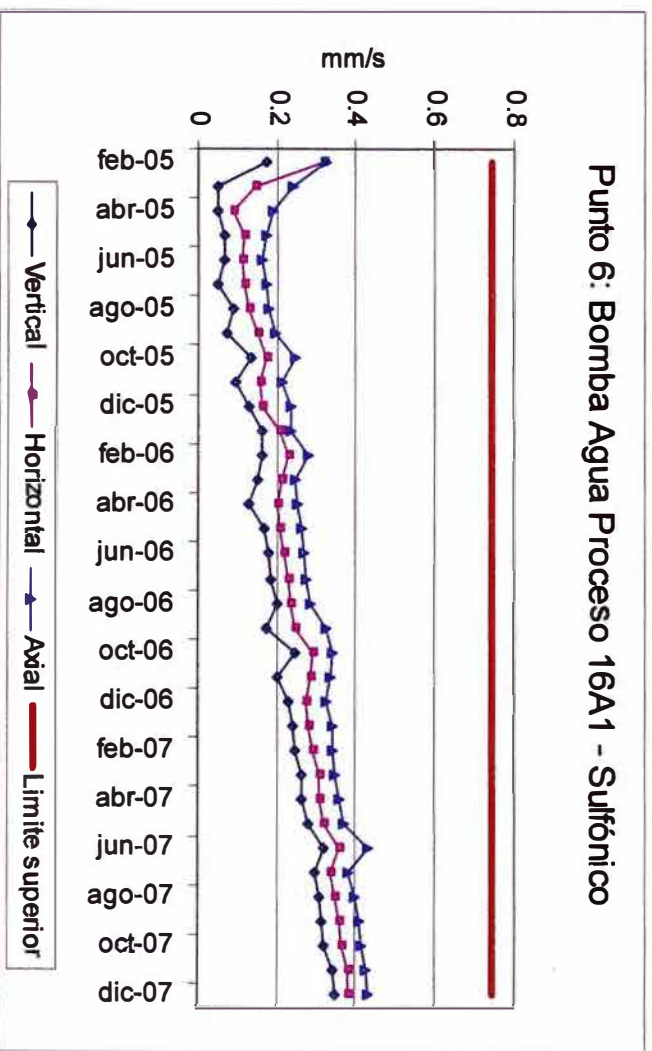




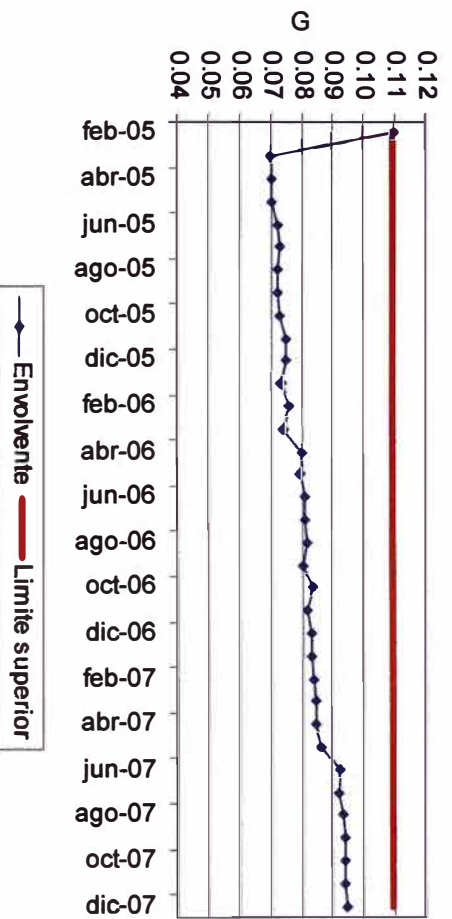
Punto 5: Bomba Agua Proceso 16A1 - Sulfónico



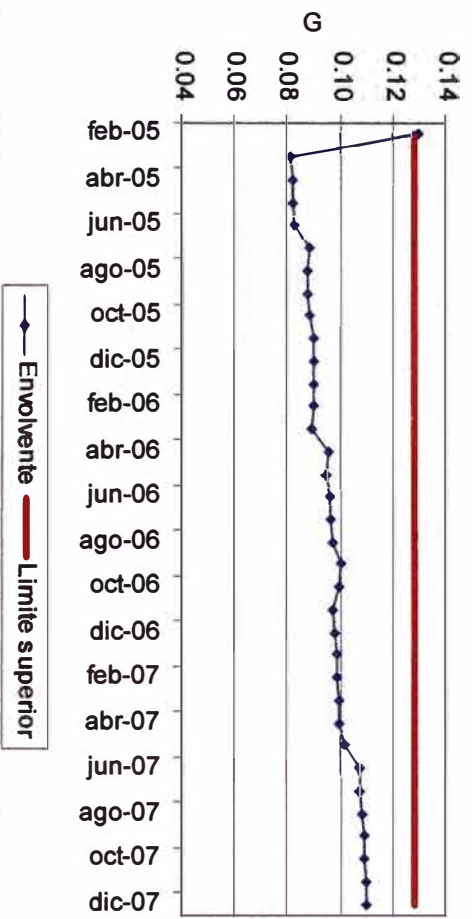
Punto 6: Bomba Agua Proceso 16A1 - Sulfónico



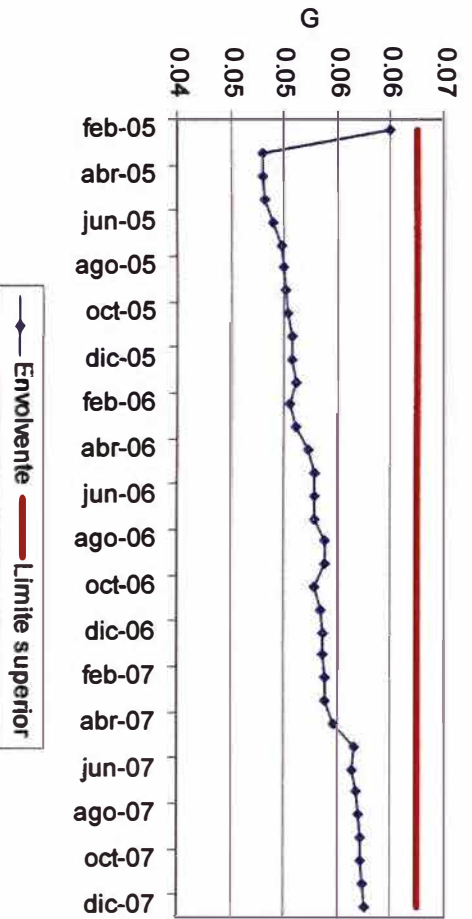
Envolvente 1: Bomba Agua Proceso 16A1 - Sulfónico



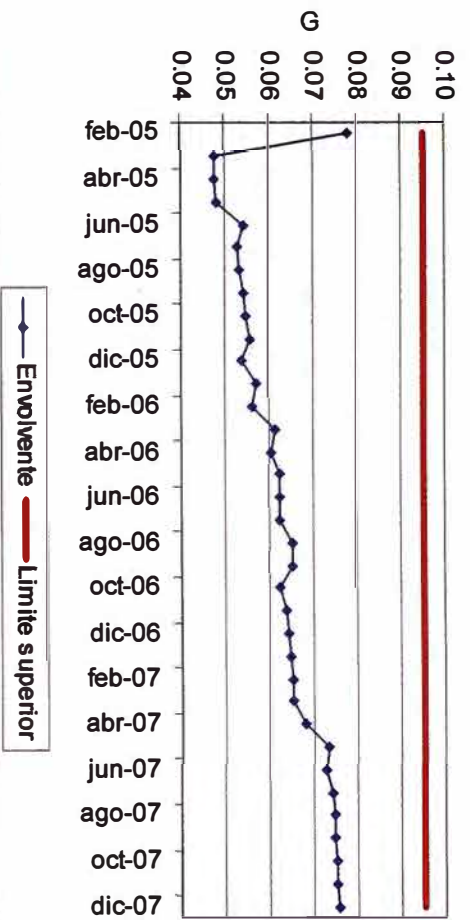
Envolvente 2: Bomba Agua Proceso 16A1 - Sulfónico



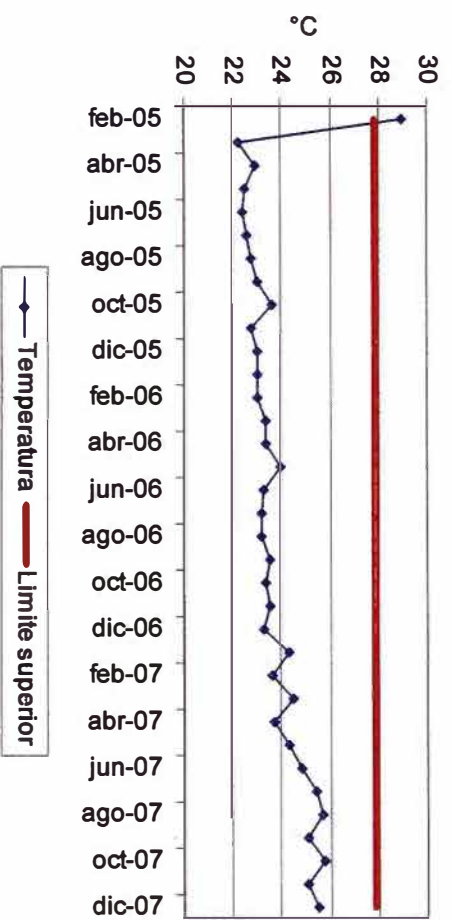
Envolvente 5: Bomba Agua Proceso 16A1 - Sulfónico



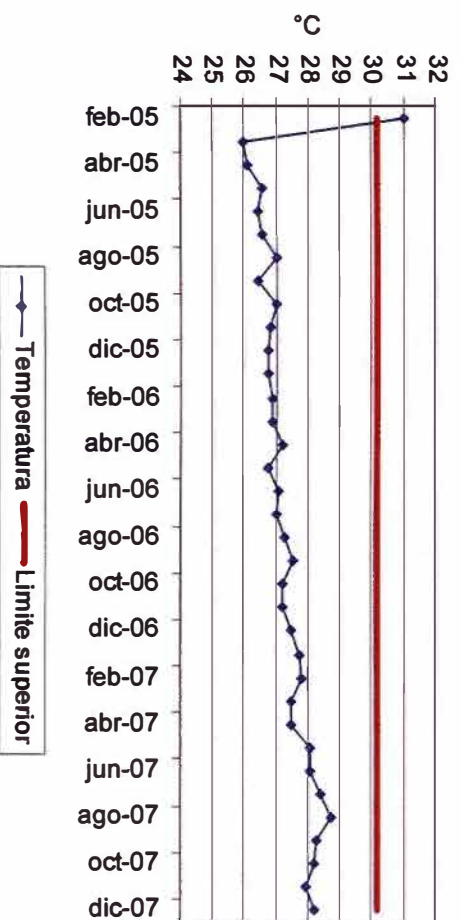
Envolvente 6: Bomba Agua Proceso 16A1 - Sulfónico

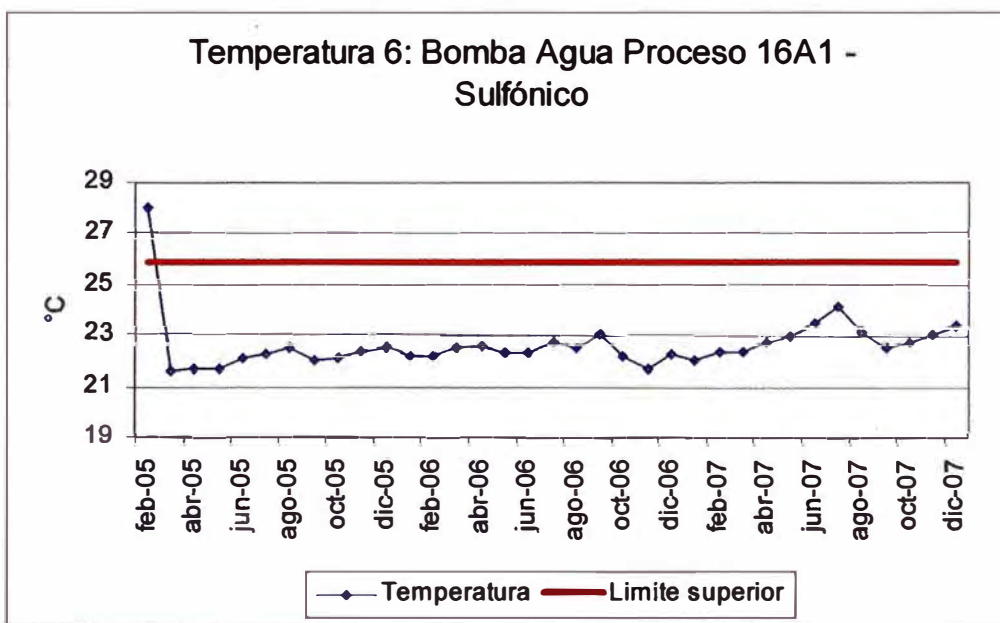
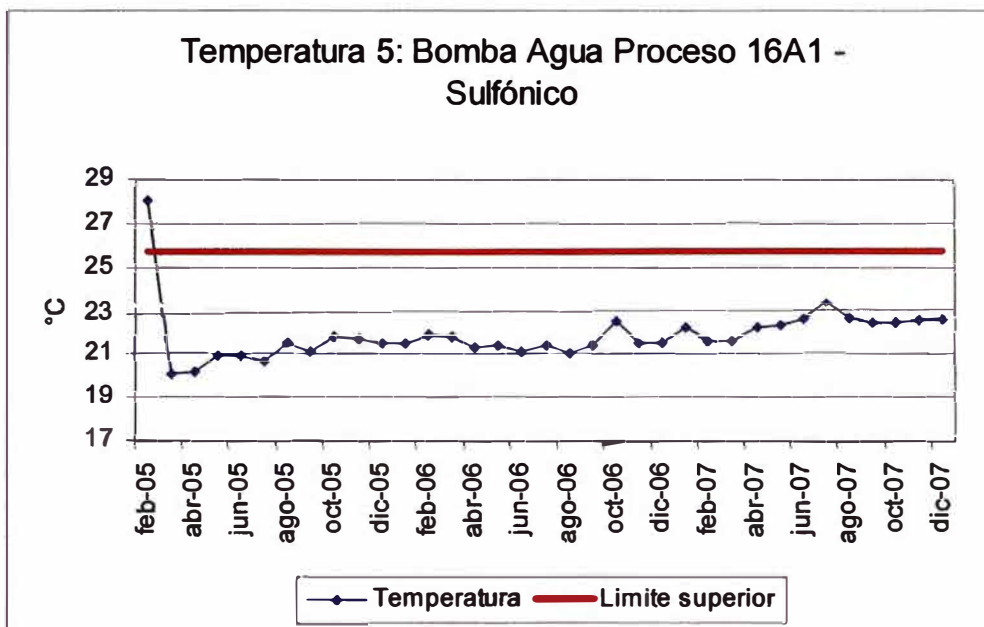


Temperatura 1: Bomba Agua Proceso 16A1 - Sulfónico



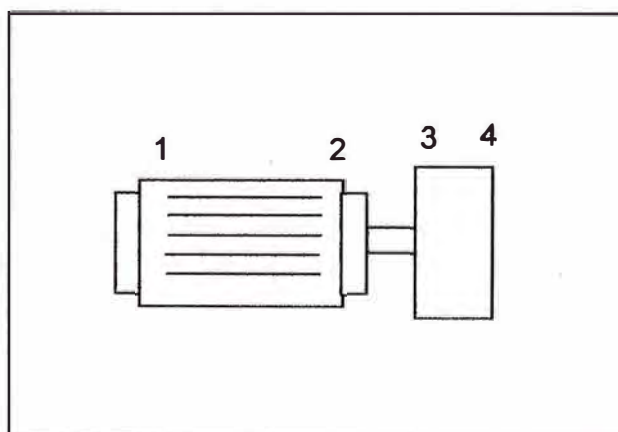
Temperatura 2: Bomba Agua Proceso 16A1 - Sulfónico



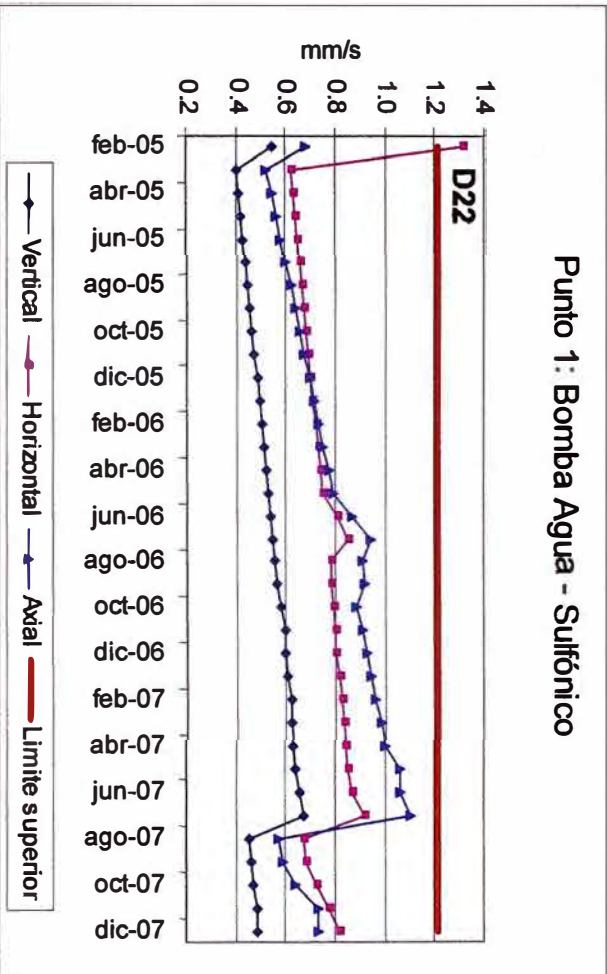


3.2.11 Equipo 5054-5055: Bomba de agua de Sulfónico

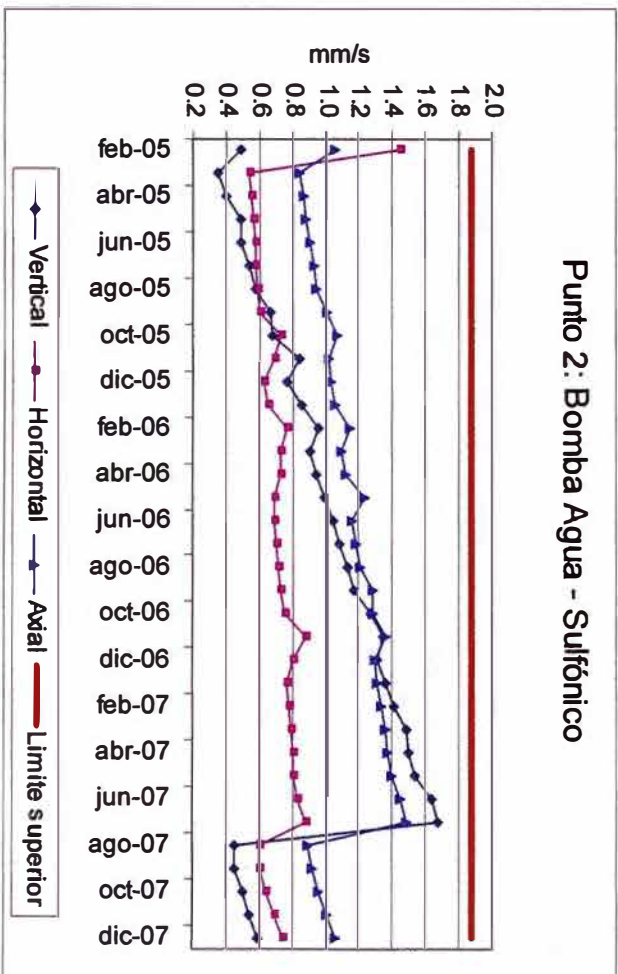
Diagnóstico N°	Fecha
D22	Feb-05

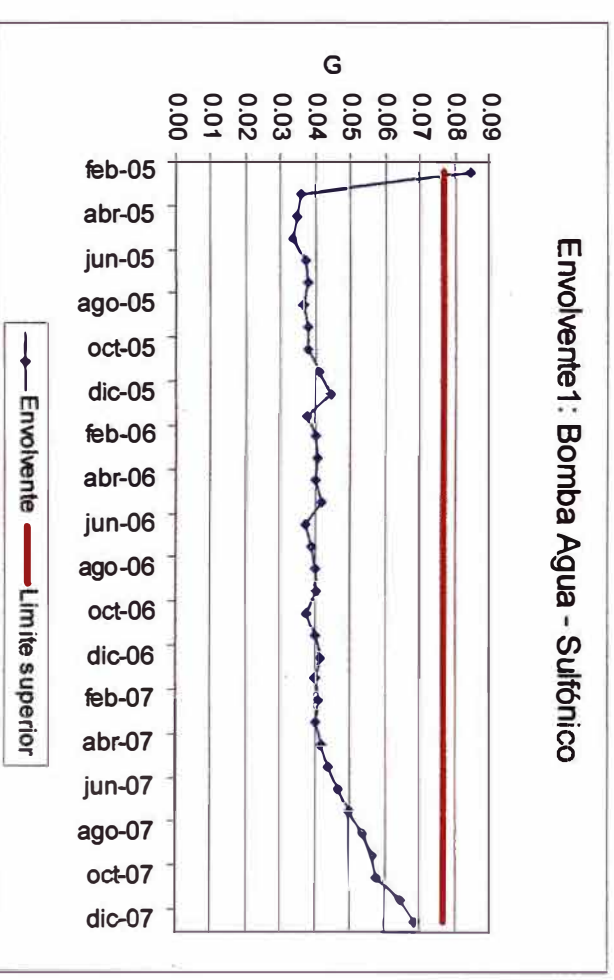
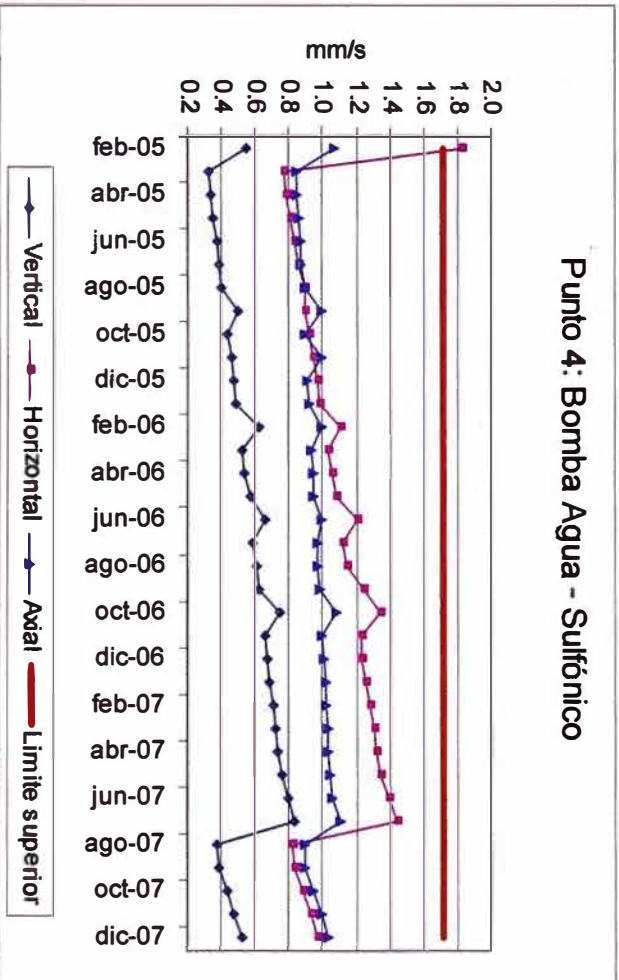
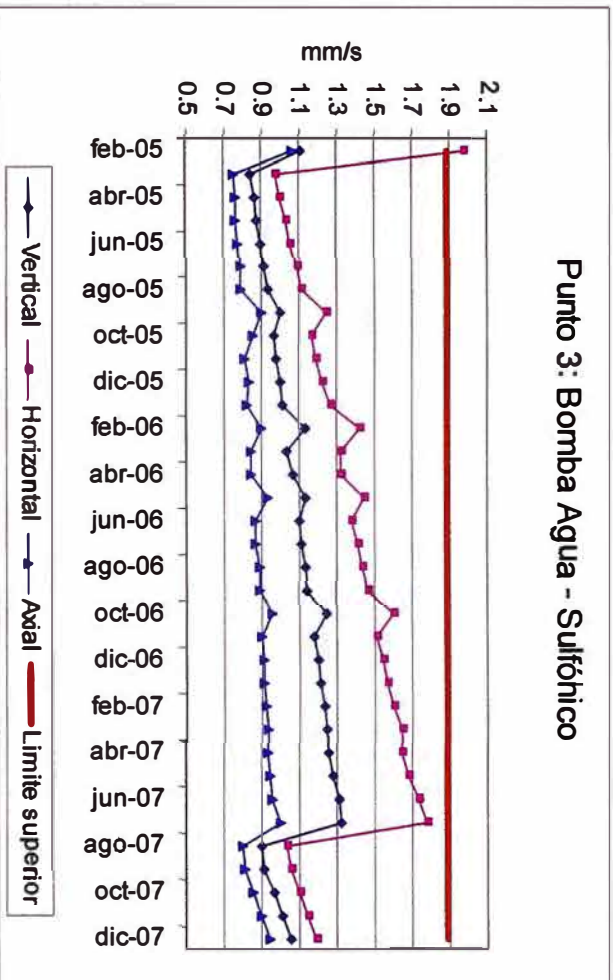


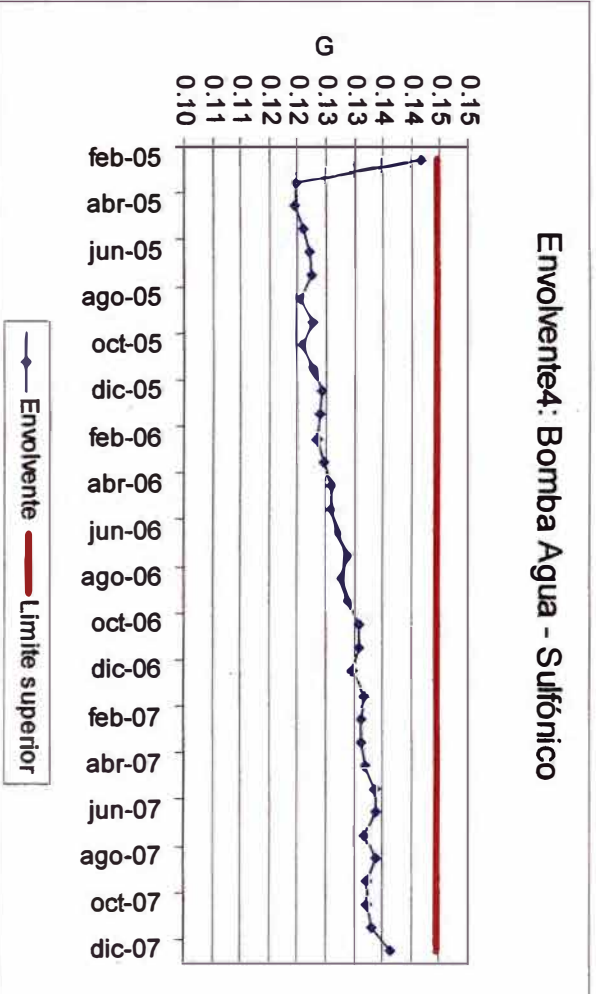
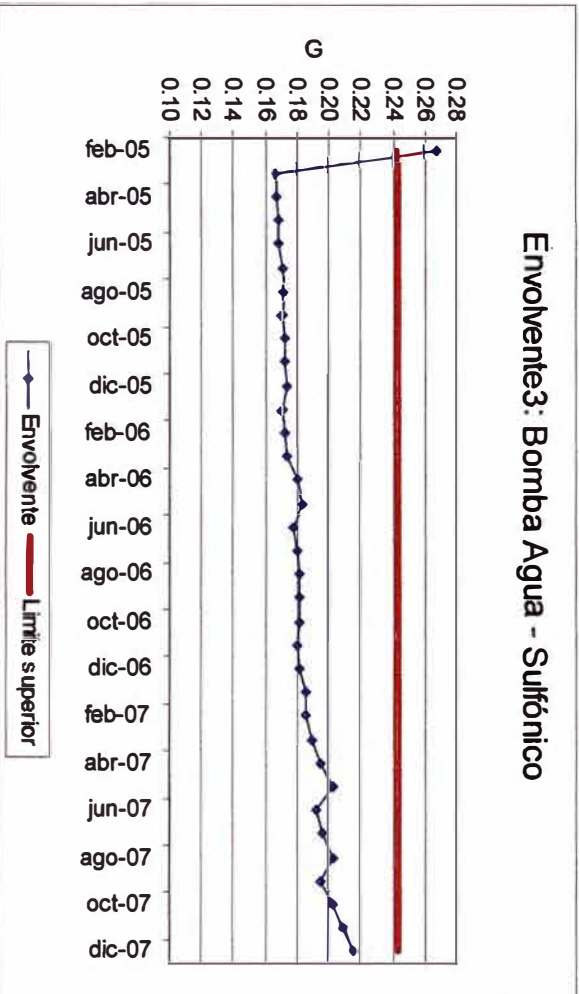
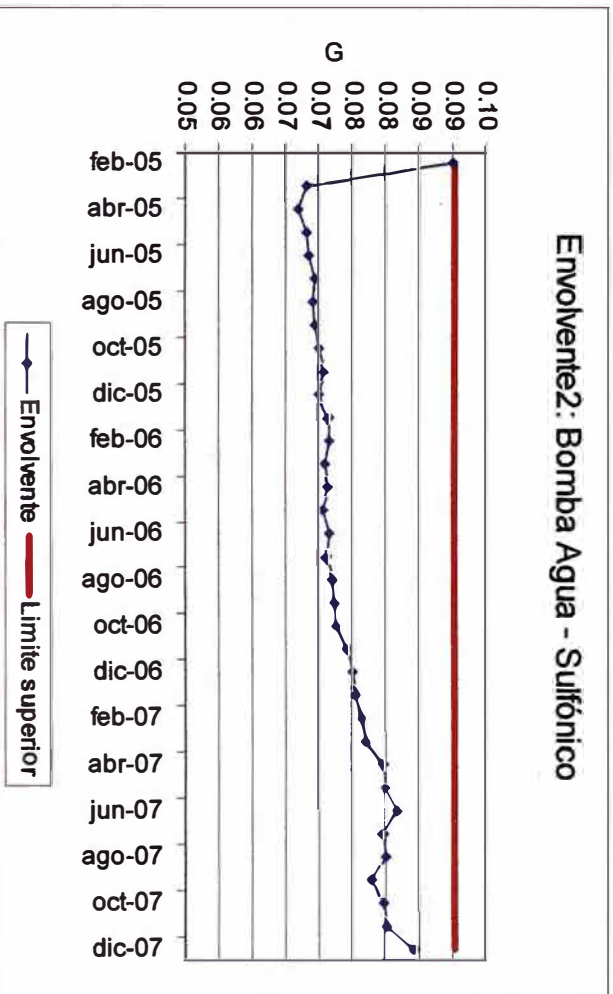
Punto 1: Bomba Agua - Sulfónico

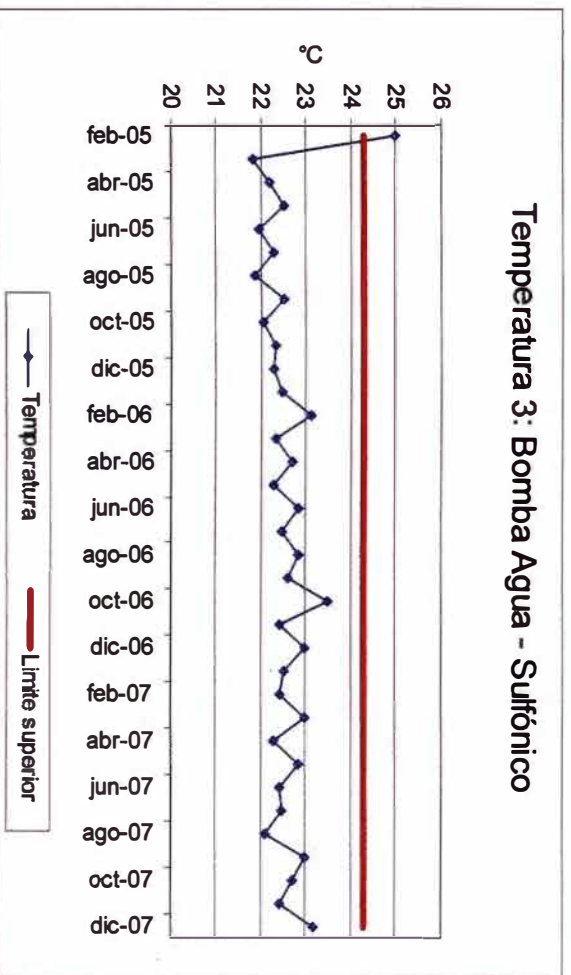
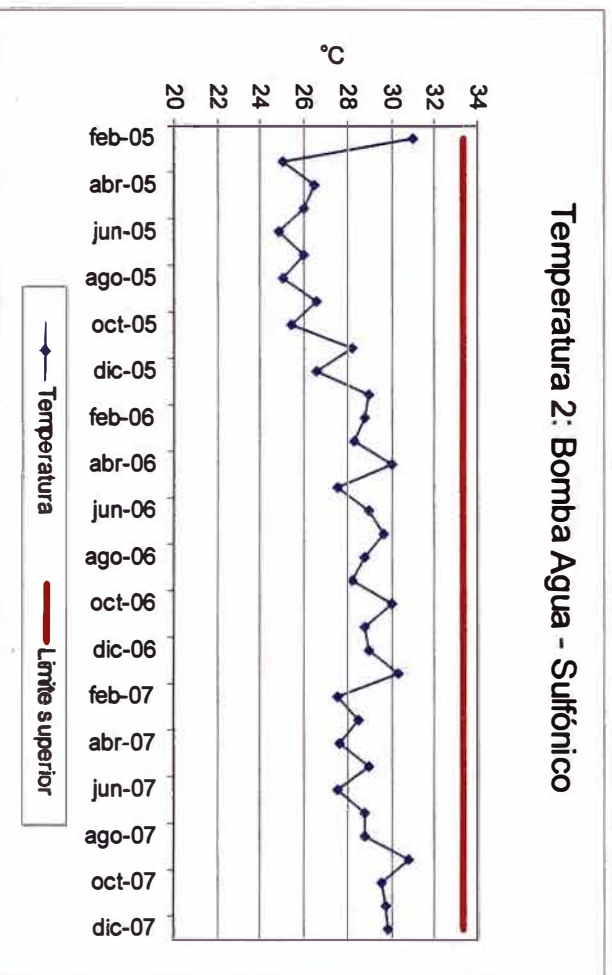
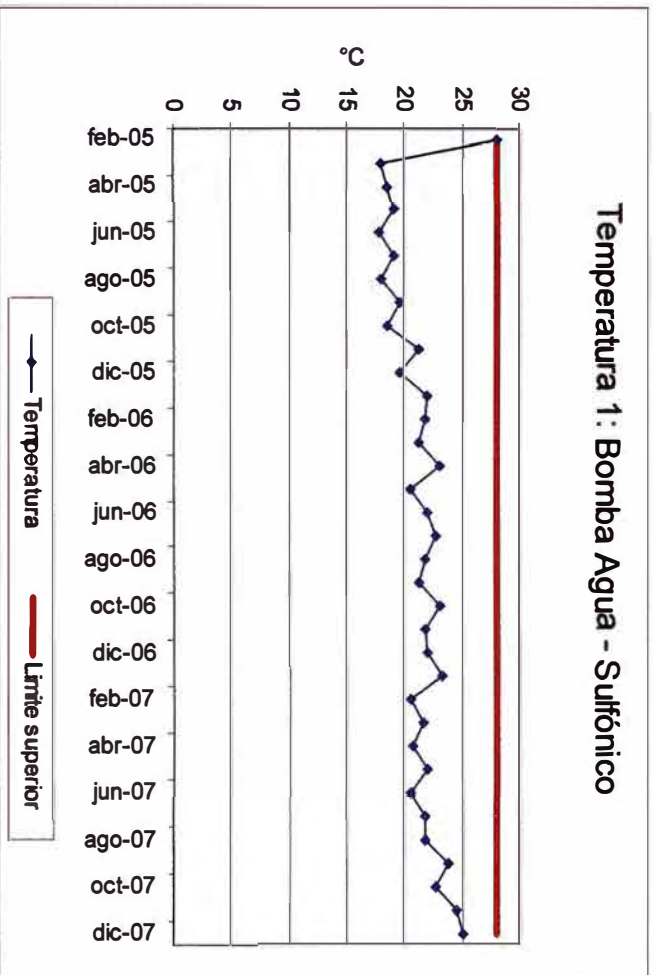


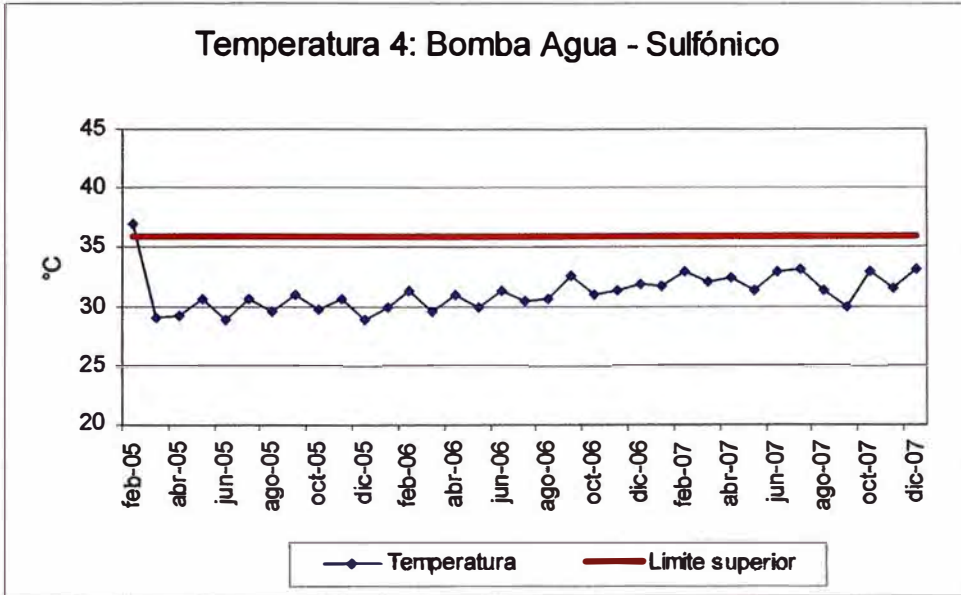
Punto 2: Bomba Agua - Sulfónico







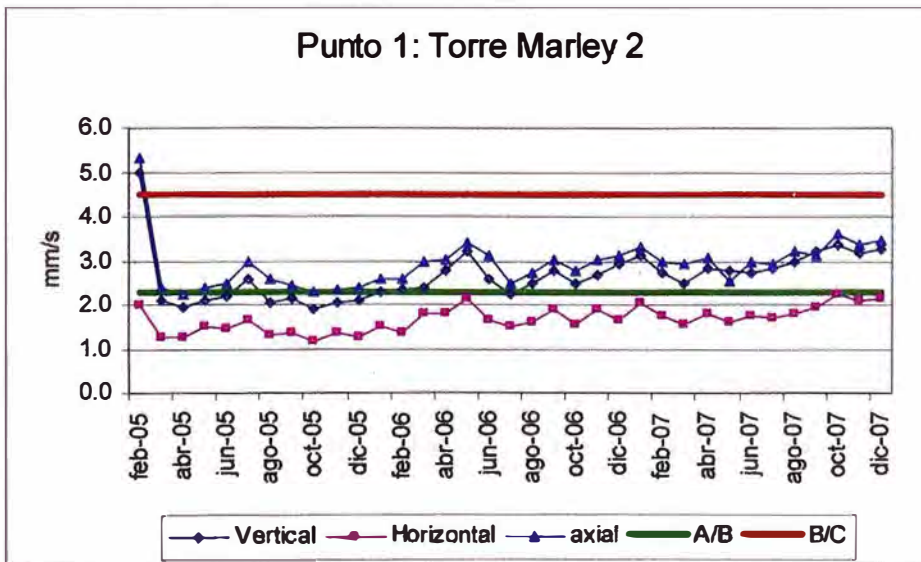
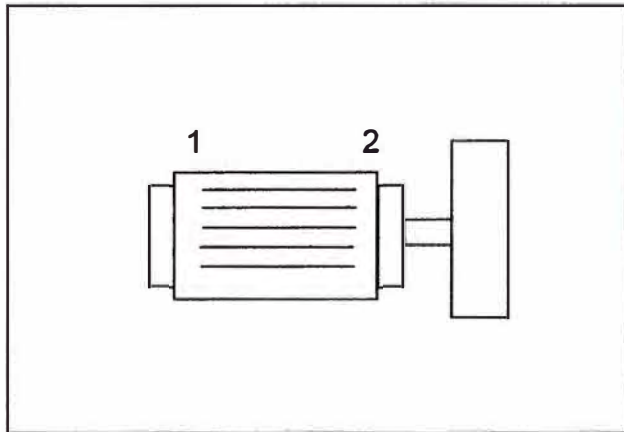


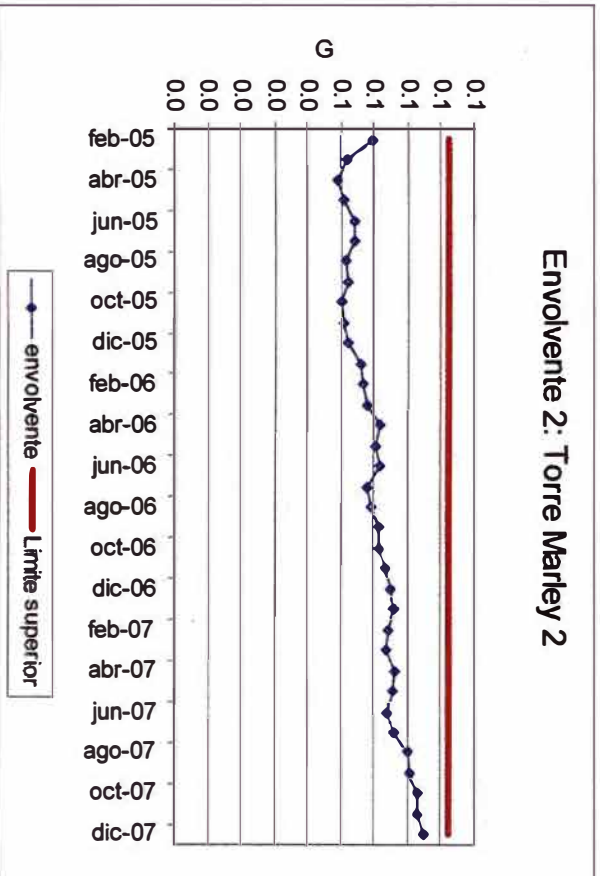
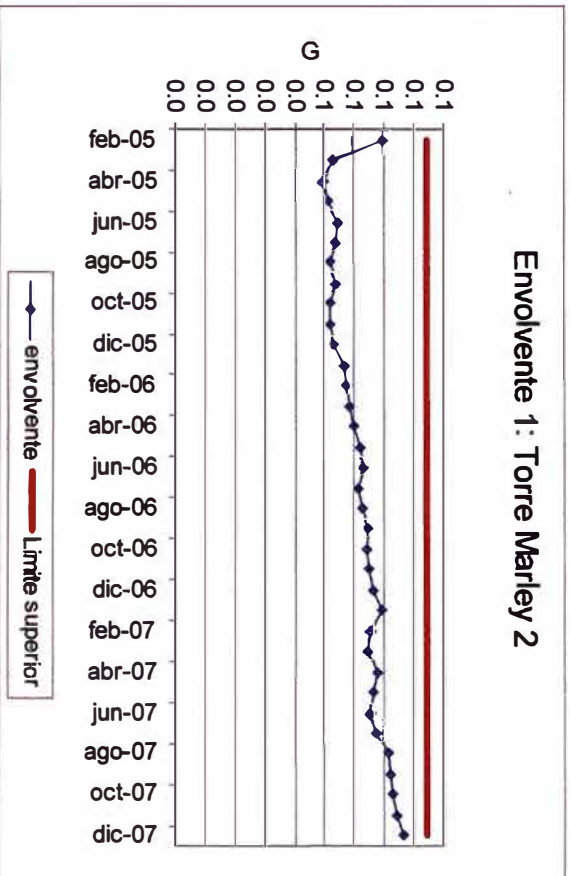
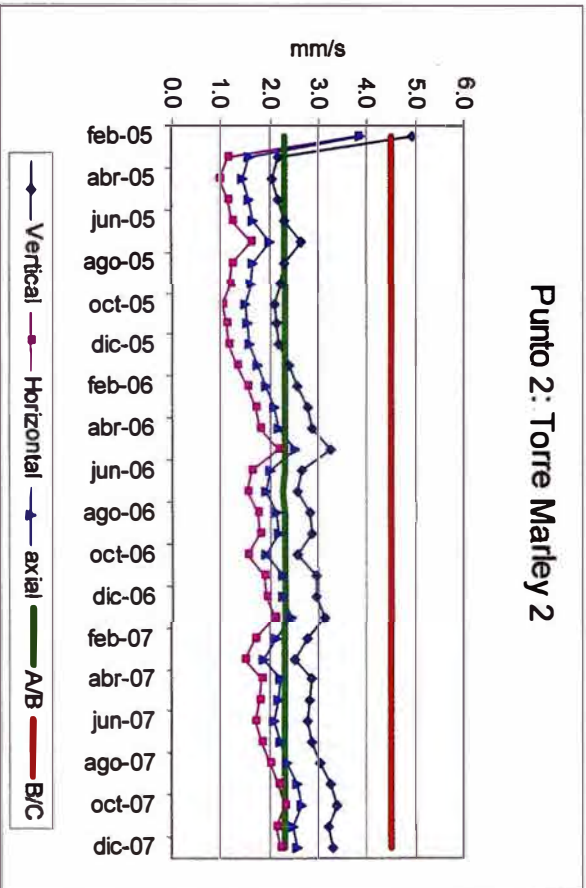


3.3 Planta de Sulfato de Aluminio

3.3.1 Equipo 5059: Ventilador de Torre de enfriamiento Marley 2

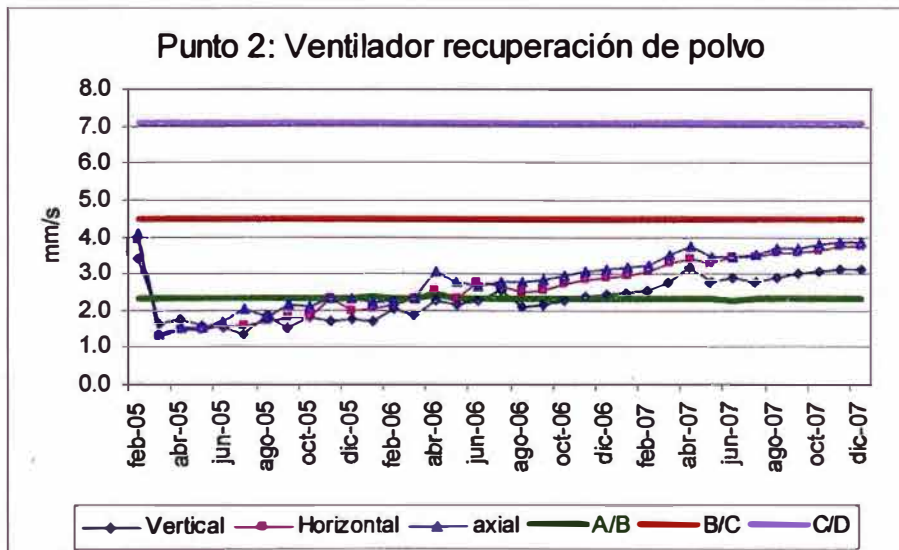
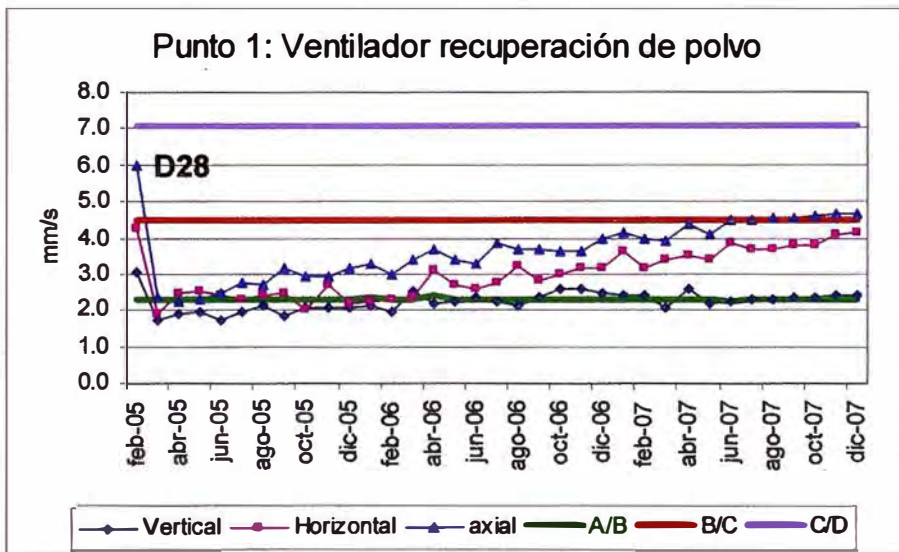
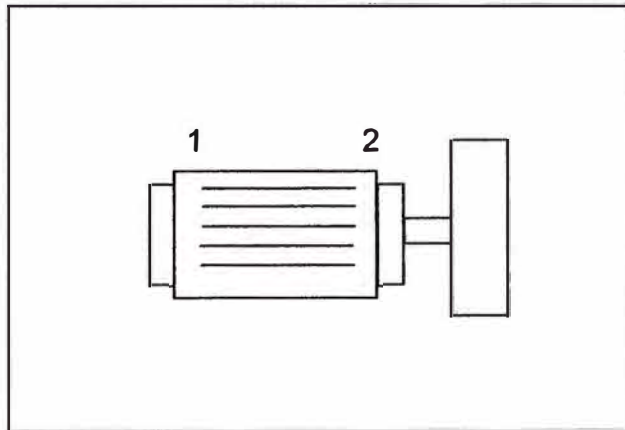
Diagnóstico N°	Fecha
D28	Feb-05



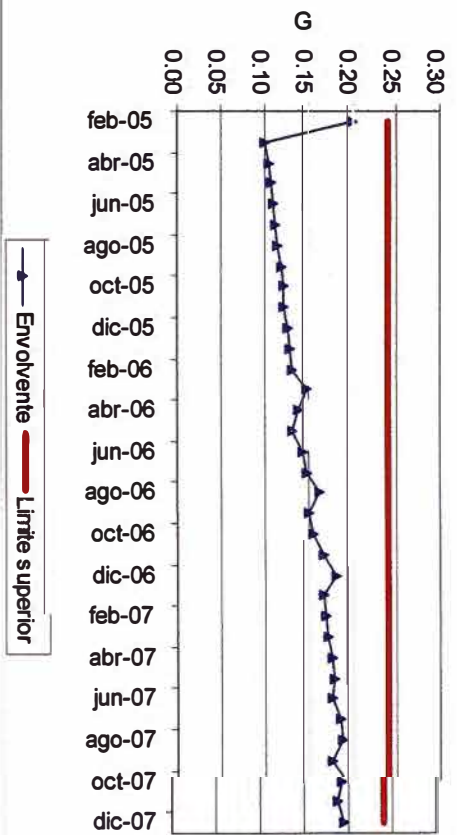


3.3.2 Equipo 5060: Ventilador de recuperación de polvo

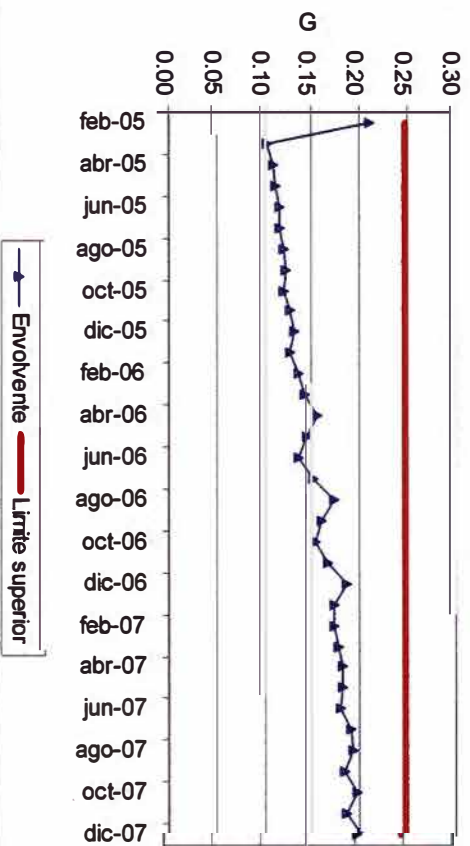
Diagnóstico N°	Fecha
D29	Feb-05



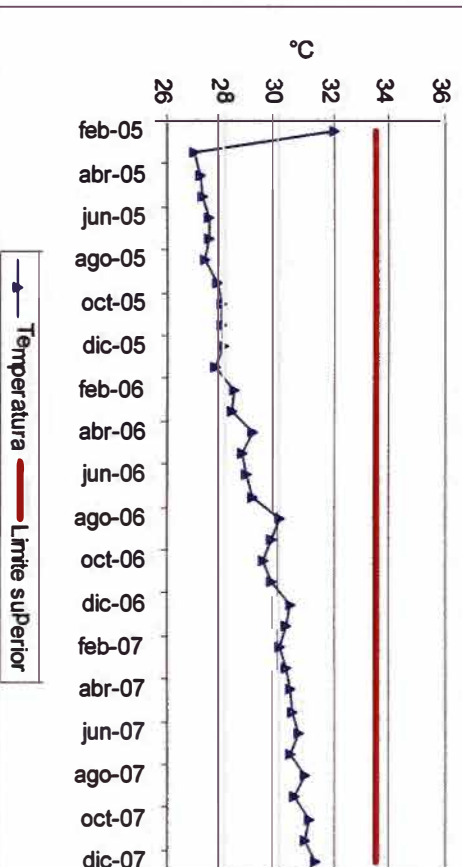
Envolvente 1 : Ventilador recuperación de polvo

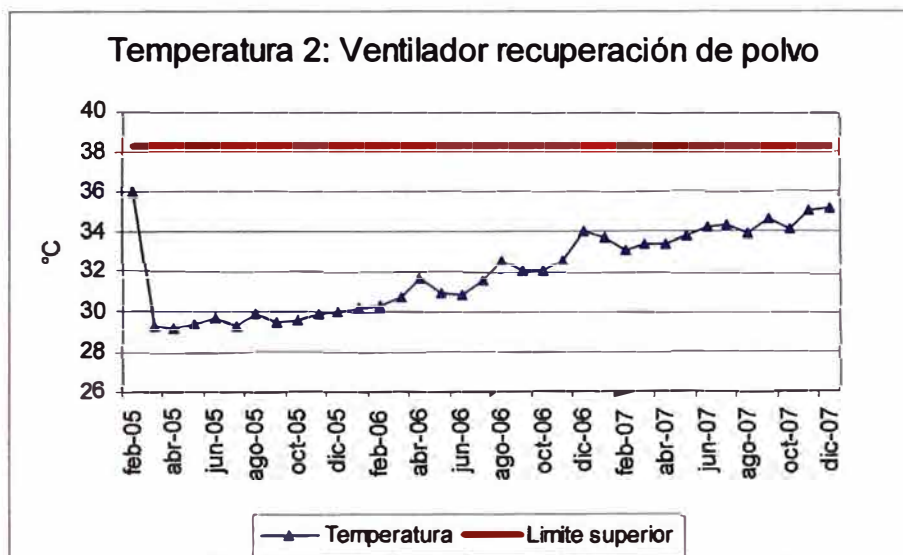


Envolvente 2 : Ventilador recuperación de polvo



Temperatura 1 : Ventilador recuperación de polvo

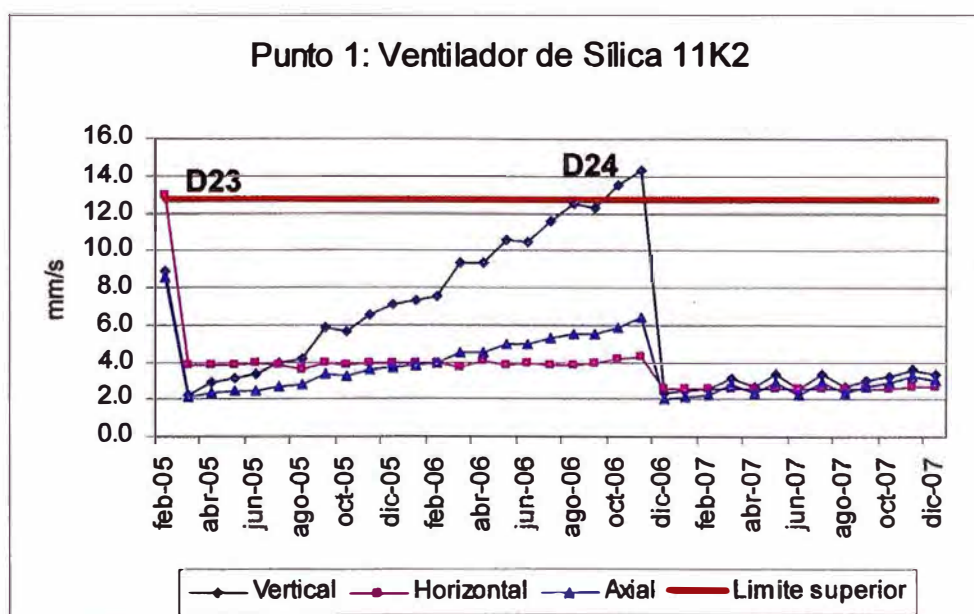
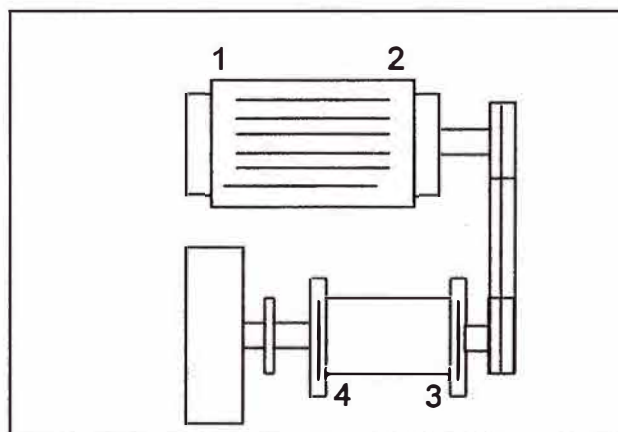




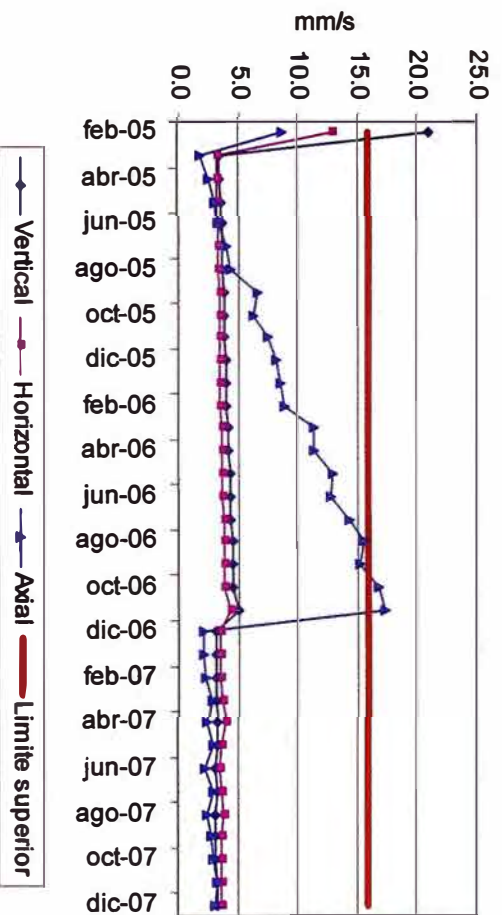
3.4 Planta de Azufre

3.4.1 Equipo 5056: Ventilador de Silica 11K2

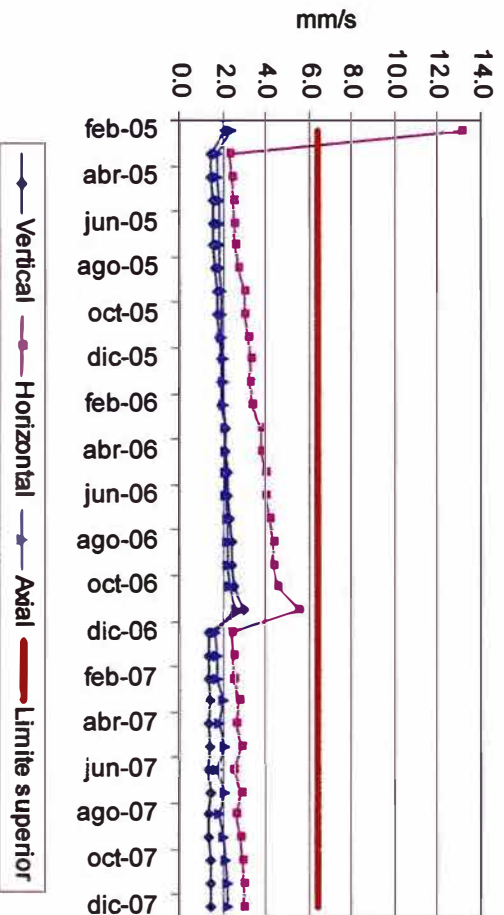
Diagnóstico N°	Fecha
D23	Feb-05
D24	Nov-06



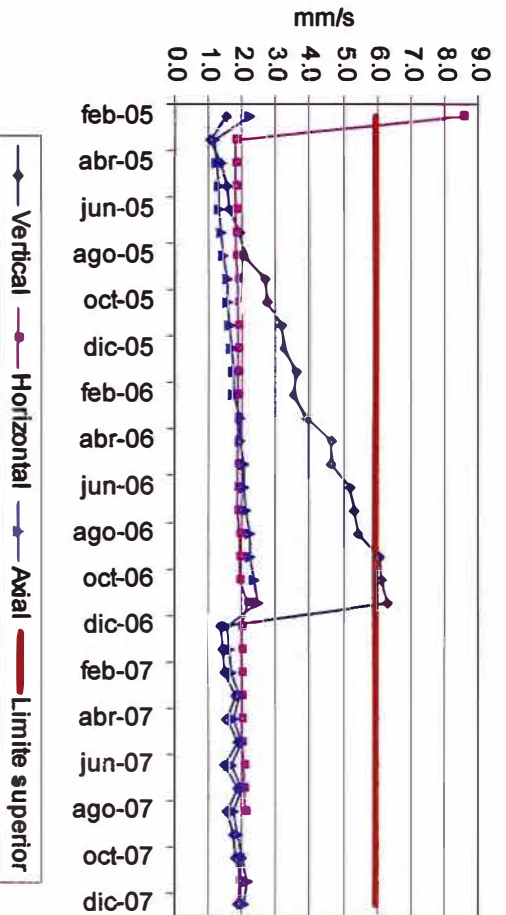
Punto 2: Ventilador de Silica 11K2

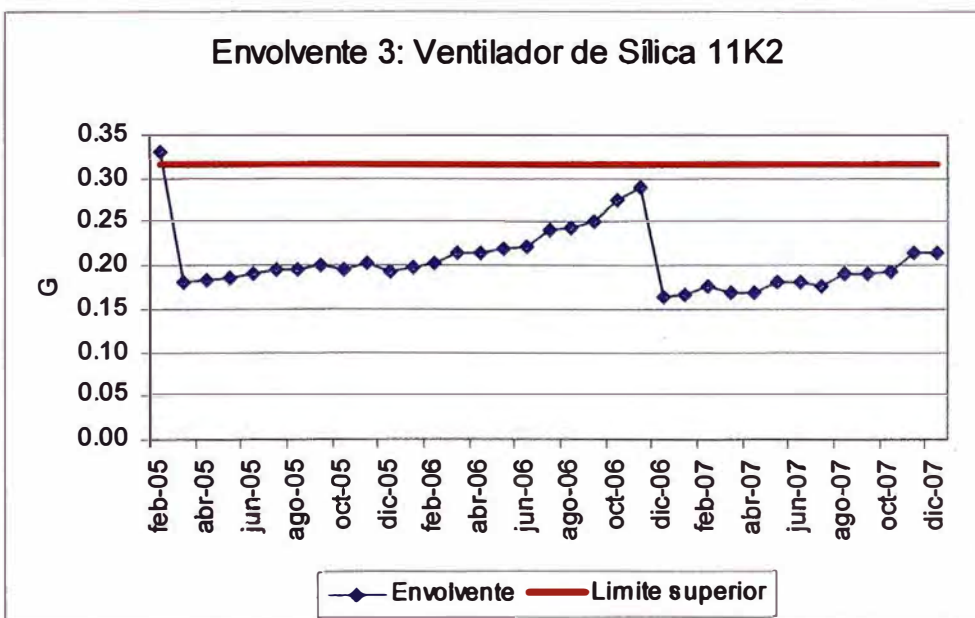
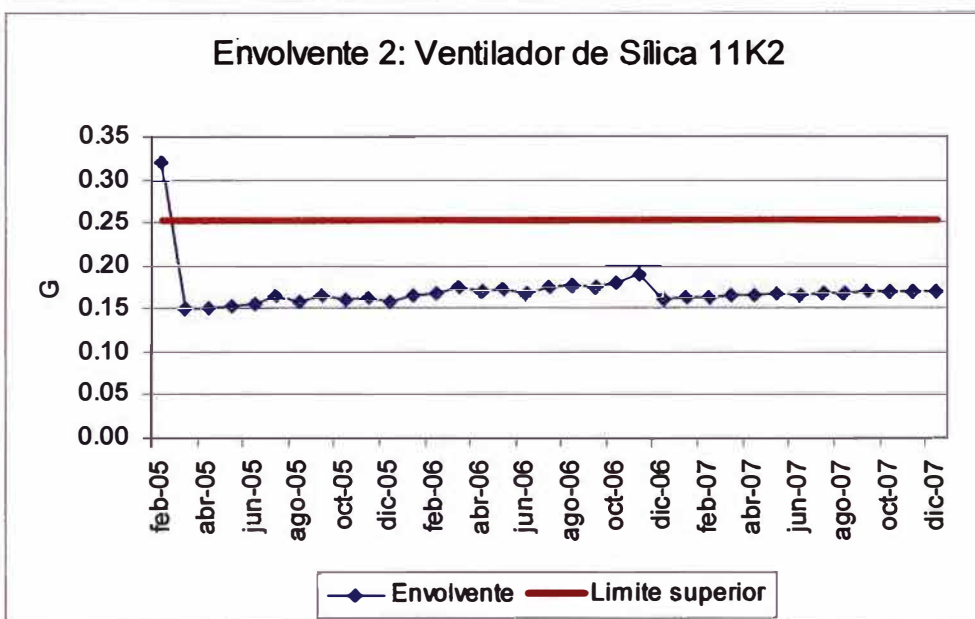
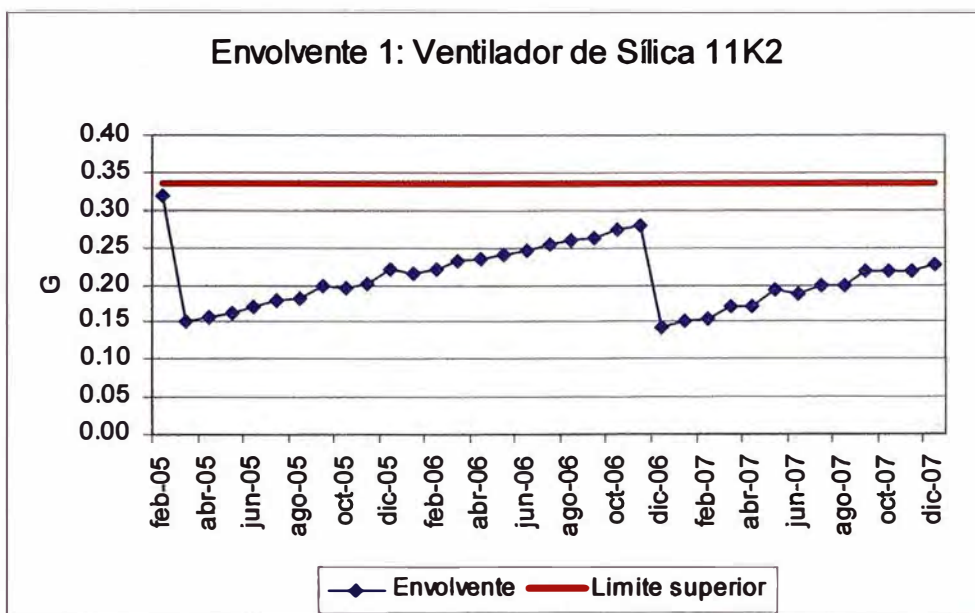


Punto 3: Ventilador de Silica 11K2

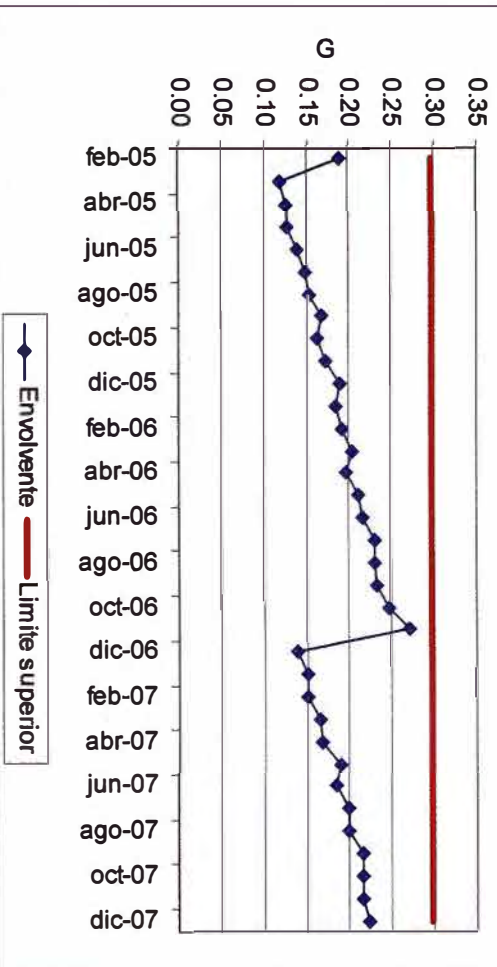


Punto 4: Ventilador de Silica 11K2

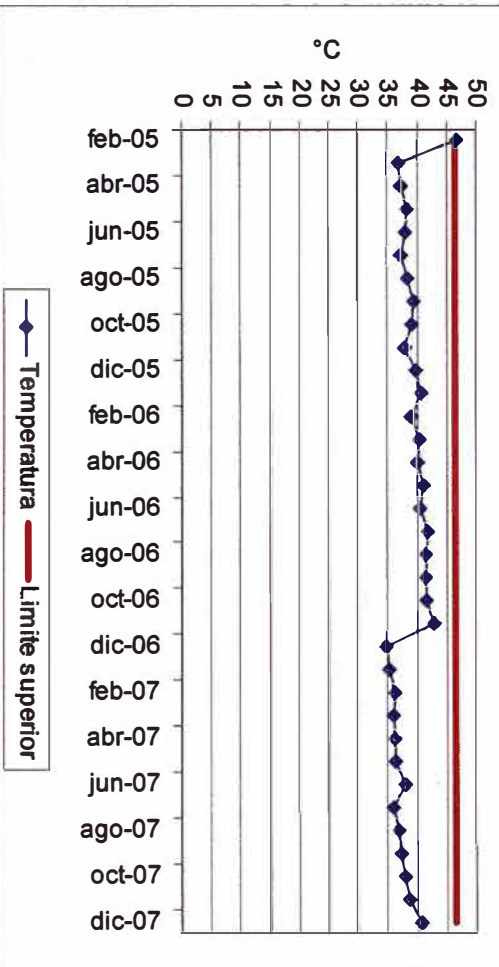




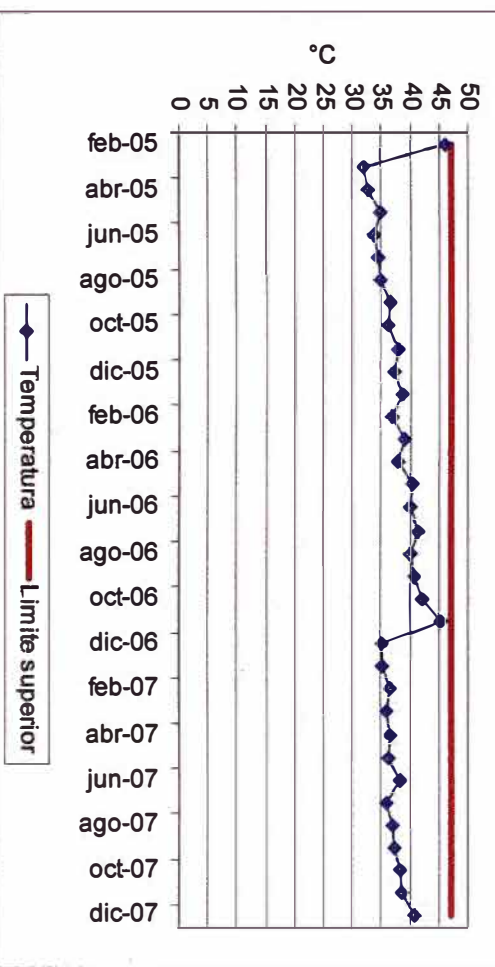
Envolvente 4: Ventilador de Silica 11K2

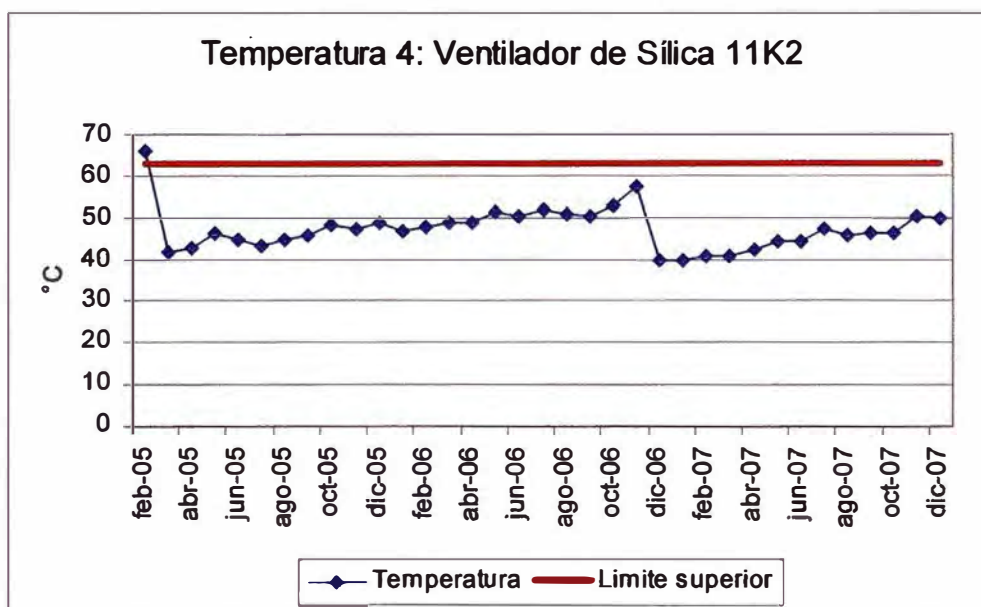
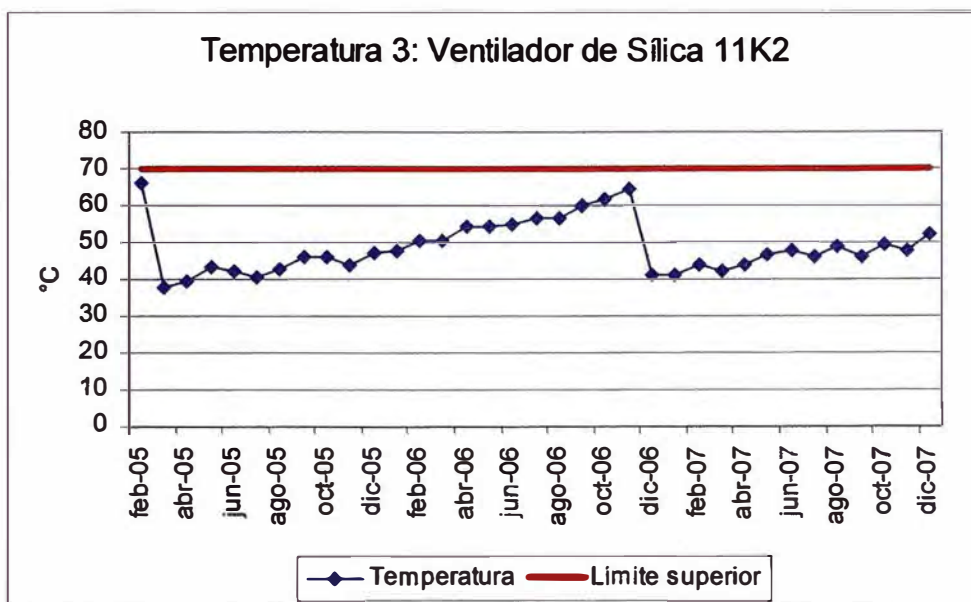


Temperatura 1: Ventilador de Silica 11K2



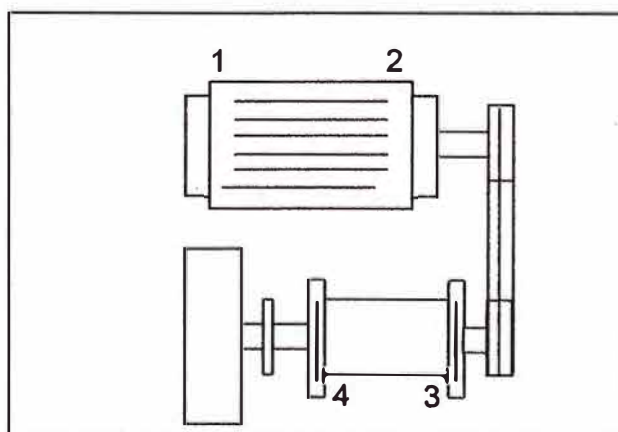
Temperatura 2: Ventilador de Silica 11K2



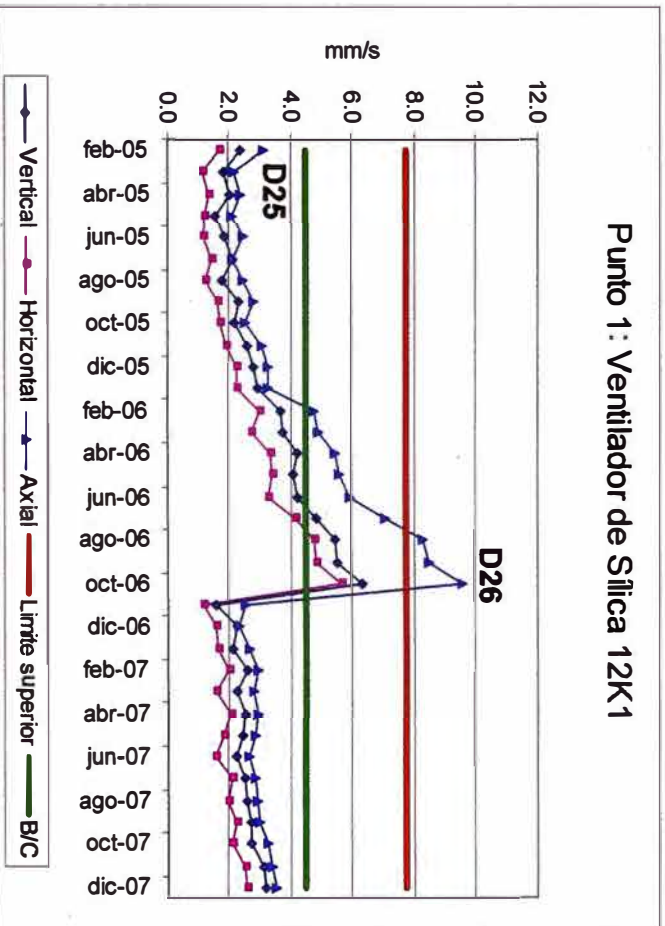


3.4.2 Equipo 5057: Ventilador de Sílica 12K1

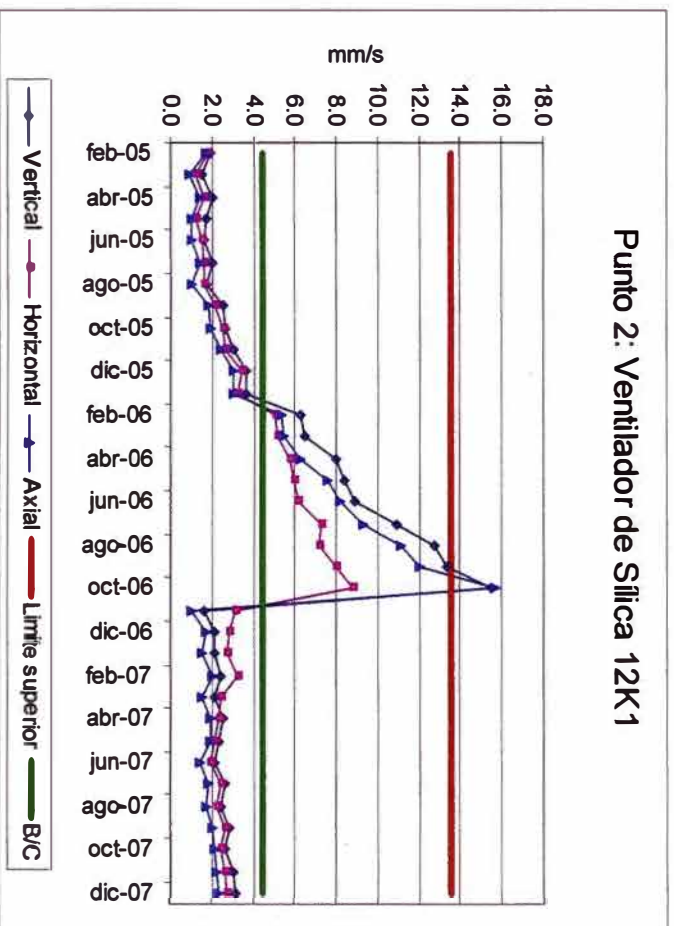
Diagnóstico N°	Fecha
D25	Feb-05
D26	Oct-06



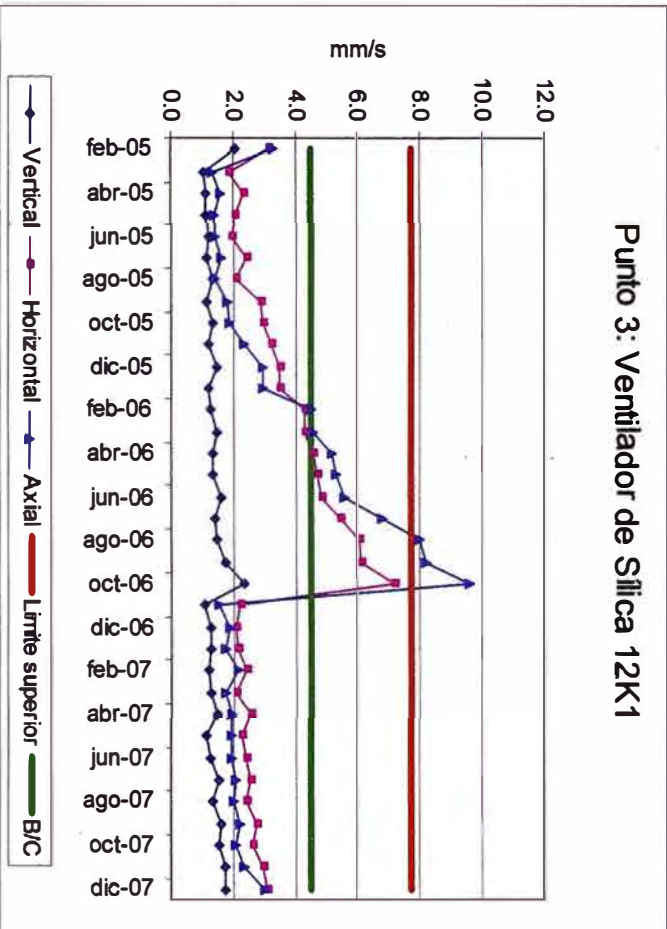
Punto 1: Ventilador de Sílica 12K1



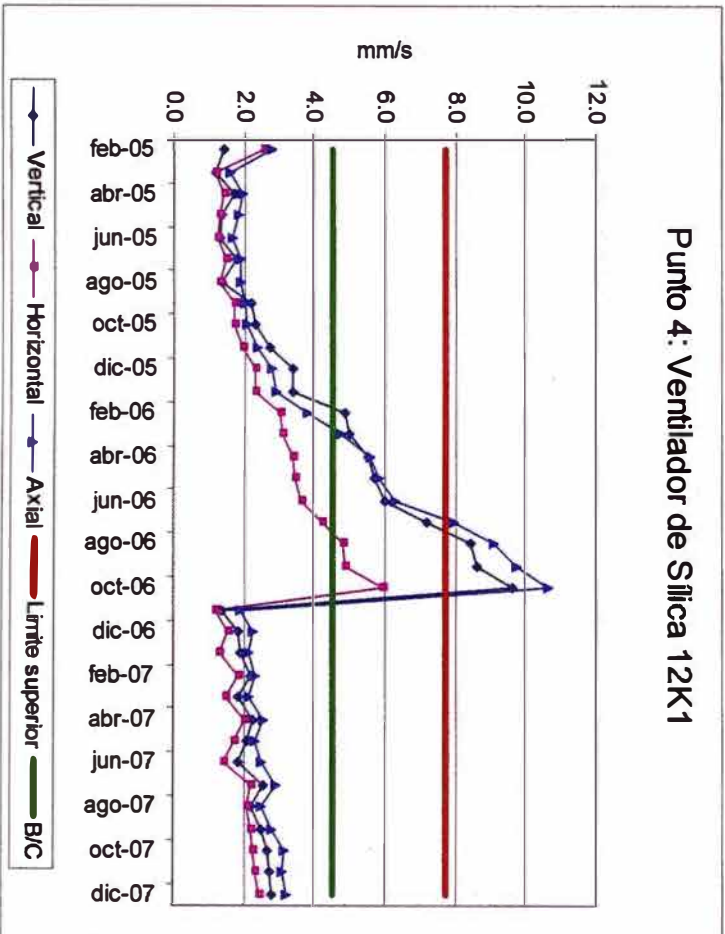
Punto 2: Ventilador de Sílica 12K1

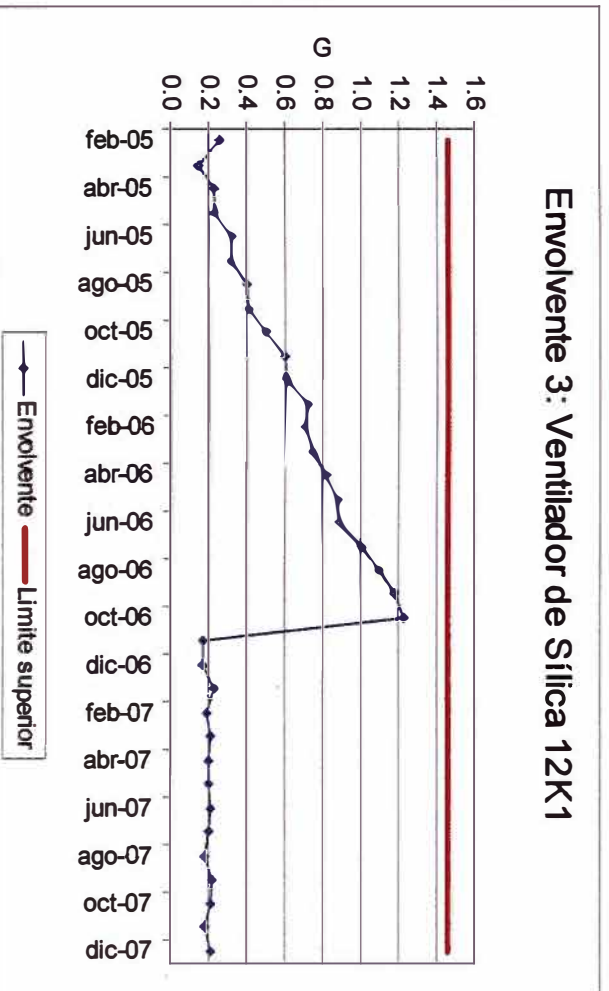
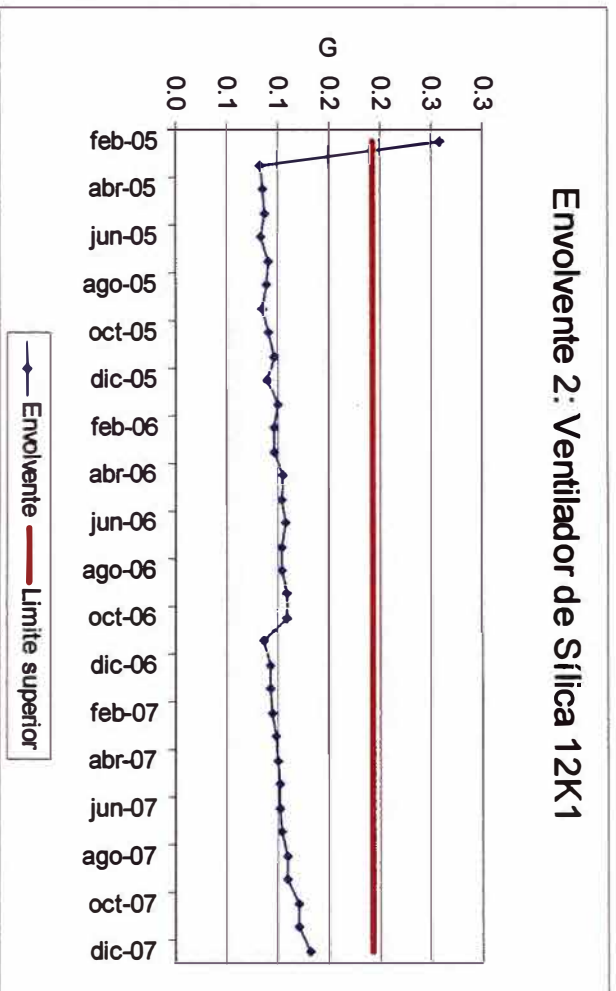
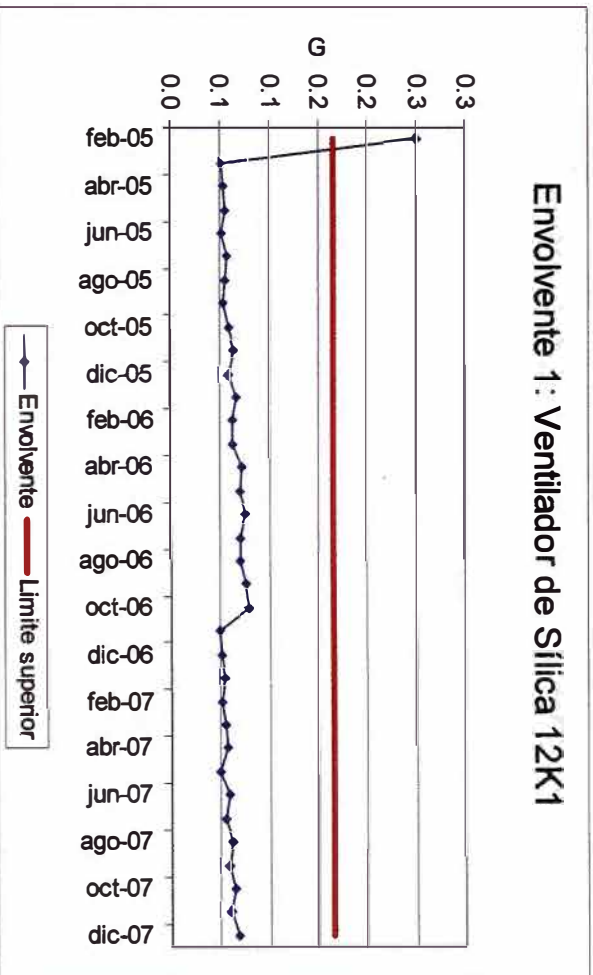


Punto 3: Ventilador de Silica 12K1

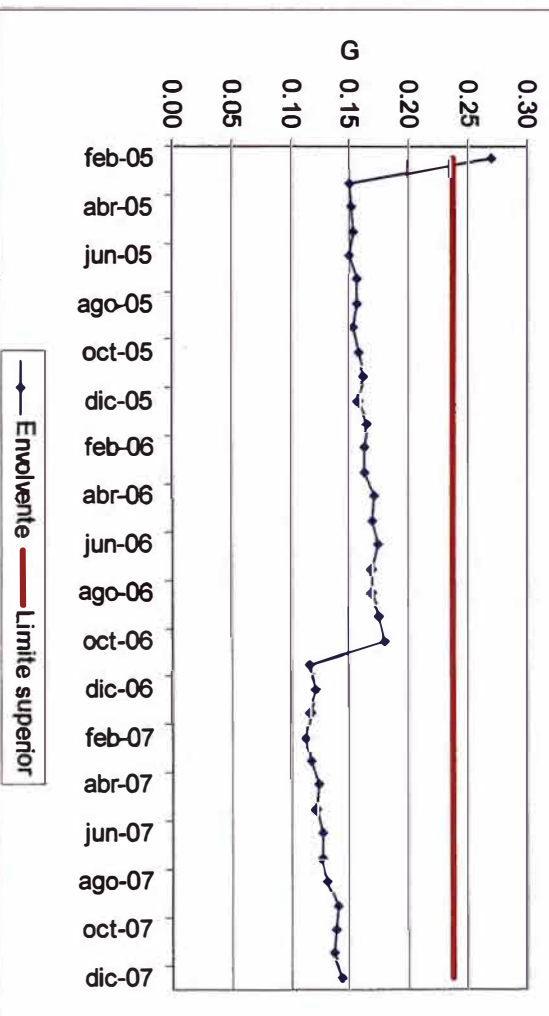


Punto 4: Ventilador de Silica 12K1

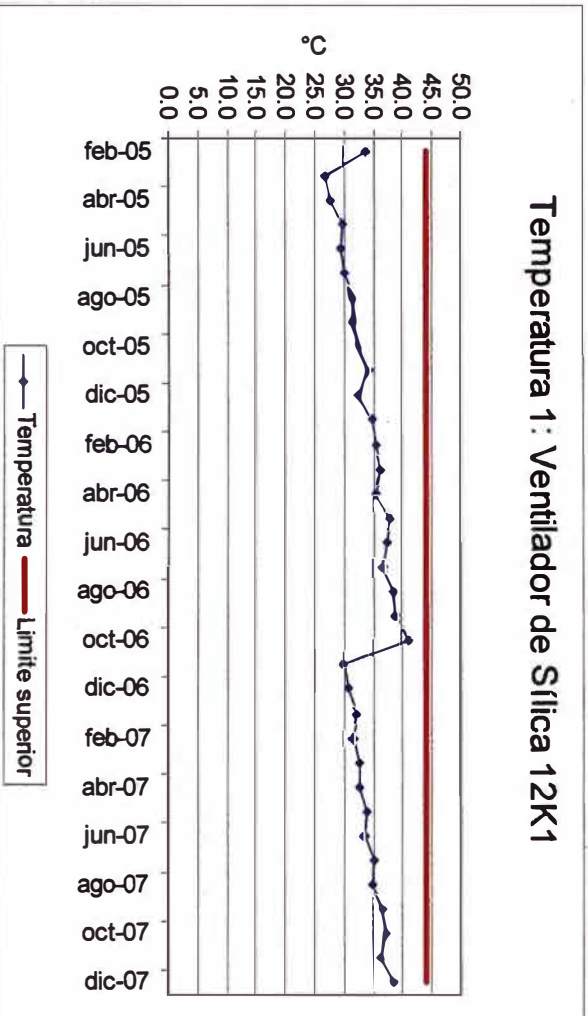




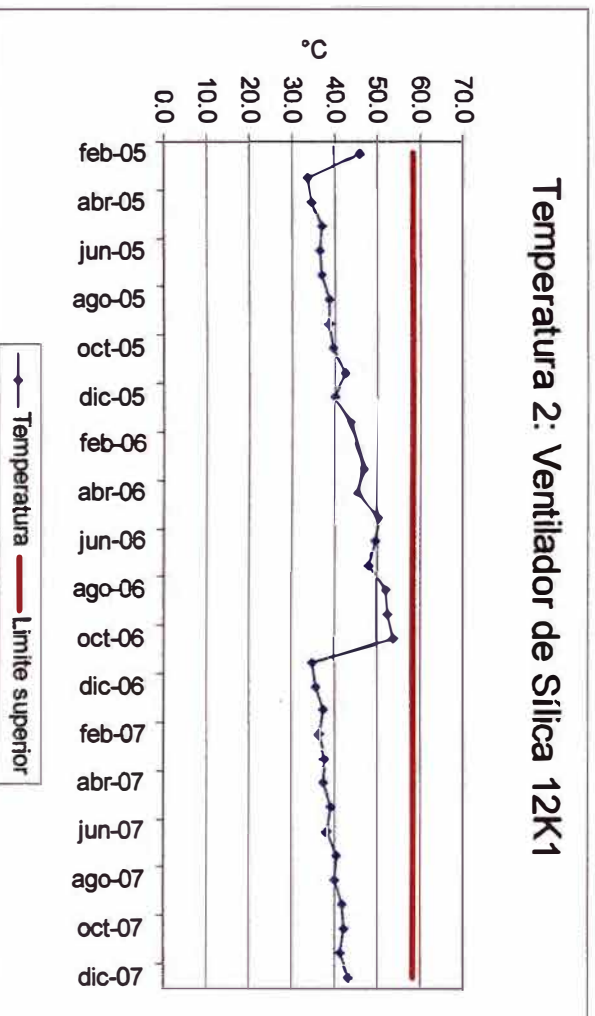
Envolvente 4: Ventilador de Sílica 12K1

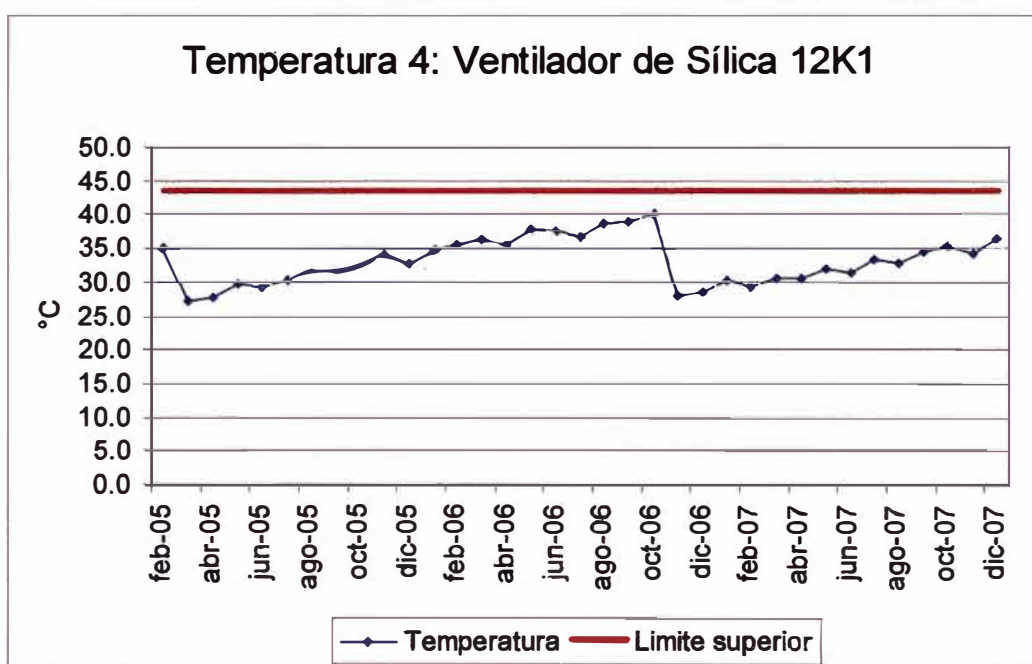
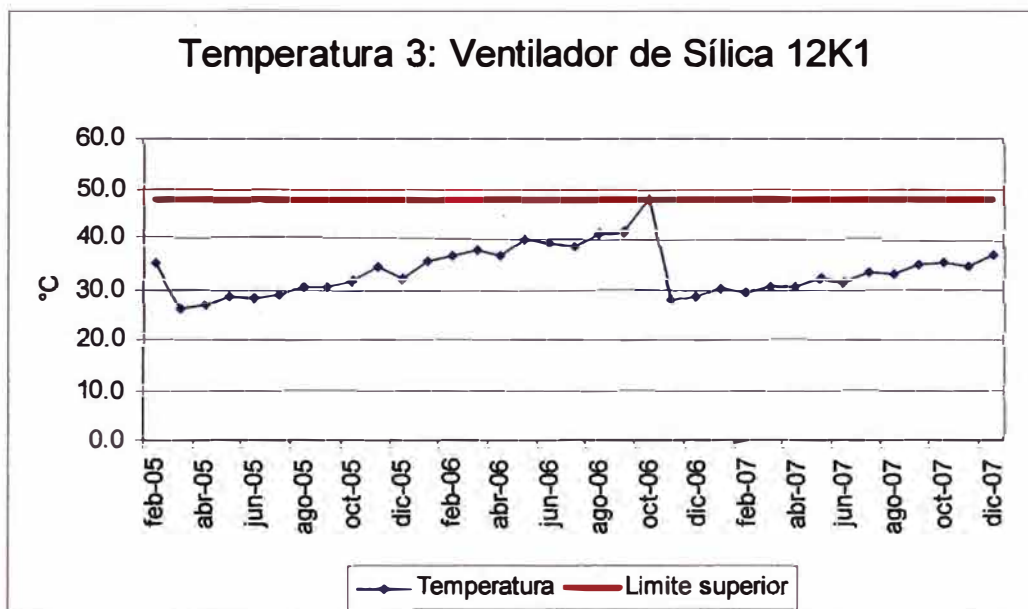


Temperatura 1: Ventilador de Sílica 12K1



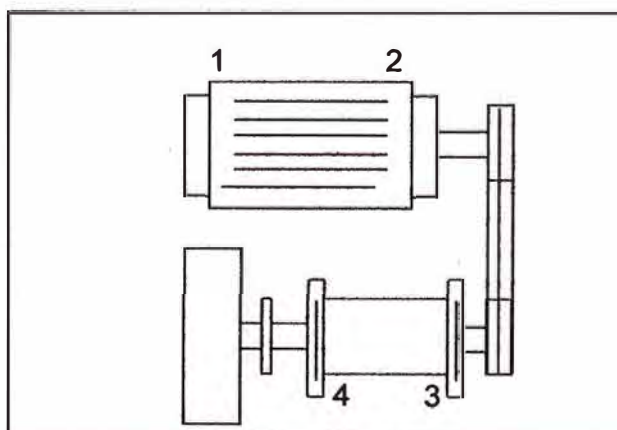
Temperatura 2: Ventilador de Sílica 12K1

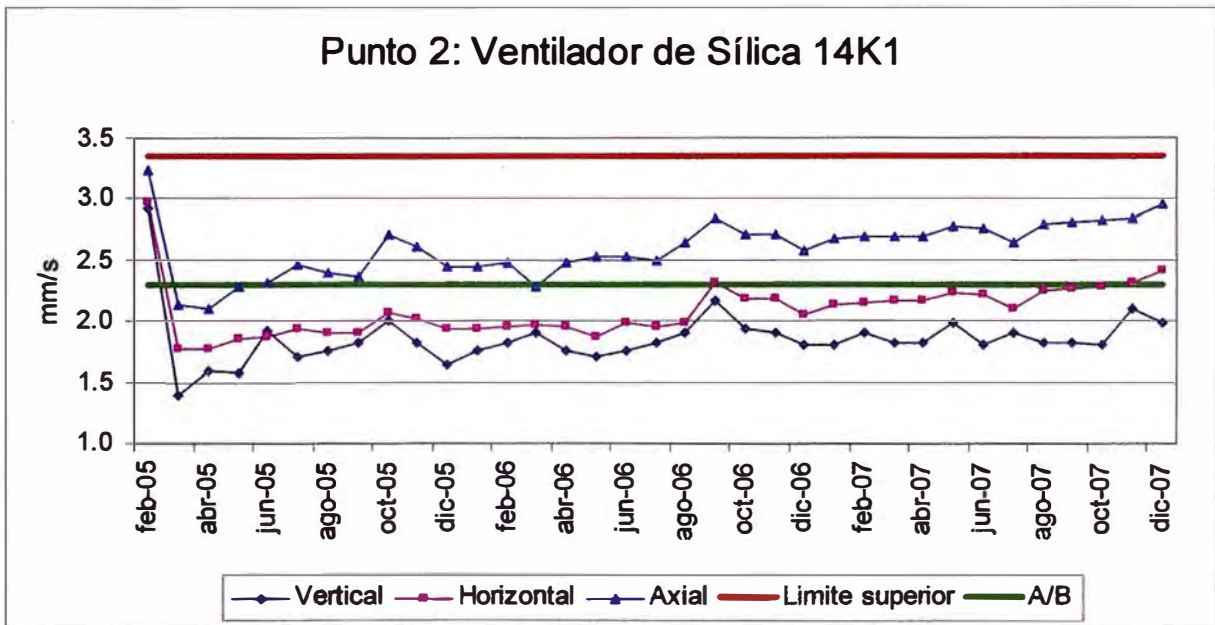
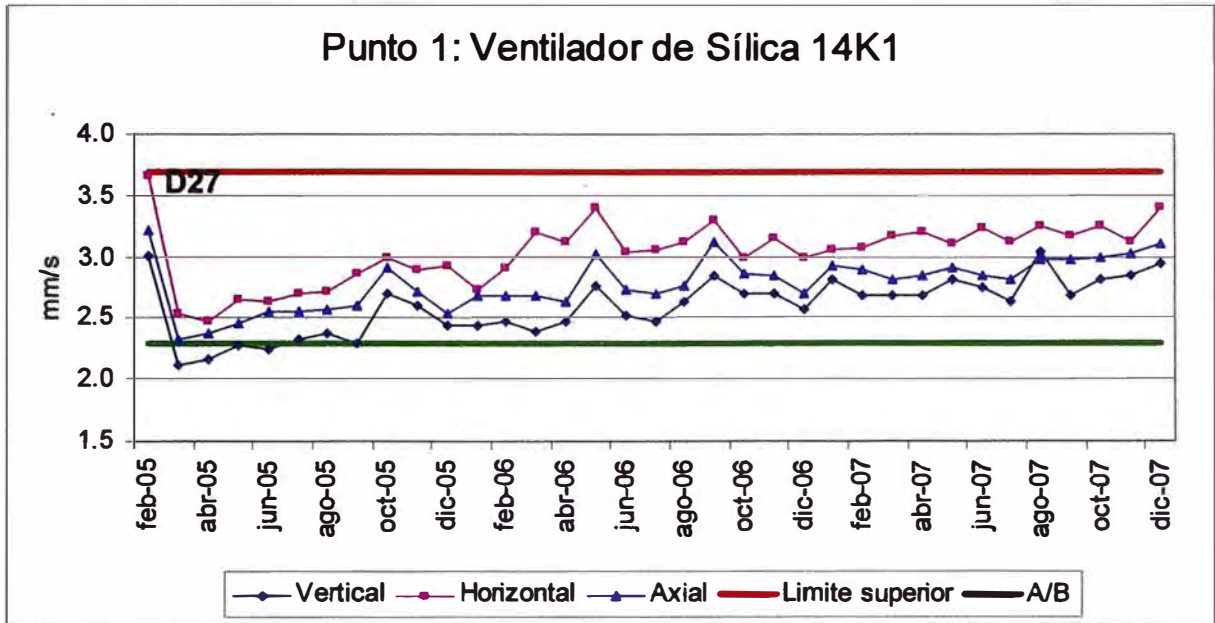


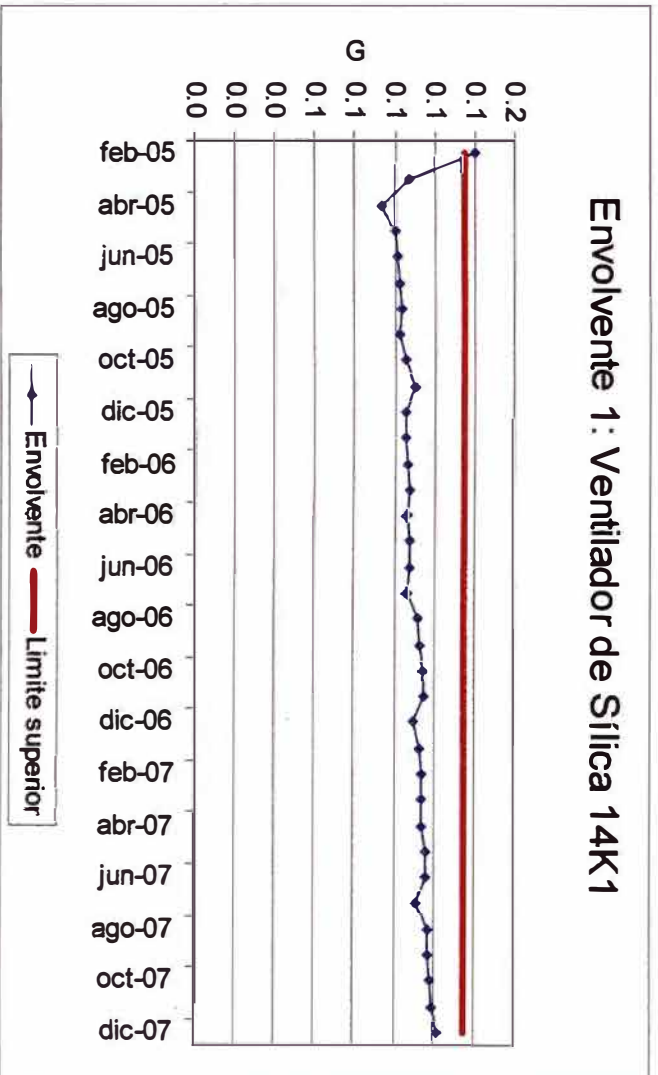
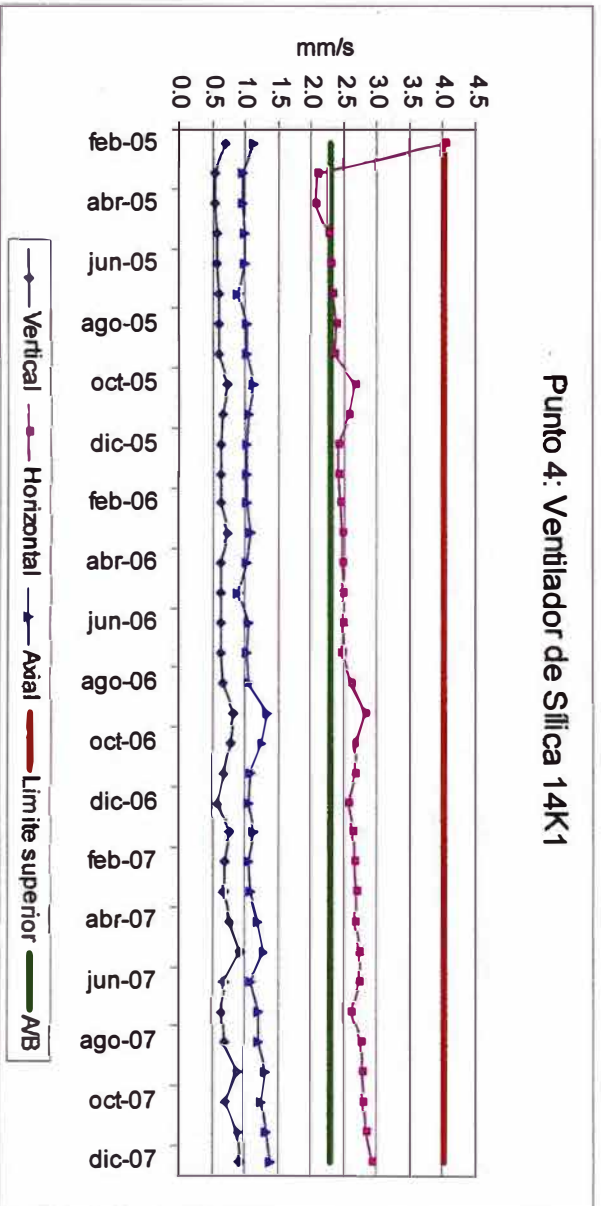
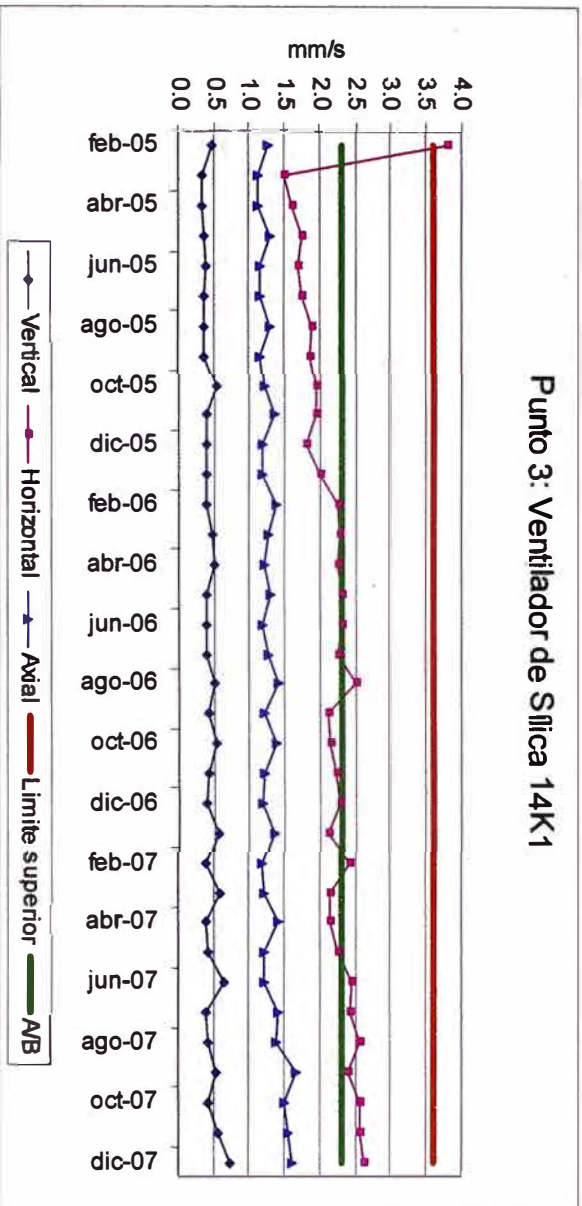


3.4.3 Equipo 5058: Ventilador de Sílica 14K1

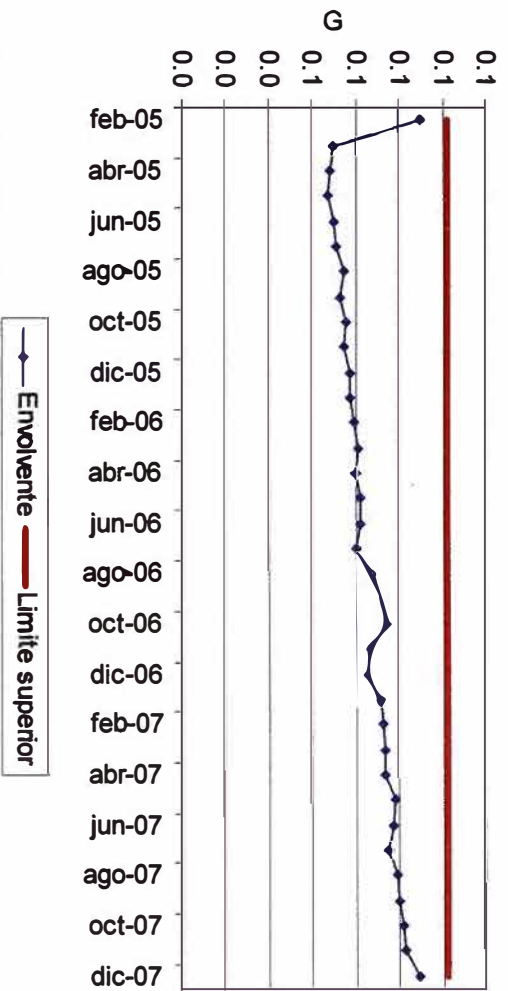
Diagnóstico N°	Fecha
D27	Feb-05



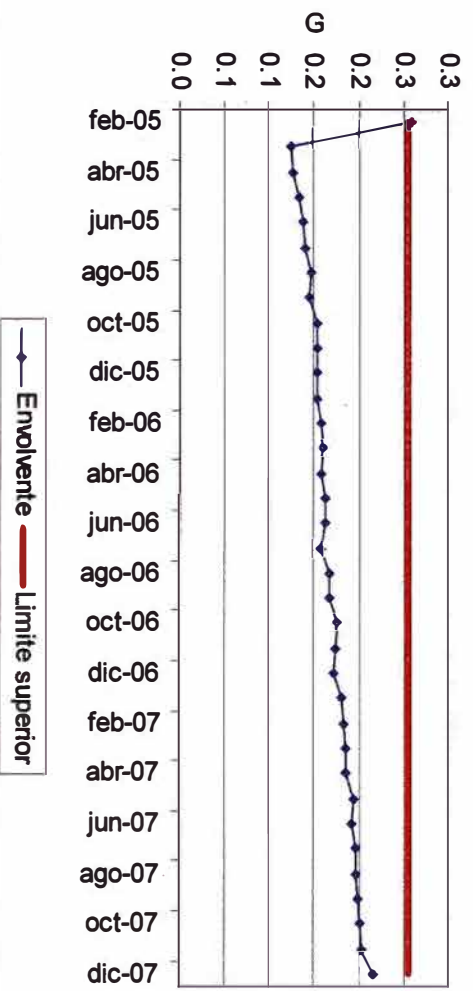




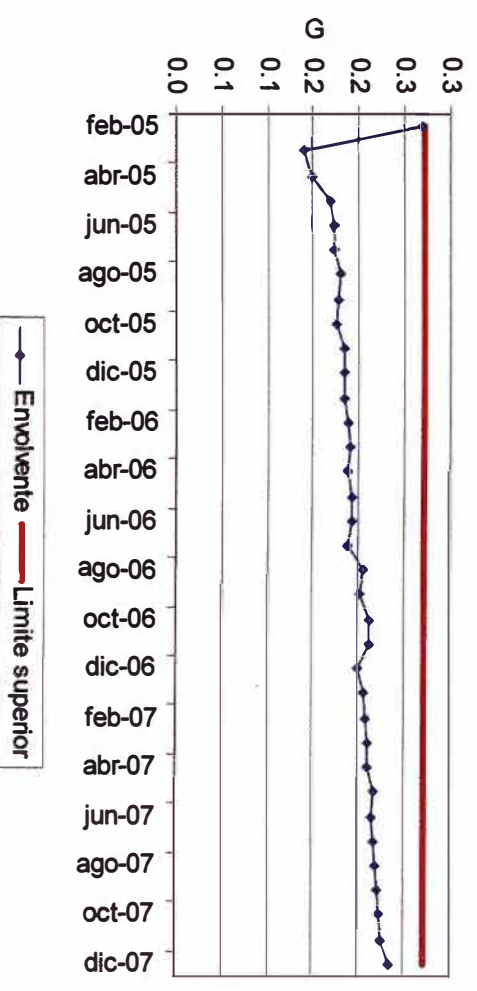
Envolvente 2: Ventilador de Silica 14K1



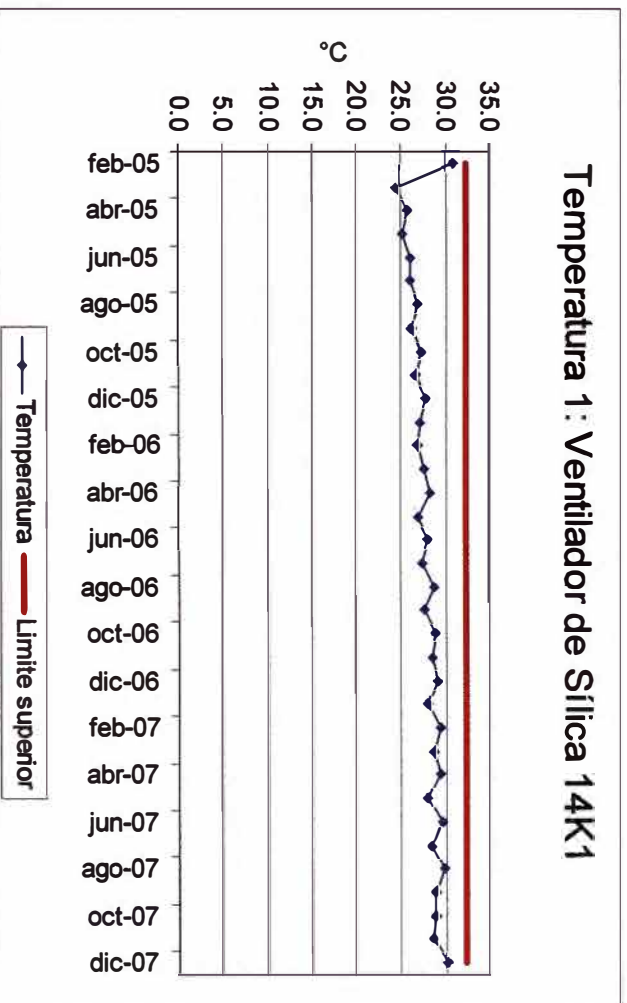
Envolvente 3: Ventilador de Silica 14K1



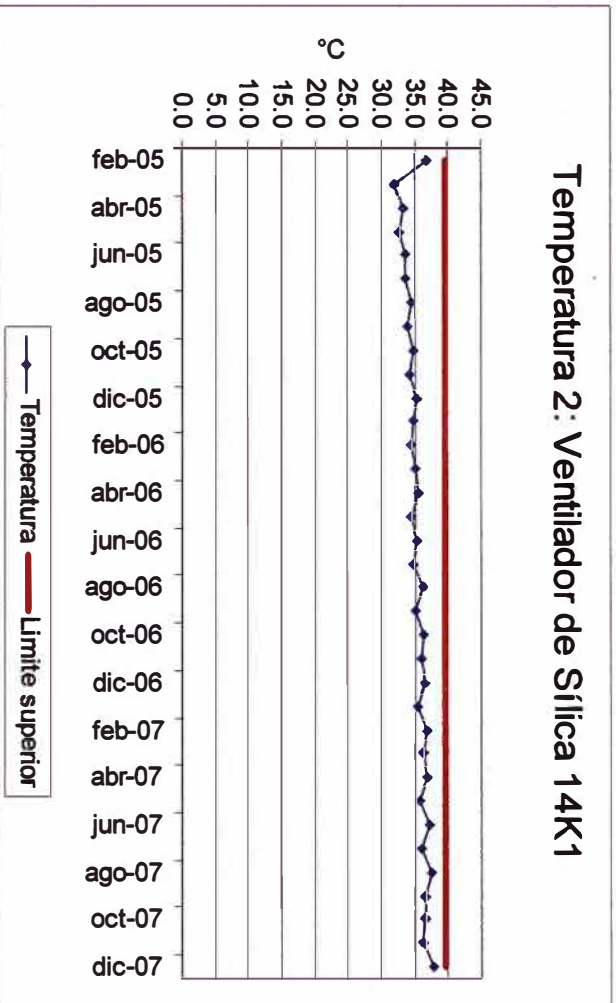
Envolvente 4: Ventilador de Silica 14K1



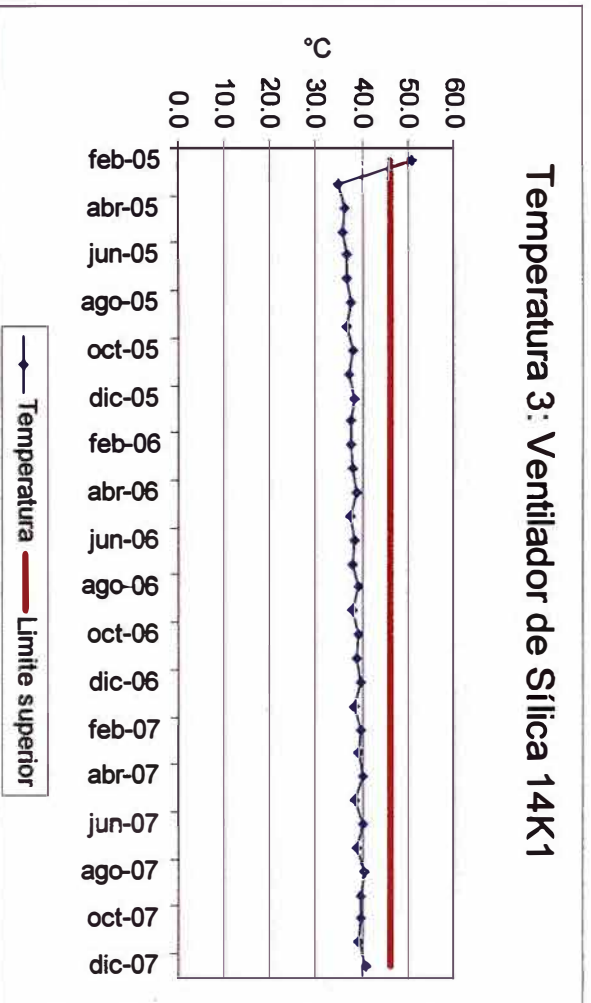
Temperatura 1: Ventilador de Sílica 14K1

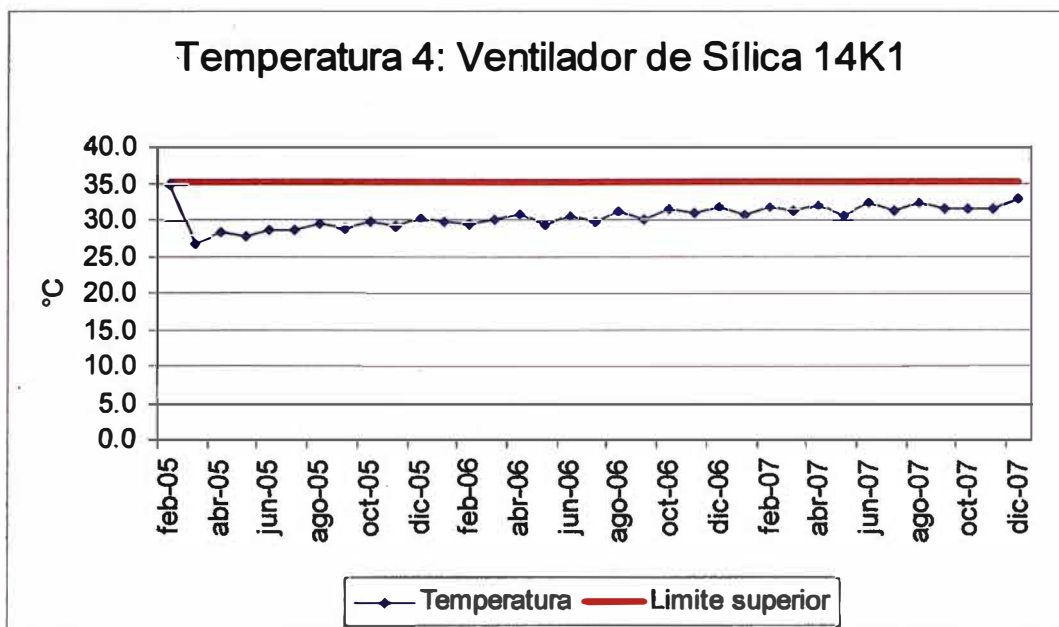


Temperatura 2: Ventilador de Sílica 14K1



Temperatura 3: Ventilador de Sílica 14K1





CAPITULO IV

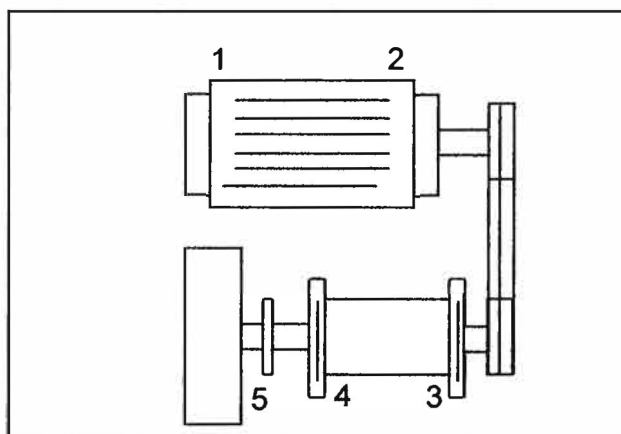
DIAGNOSTICO DE FALLAS Y RECOMENDACIONES CORRECTIVAS

Para el diagnóstico de las fallas se aplicarán los conceptos y técnicas descritos en el Capítulo I; es preciso indicar que los diagnósticos de este capítulo corresponden al análisis vibracional ejecutado al detectar un registro de vibraciones por encima de los límites establecidos en el numeral 2.6.3 del Capítulo II. El equipo utilizado es el Colector / Analizador Espectral de Vibraciones DSP Logger SEMAPI, modelo MX300. [9..17]

4.1 Diagnósticos de equipos críticos de la Planta de Ácido Sulfónico

4.1.1 Equipo 5040: Torre de enfriamiento Marley 1

Diagnóstico N°	Fecha
D1	Feb-05
D2	Jul-05
D3	Ene-07
D4	Nov-07



DIAGNÓSTICO D1

MOTOR

- Desbalanceado.

VENTILADOR

- Presenta fuerte vibración por resonancia de su estructura conformante por influencia de la Frecuencia de paso de alabe ($RPM * \#alabes$) = 2,353 CPM @ 65.65 mm/seg. (Boca de campana se encuentra no concéntrico respecto a las paletas de la hélice).

Velocidad: 1740 RPM

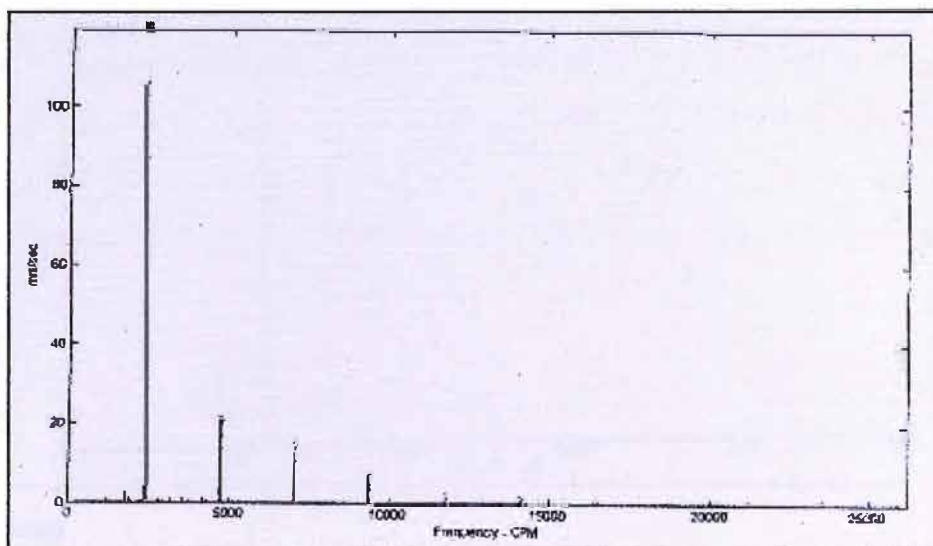
MOTOR: PUNTO 2V

Vibración RMS

5.35 mm/seg

Destacando los componentes de:

	CPM	mm/seg
1	2363.12	106.220
2	4706.25	20.847
3	7050.00	14.615
4	9403.12	7.517
5	11756.20	1.781
6	14109.40	0.923
7	16453.10	0.314

**VIBRACIÓN TOTAL (mm/seg)**

Posición	Unidad	Puntos de medición				
		1	2	3	4	5
V	mm/seg	5.35	4.43			
H	mm/seg	4.95	5.84	7.28	10.84	7.12.
A	mm/seg	4.63	3.82			
ENV (GE)	G					
T	°C					

DIAGNÓSTICO D2

MOTOR Y VENTILADOR

- Pernos y espárragos sueltos

Velocidad: 1730 RPM

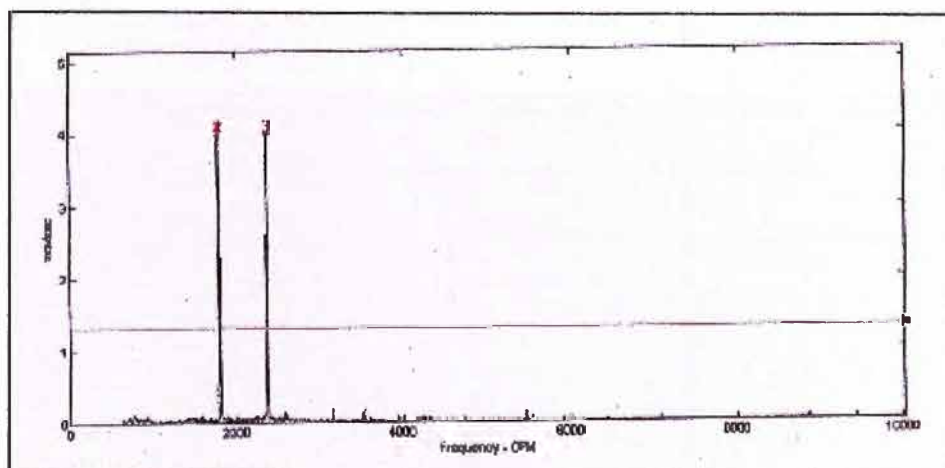
MOTOR: PUNTO 2A

Vibración RMS

6.463 mm/seg

Destacando los componentes de:

	CPM	mm/seg
1	1787.5	3.986
2	1787.5	9.986
3	2356.2	4.009

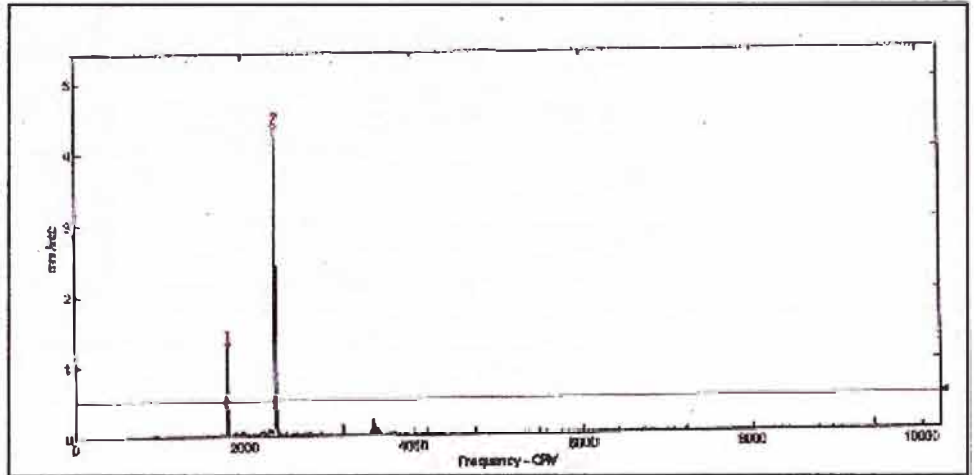


MOTOR: PUNTO 2V

Vibración RMS
4.964 mm/seg

Destacando los componentes de:

	CPM	mm/seg
1	1793.7	1.300
2	2356.2	4.378



VIBRACION TOTAL (mm/seg)

Posición	Unidad	Puntos de medición	
		1	2
V	mm/seg	4.300	4.964
H	mm/seg	3.995	2.475
ENV (GE)	G	0.206	0.124
A	mm/seg	5.869	6.463
T	°C	31	35

DIAGNÓSTICO D3

MOTOR

- Rodamientos en condición normal. Recibe influencia del lado ventilador por la frecuencia de paso de alabes (BPF)= 2356, CPM=4.52 mm/seg, y la frecuencia de salida de l reductor (393 CPM). Niveles de envolvente: 1E=0.109, 2E=0.092 Gs.

CAMPANA FIBRA DE VIDRIO/PLATAFORMA DE MADERA

- Resonancia de su estructura conformante por excitación de la frecuencia de paso de alabes (BPF)=2356 CPM del ventilador.

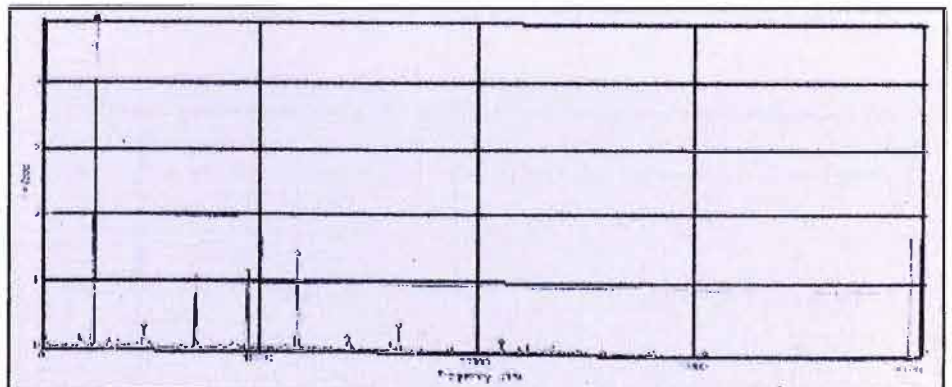
Velocidad: 1730 RPM

MOTOR: PUNTO 1A

Vibración RMS
5.434 mm/seg

Destacando los componentes de:

	CPM	mm/seg
1	2362.5	4.5225
2	4725.0	0.3126
3	7087.5	1.0385
4	9450.0	1.1540
5	11812.5	1.1336
6	14175.0	0.1809
7	16537.5	0.3758



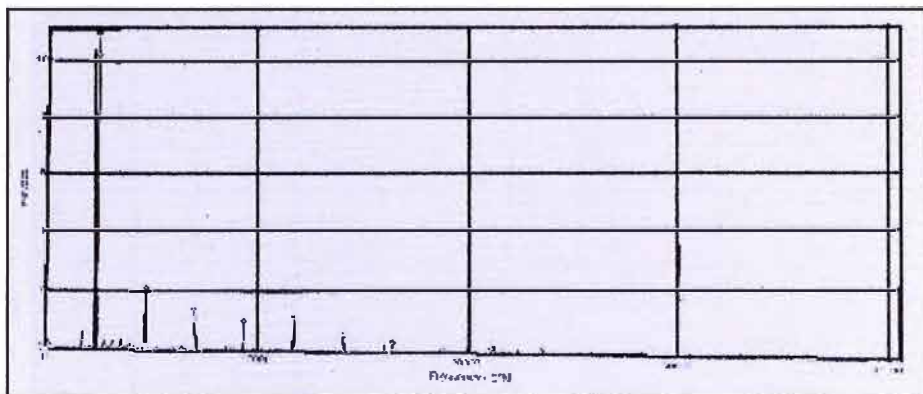
**PUNTO REFERENCIAL
EN LA PLATAFORMA
DE MADERA DEL
LADO DEL MOTOR**

Vibración RMS

10.182 mm/seg

Destacando los
componentes de:

	CPM	mm/seg
1	2362.5	10.1829
2	4725.0	2.0787
3	7087.5	1.4062
4	3450.0	1.0170
5	11812.5	1.1212
6	14175.0	0.5689



VIBRACIÓN TOTAL (mm/seg)

Posición	Unidad	Puntos de medición	
		1	2
V	mm/seg	3.578	2.518
H	mm/seg	4.152	2.878
ENV (GE)	G	0.109	0.092
A	mm/seg	5.434	3.090
T	°C	32	38

DIAGNOSTICO D4

MOTOR

- Defecto por resonancia estructural del soporte, presenta zonas resonantes bajo la velocidad rotativa 1800 CPM @ 4.39 mm/seg. Recibe influencia vibracional del lado del ventilador por frecuencia de paso de alabes (BPF) = 2362 CPM @ 4.0 mm/seg.

CAMPANA FIBRA DE VIDRIO / PLATAFORMA DE MADERA

- Resonancia de su estructura por excitación de la frecuencia de paso de alabes BPF = 2362 CPM @ 251.1 mm/seg. Hélice desbalanceada.

Velocidad: 1740 RPM

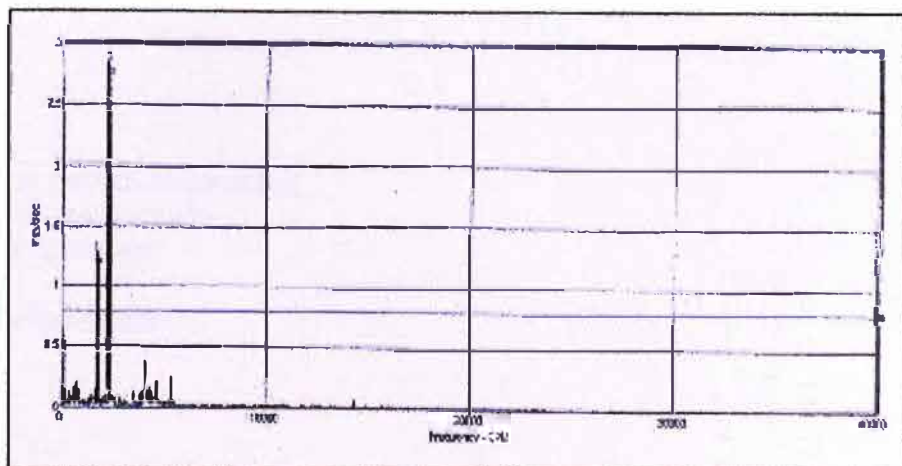
VENTILADOR: PUNTO 2V

Vibración RMS

5.39 mm/seg

Destacando los
componentes de:

	CPM	mm/seg
1	1800.0	1.2103
2	2362.5	2.7779

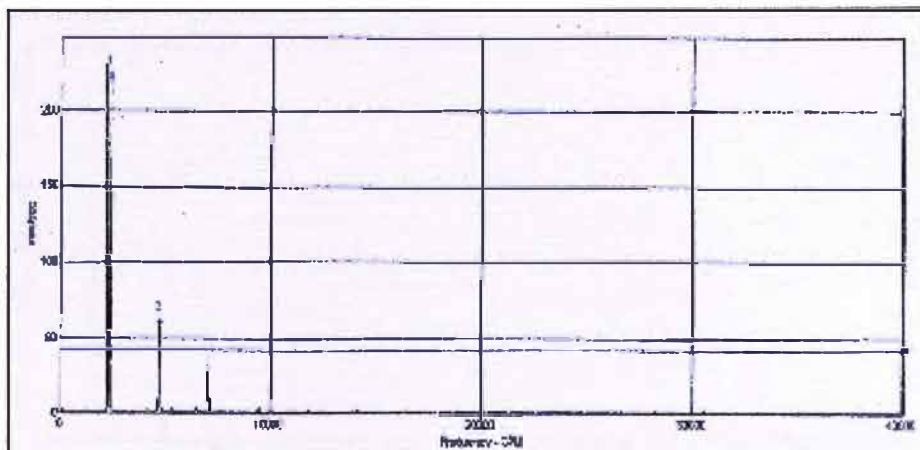


CAMPANA: PUNTO P4

Vibración RMS
251.4 mm/seg

Destacando los
componentes de:

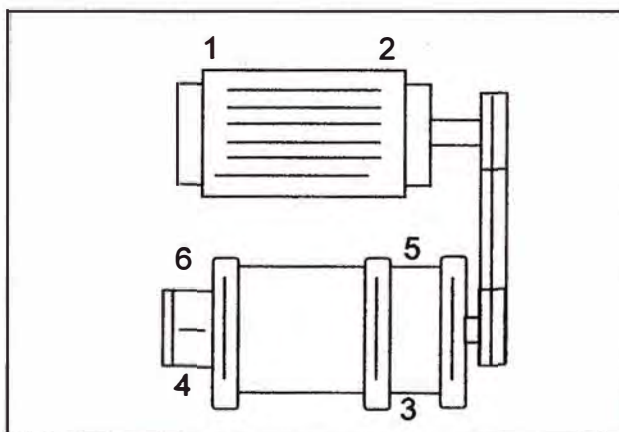
	CPM	mm/seg
1	2362.5	223.998
2	4687.5	60.443

**VIBRACIÓN TOTAL (mm/seg)**

Posición	Unidad	Puntos de medición			
		1	2	Campana	Plataforma
V	mm/seg	5.05	5.39	P1: 194.8	P1: 57.89
H	mm/seg	3.26	3.04	P2: 166.4	P2: 31.44
ENV (GE)	G	0.12	0.12	P3: 184.7	P3: 21.12
A	mm/seg	4.13	3.48	P4: 251.1	P4: 11.89
T	°C	35	43		

4.1.2 Equipo 5041-5042: Compresor Omel

Diagnóstico N°	Fecha
D5	Feb-05
D6	Jun-06
D7	Oct-07

**DIAGNOSTICO D5****MOTOR**

- Base de motor con fijación de pernos incorrecta.
- Desalineamiento en poleas de transmisión.
- Fuga de aceite en lado de engranajes.

COMPRESOR

- Desbalanceo del conjunto polea-motor

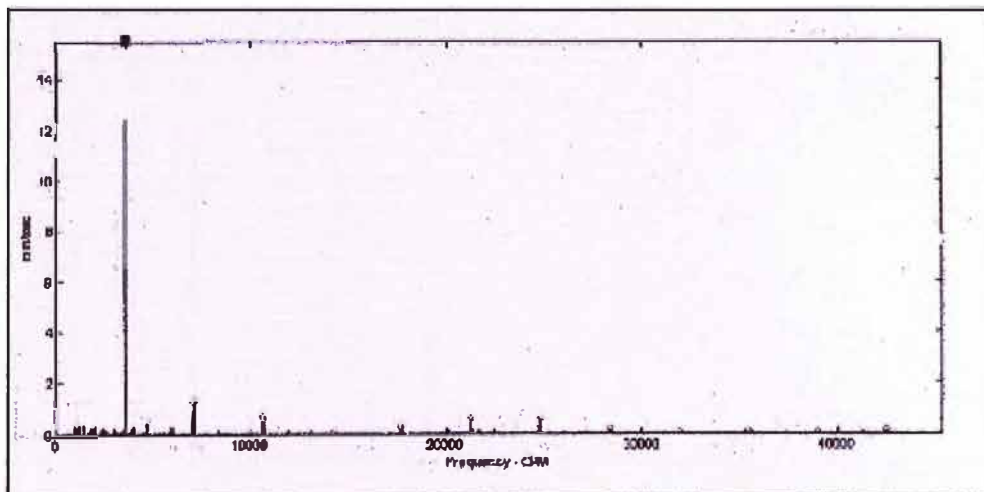
Velocidad: 1783 RPM

MOTOR: PUNTO 1A

Vibración RMS
12.66 mm/seg

Destacando los
componentes de:

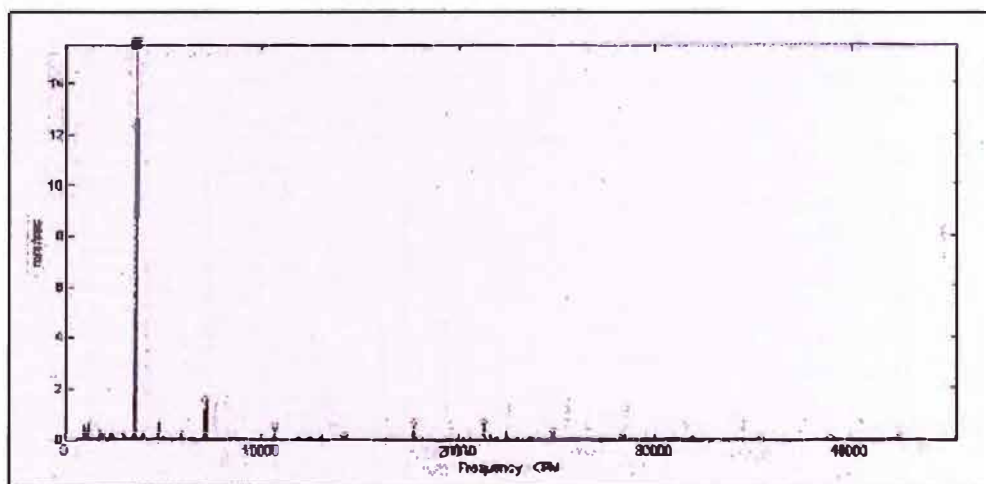
	CPM	mm/seg
1	3543.7	12.4446
2	7087.5	1.3032
3	10634.2	0.6796
4	14175.0	0.0253
5	17718.8	0.3130
6	21262.5	0.5843
7	24806.2	0.5213

**MOTOR: PUNTO 2A**

Vibración RMS
12.55 mm/seg

Destacando los
componentes de:

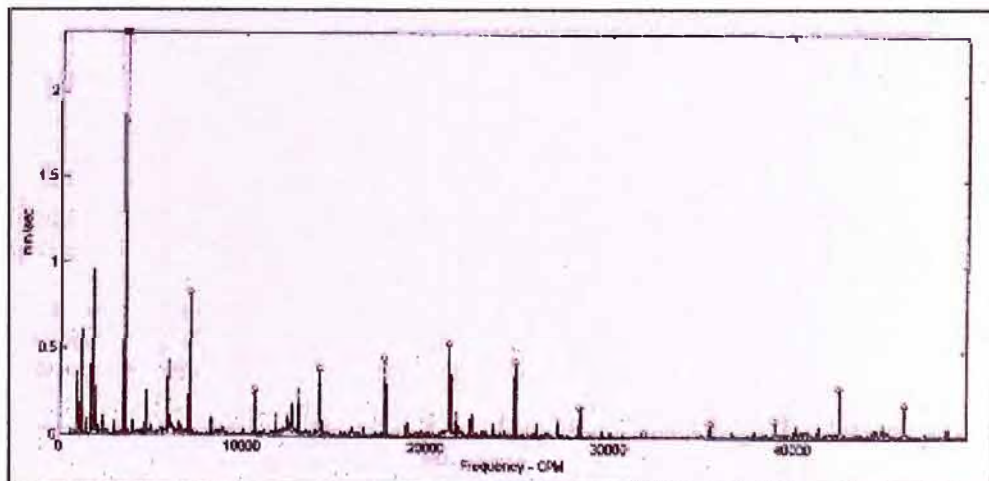
	CPM	mm/seg
1	3543.7	12.2514
2	7087.5	1.5262
3	10634.2	0.4709
4	14175.0	0.1229
5	17718.8	0.6411
6	21262.5	0.6248
7	24806.2	0.3241

**MOTOR: PUNTO 2V**

Vibración RMS
2.93 mm/seg

Destacando los
componentes de:

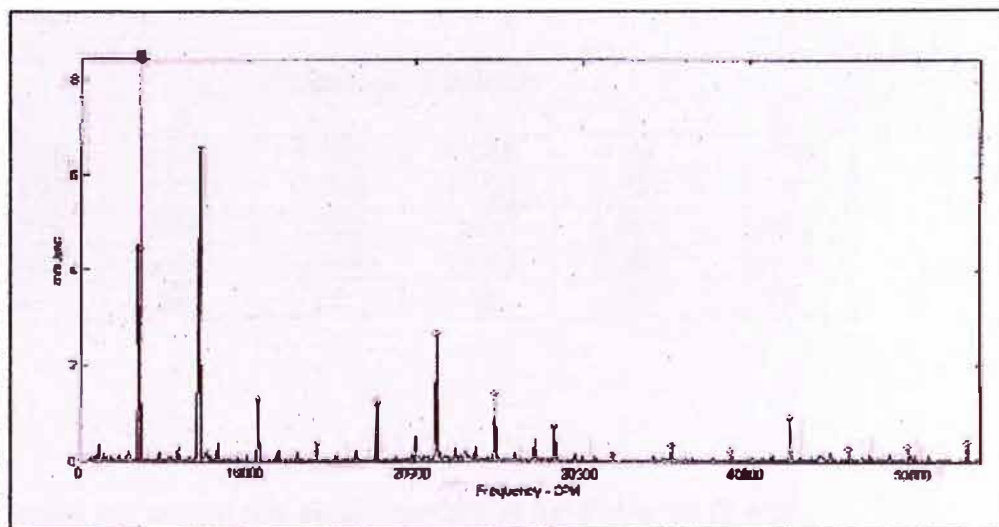
	CPM	mm/seg
1	3543.7	1.8179
2	7087.5	0.8221
3	10634.2	0.2566
4	14175.0	0.3872
5	17718.8	0.4541
6	21262.5	0.5372
7	24806.2	0.4331



**COMPRESOR:
PUNTO 3H**
Vibración RMS
9.50 mm/seg

Destacando los
componentes de:

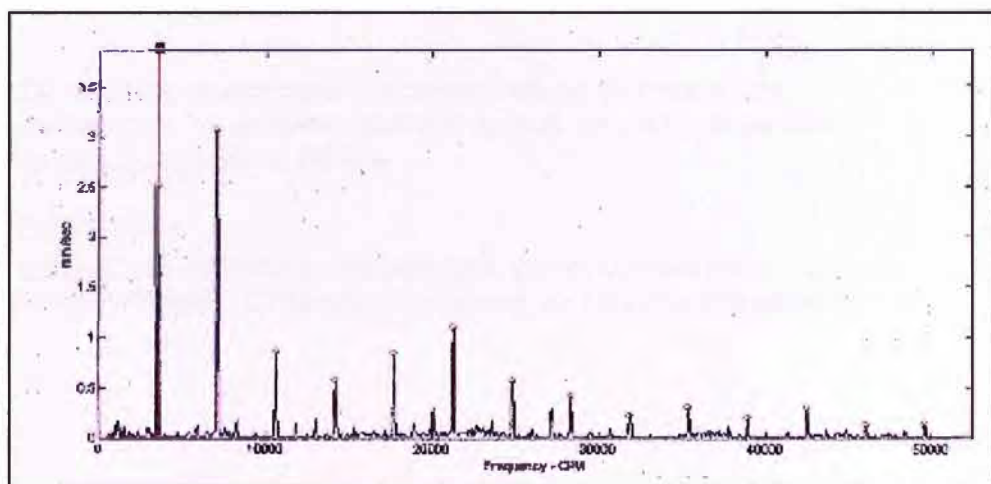
	CPM	mm/seg
1	3543.7	4.4411
2	7087.5	6.5978
3	10634.2	1.2890
4	14175.0	0.3800
5	17718.8	1.2501
6	21262.5	2.6641
7	24806.2	1.4191



**COMPRESOR:
PUNTO 5H**
Vibración RMS
9.69 mm/seg

Destacando los
componentes de:

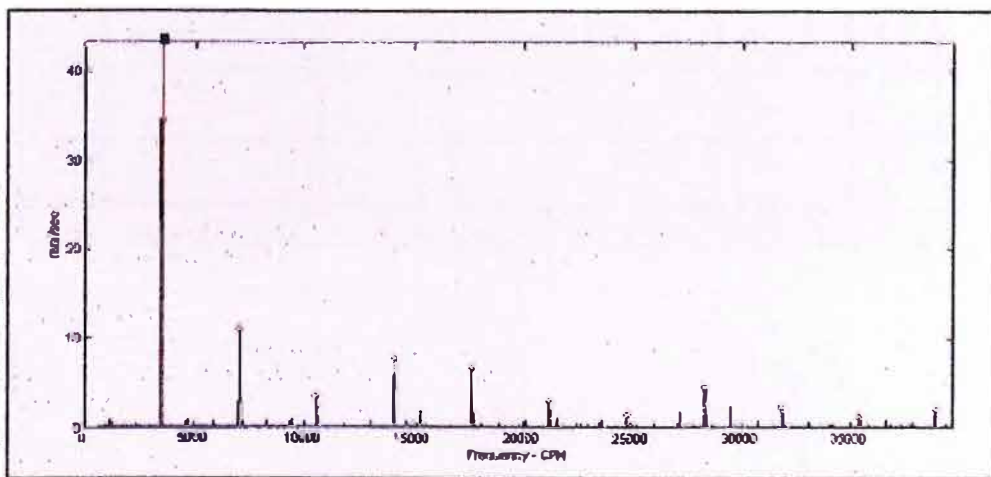
	CPM	mm/seg
1	3543.7	2.5029
2	7087.5	3.0588
3	10634.2	0.8456
4	14175.0	0.5839
5	17718.8	0.8296
6	21262.5	1.0953
7	24806.2	



**PUNTO REFERENCIAL
DE LA ESTRUCTURA
LADO MOTOR**

Destacando los
componentes de:

	CPM	mm/seg
1	3543.7	34.4248
2	7087.5	10.9285
3	10634.2	3.3866
4	14175.0	7.7115
5	17718.8	6.6351
6	21262.5	2.8777
7	24806.2	1.3885



VIBRACIÓN TOTAL (mm/seg)

Posición	Unidad	Puntos de medición					
		1	2	3	4	5	6
V	mm/seg	7.930	2.930	9.307	7.389	7.96	7.593
H	mm/seg	6.720	6.670	9.506	5.708	9.697	6.721
ENV (GE)	G	0.572	0.541	1.452	1.436	1.407	1.688
A	mm/seg	12.660	12.550	12.850	11.53	7.099	8.176
T	°C	42	56	72	76	74	78

DIAGNOSTICO D6**MOTOR**

- Presenta vibración compuesta por armónicos de su frecuencia fundamental (3,459 CPM), acompañado de ruido de fondo, destacando su primera armónica 1X=3487 CPM con la componente 4.42 mm/seg en el plano axial. Rodamientos en condición normal.

COMPRESOR

- Vibración máxima 3A=11.09 mm/seg, compuesto por armónicos de su frecuencia fundamental (3487 CPM) destacando en el plano axial los puntos 3A y 4A; niveles de envolvente con alta energía de impacto 6E=1.66 G's.

PLATAFORMA PLANCHA DE FIERRO

Presenta alta vibración por resonancia estructural, influenciado por el compresor, destacando su primera armónica 1X=3487, CPM=32.49 mm/seg, se observa rotura de uniones de soldadura.

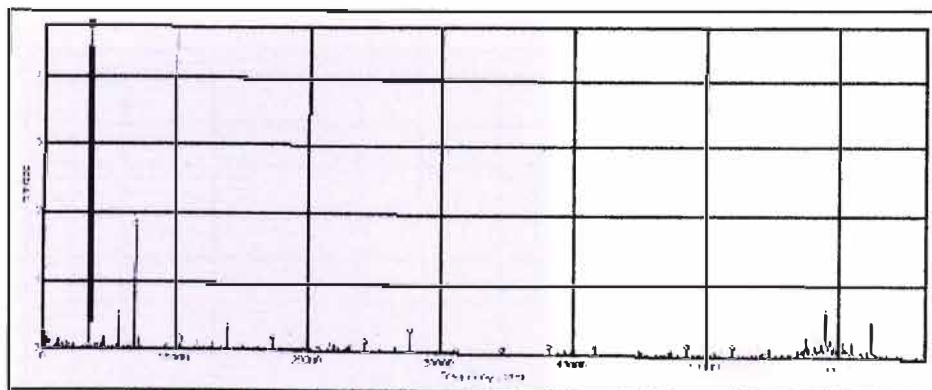
Velocidad: 1785 RPM

MOTOR: PUNTO 2A

Vibración RMS
5.835 mm/seg

Destacando los
componentes de:

	CPM	mm/seg
1	3487.5	4.4229
2	6975.0	1.9310
3	10462.5	0.1777
4	13950.0	0.3468
5	17437.5	0.1904



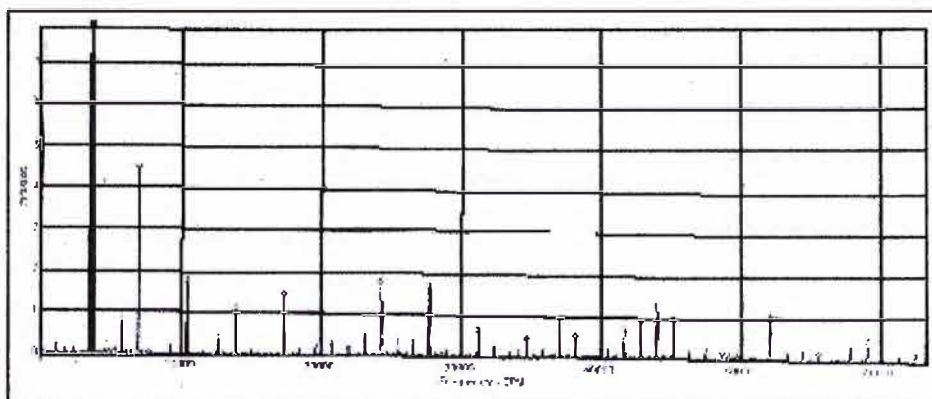
COMPRESOR:**PUNTO 3A**

Vibración RMS

11.09 mm/seg

Destacando los
componentes de:

	CPM	mm/seg
1	3407.5	7.3464
2	6975.0	4.4951
3	10462.5	1.7591
4	13950.0	1.0057
5	17437.5	1.4751
6	10925.0	0.3099
7	24415.5	1.7873

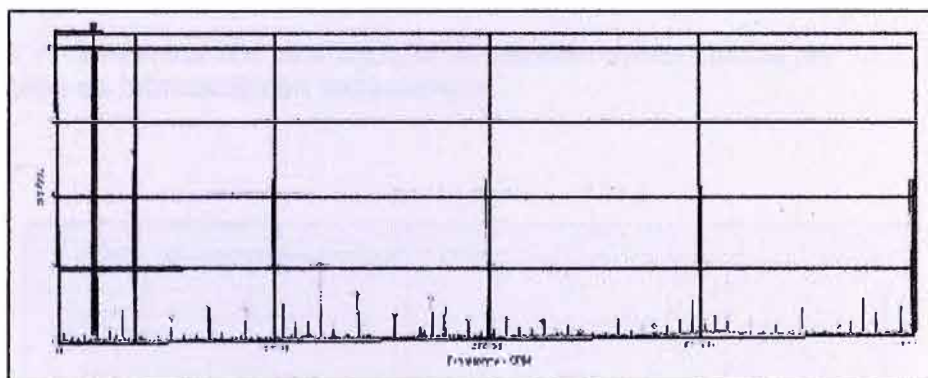
**COMPRESOR:****PUNTO 4A**

Vibración RMS

10.99 mm/seg

Destacando los
componentes de:

	CPM	mm/seg
1	3407.5	7.9424
2	6975.0	5.1432
3	10462.5	0.6620
4	13950.0	0.8592
5	17437.5	0.8412
6	10925.0	0.9888
7	24415.5	2.0463

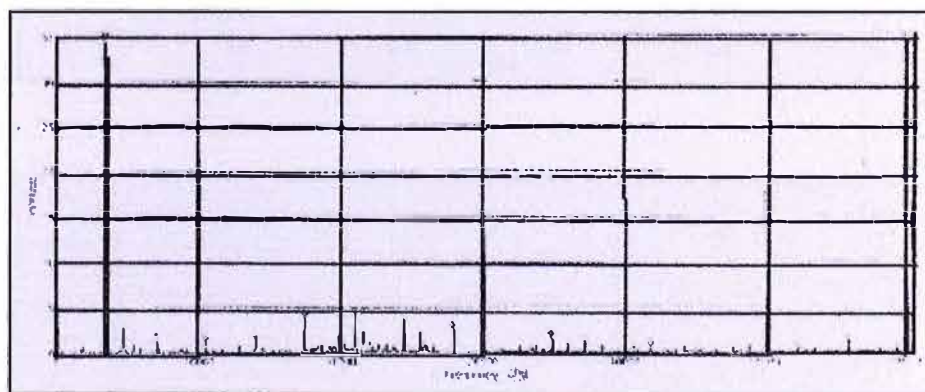
**PUNTO****REFERENCIAL EN LA
PLATAFORMA DE
FIERRO LADO****MOTOR**

Vibración RMS

32.49 mm/seg

Destacando los
componentes de:

	CPM	mm/seg
1	3407.5	32.4993
2	6975.0	1.8374
3	10462.5	1.4882
4	13950.0	1.6413
5	17437.5	4.2423
6	10925.0	4.4304
7	24415.5	3.4127



VIBRACIÓN TOTAL (mm/seg)

Posición	Unidad	Puntos de medición					
		1	2	3	4	5	6
V	mm/seg	3.215	3.750	7.008	7.769	6.973	6.705
H	mm/seg	4.463	2.942	7.470	6.206	8.528	7.293
ENV (GE)	G	0.457	0.552	1.241	1.327	3.1316	1.666
A	mm/seg	4.581	5.835	11.090	10.990	8.172	8.519
T	°C	42	54	78	79	76	78

DIAGNOSTICO 7**MOTOR**

- Rodamientos con defectos en inicio, acompañado de ruido de fondo por desgaste.

COMPRESOR

- Desalineamiento de poleas, rodamientos con alta energía de impacto influenciados por su condición operativa, exceso de lubricación en rodamientos.

Velocidad: 1785 RPM

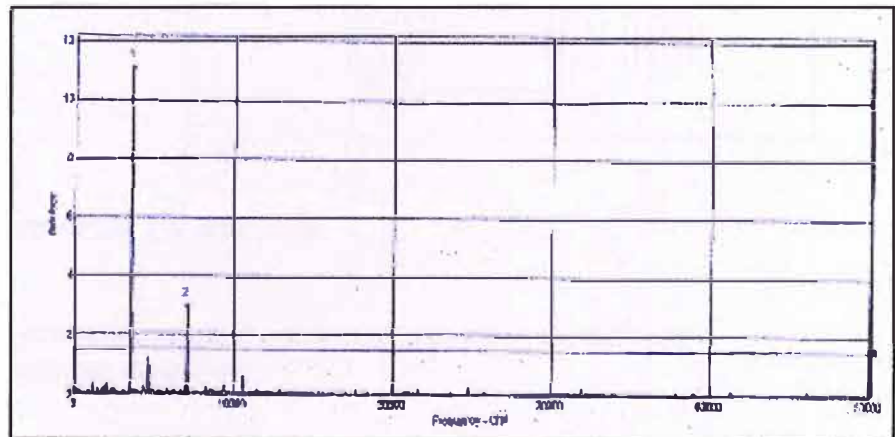
MOTOR: PUNTO 1V

Vibración RMS

11.68 mm/seg

Destacando los componentes de:

	CPM	mm/seg
1	3543.75	11.0968
2	7087.50	2.9680

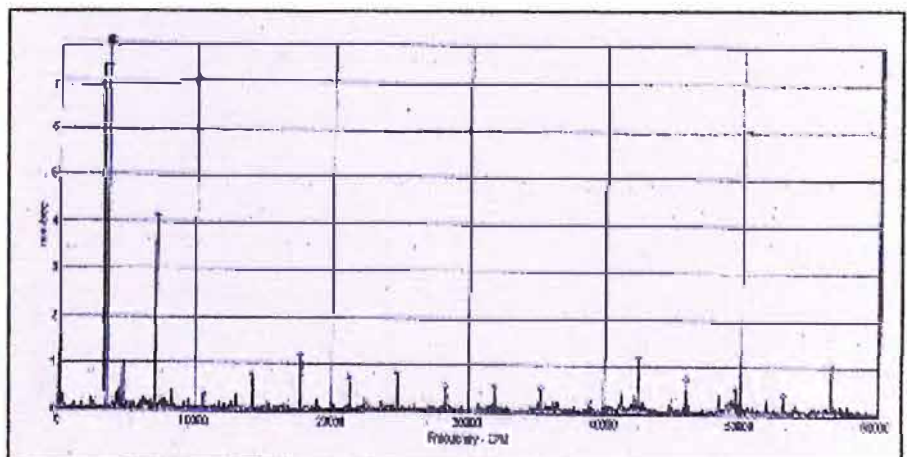
**COMPRESOR:****PUNTO 3A**

Vibración RMS

9.98 mm/seg

Destacando los componentes de:

	CPM	mm/seg
1	3543.80	7.3350
2	7087.50	4.1377
3	10631.20	0.3410
4	14175.00	0.7386

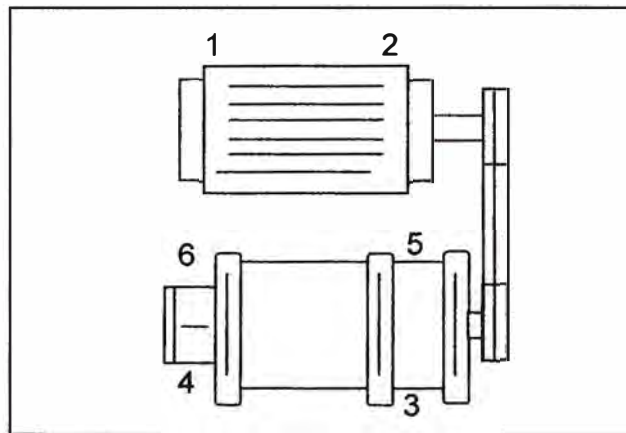


VIBRACIÓN TOTAL (mm/seg)

Posición	Unidad	Puntos de medición					
		1	2	3	4	5	6
V	mm/seg	11.68	3.27	5.71	6.77	4.85	5.09
H	mm/seg	3.46	3.89	9.19	6.43	8.40	6.75
ENV (GE)	G	0.39	0.41	1.20	1.51	1.08	1.19
A	mm/seg	8.80	9.45	9.98	9.27	6.71	6.52
T	°C	42	58	88	85	85	86

4.1.3 Equipo 5043: Motor del estabilizador 16MX2

Diagnóstico N°	Fecha
D8	Feb-05

**DIAGNOSTICO D8****MOTOR**

- Falta de rodamientos, ruido de fondo por desgaste.

BOMBA

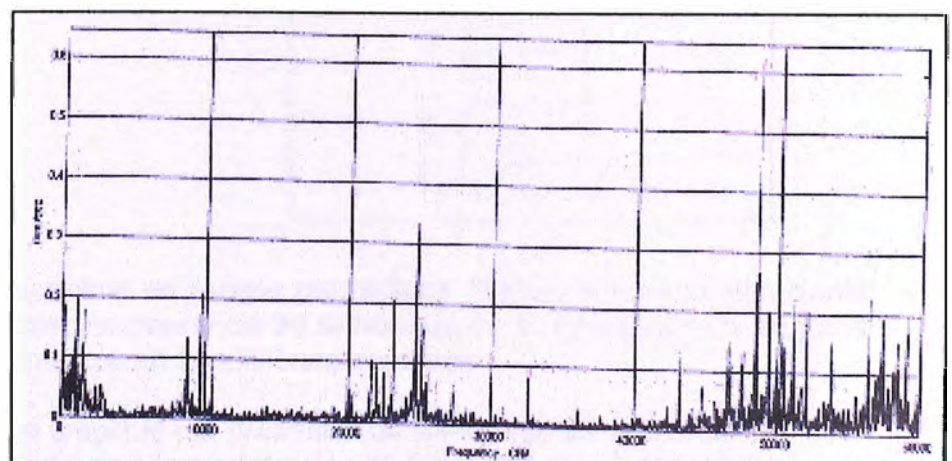
- Rodamientos con soltura mecánica, genera frecuencias naturales de defecto acompañado de ruido de fondo por desgaste.

Velocidad: 1790 RPM

MOTOR: PUNTO 1A

Vibración RMS

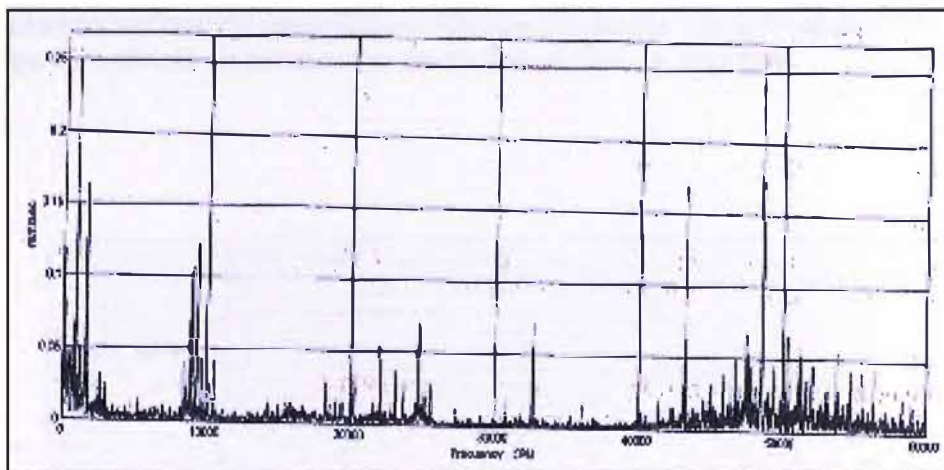
1.59 mm/seg



MOTOR: PUNTO 3H

Vibración RMS

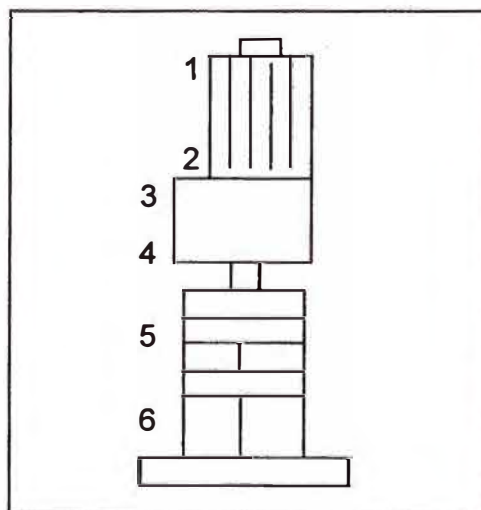
0.69 mm/seg

**VIBRACIÓN TOTAL (mm/seg)**

Posición	Unidad	Puntos de medición		
		1	2	3
V	mm/seg	1.70	1.59	1.14
H	mm/seg	2.81	1.97	0.69
ENV (GE)	G	0.28	0.36	0.18
A	mm/seg	1.59	1.03	0.81
T	°C	36	40	43

4.1.4 Equipo 5044: Motor de envejecimiento 16 A1

Diagnóstico N°	Fecha
D9	Feb-05

**DIAGNOSTICO 9****MOTOR**

- Amplitudes totales y de espectros en rangos permisibles. Recibe influencia vibracional de baja amplitud del reductor por presencia de armónicos de su frecuencia de engrane GMF= 17,475 CPM. Rodamientos en condiciones normales.

REDUCTOR

- Defecto de engrane de baja amplitud por presencia de armónicos de su frecuencia GMF=14,475 CPM circundado de bandas laterales de 270 CPM de desplazamiento, acompañado de ruido de fondo por desgaste.

RODAMIENTOS 5 Y 6

Amplitudes totales y de espectros en rangos permisibles. Recibe influencia vibracional de baja amplitud del reductor por presencia de armónicos de su frecuencia de engrane
GMF= 17,475 CPM.

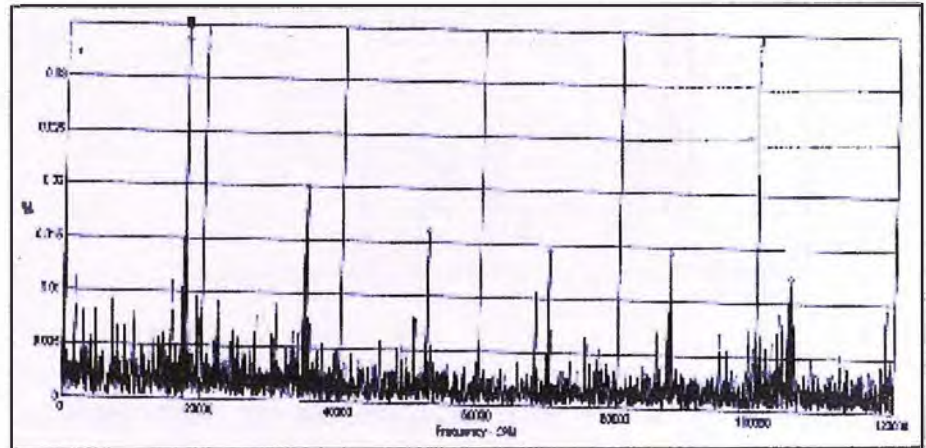
Velocidad: 1783 RPM

REDUCTOR: PUNTO 3E

Vibración RMS
0.12 mm/seg

Destacando los
componentes de:

	CPM	mm/seg
1	17475.0	0.0334
2	34950.0	0.0200
3	52425.0	0.0160
4	69900.0	0.0143
5	87375.0	0.0143
6	104850.0	0.0122

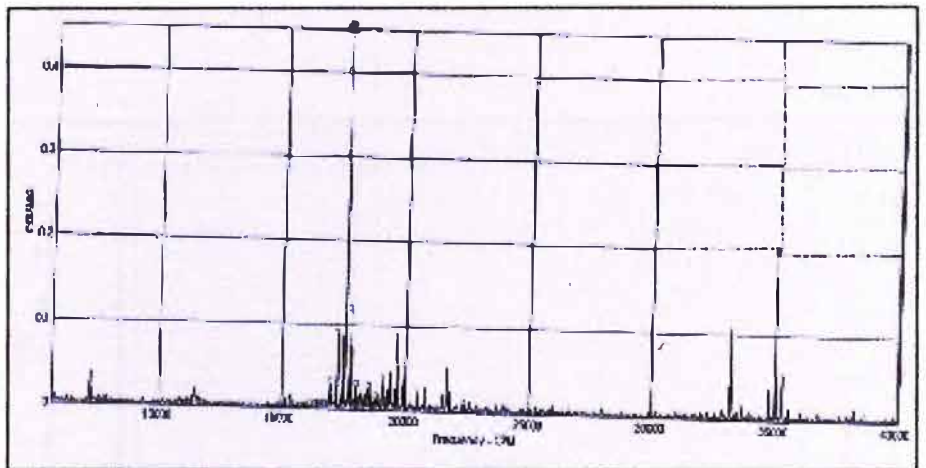


REDUCTOR: PUNTO 4H

Vibración RMS
1.02 mm/seg

Destacando los
componentes de:

	CPM	mm/seg
1	17763.8	0.1204
2	18033.8	0.0307
3	18303.8	0.0118
4	18573.8	0.0283
5	18843.8	0.0155

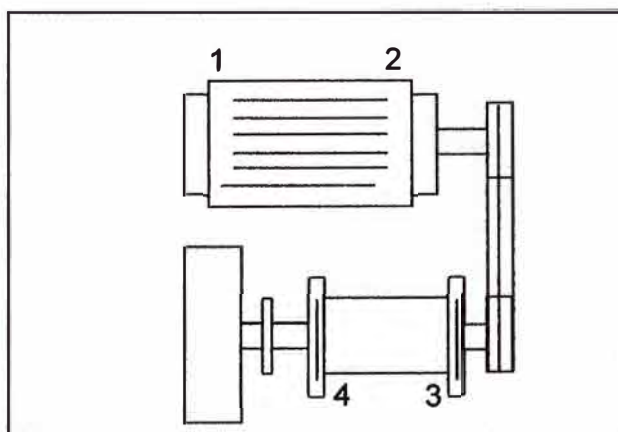


VIBRACIÓN TOTAL (mm/seg)

Posición	Unidad	Puntos de medición					
		1	2	3	4	5	6
V	mm/seg	1.35	1.54	1.03	0.74	0.61	0.42
H	mm/seg	1.21	1.18	1.14	1.02	0.70	0.59
ENV (GE)	G	0.16	0.19	0.12	0.15	0.07	0.05
A	mm/seg	1.82	1.60	0.63	0.54	0.35	0.38
T	°C	45	66	44	41	37	34

4.1.5 Equipo 5045: Ventilador de regeneración 11K2

Diagnóstico N°	Fecha
D10	Feb-05
D11	Ago-06
D12	Set-07



DIAGNOSTICO D10

MOTOR

- Rodamientos con desgaste en etapa inicial, por excitación de su frecuencia fundamental.

VENTILADOR

- Defecto en rodamientos y desbalance del impulsor, por excitación de su frecuencia fundamental

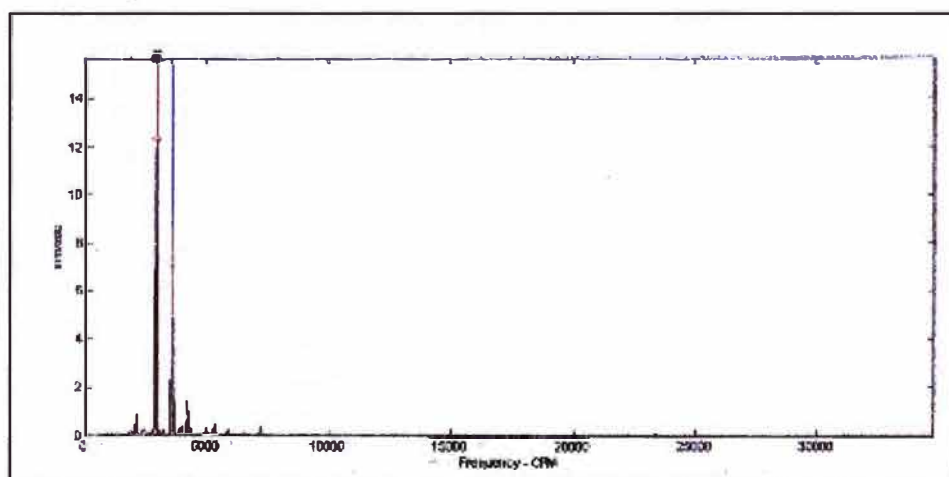
Velocidad: 3560 RPM

MOTOR: PUNTO 1H

Vibración RMS
15.98 mm/seg

Destacando los
componentes de:

	CPM	mm/seg
1	3562.5	7.071
2	2925.0	12.293

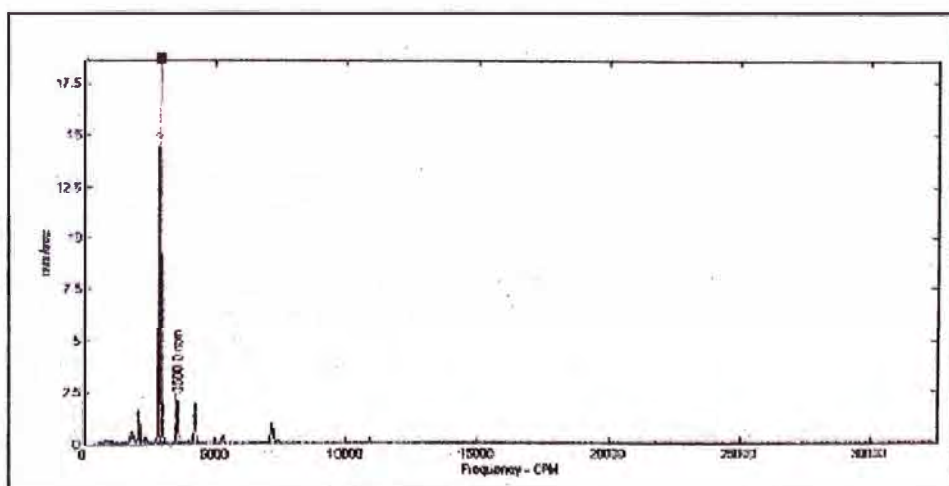


MOTOR: PUNTO 2A

Vibración RMS
17.46 mm/seg

Destacando los
componentes de:

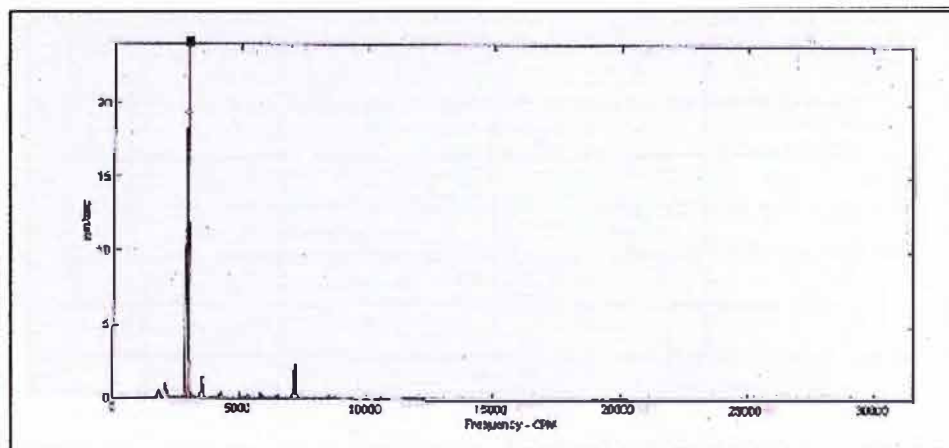
	CPM	mm/seg
1	2925	14.948



**VENTILADOR:
PUNTO 3H**
Vibración RMS
21.89 mm/seg

Destacando los
componentes de:

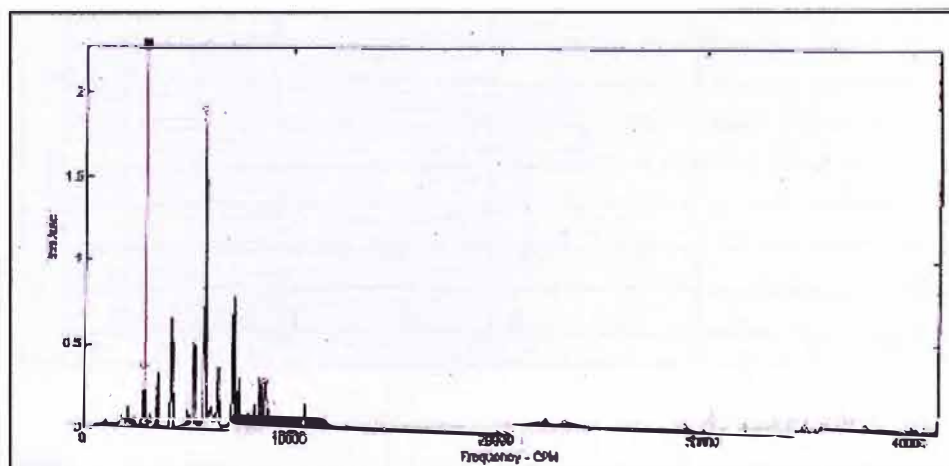
	CPM	mm/seg
1	2925	19.282



**VENTILADOR:
PUNTO 3V**
Vibración RMS
2.524 mm/seg

Destacando los
componentes de:

	CPM	mm/seg
1	2925.0	0.371
2	5812.5	1.900
3	8737.5	0.275
4	11625.0	0.039
5	14550.0	0.005
6	17437.5	0.005
7	20362.5	0.002



VIBRACIÓN TOTAL (mm/seg)

Posición	Unidad	Puntos de medición			
		1	2	3	4
V	mm/seg	14.820	14.650	2.524	3.136
H	mm/seg	15.980	8.643	21.890	12.360
ENV (GE)	G	0.397	0.300	0.484	0.334
A	mm/seg	-	17.460	9.657	2.996
T	°C	44	46	52	76

DIAGNOSTICO D11

MOTOR

- Recibe influencia vibracional del lado del ventilador por su componente 2925 CPM, con 11.83 mm/seg. Rodamientos en condición normal.

VENTILADOR

- Desbalance del impulsor por predominio de su frecuencia fundamental 1X=2925, CPM=7.26 mm/seg. Rodamientos con soltura por excitación de armónicos 2X, 3X, 4X...RPM. De baja amplitud, acompañado de ruido de fondo.

Velocidad: 3560 RPM

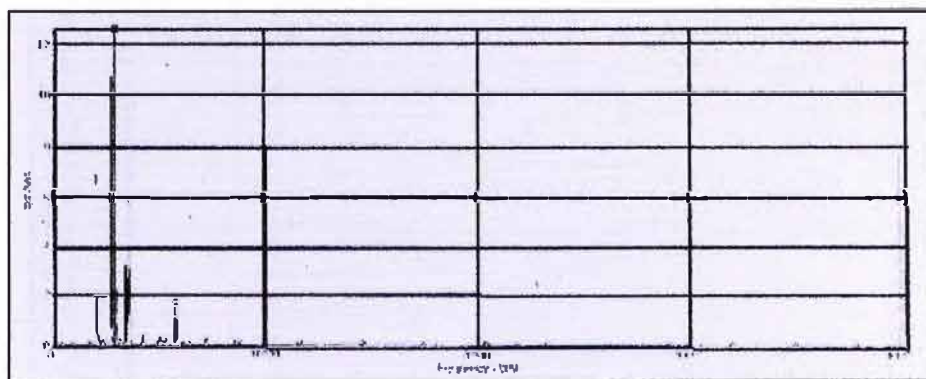
MOTOR: PUNTO 1H

Vibración RMS

13.09 mm/seg

Destacando los
componentes de:

	CPM	mm/seg
1	2925.0	11.8332
2	5850.0	1.7211

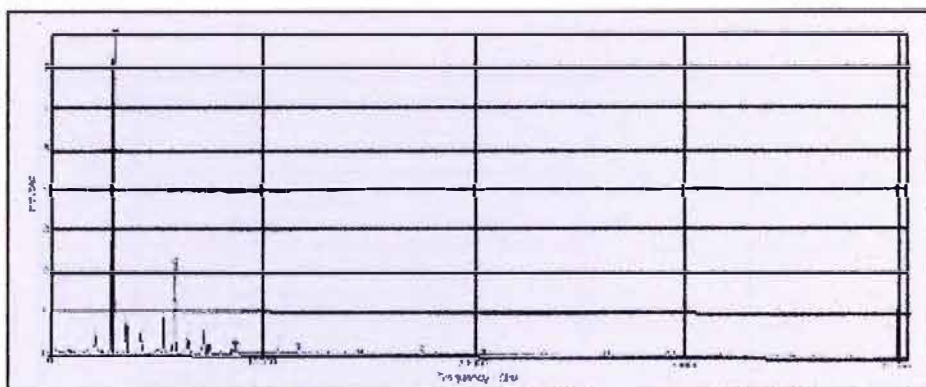
**VENTILADOR:****PUNTO 3H**

Vibración RMS

8.21 mm/seg

Destacando los
componentes de:

	CPM	mm/seg
1	2325.0	7.2642
2	5850.0	2.2543
3	8775.0	0.2714

**VIBRACIÓN TOTAL (mm/seg)**

Posición	Unidad	Puntos de medición			
		1	2	3	4
V	mm/seg	10.430	10.870	3.940	6.350
H	mm/seg	13.090	6.130	8.210	2.300
ENV (GE)	G	0.389	0.260	0.254	0.159
A	mm/seg		6.260	4.080	2.760
T	°C	38	41	48	52

DIAGNOSTICO D12**MOTOR**

- Recibe influencia vibracional de los rodamientos desgastados del ventilador.

VENTILADOR

- Problemas asociados por defectos en sus rodamientos por soltura mecánica y desbalance del impulsor, por excitación de armónicos de su fundamental.

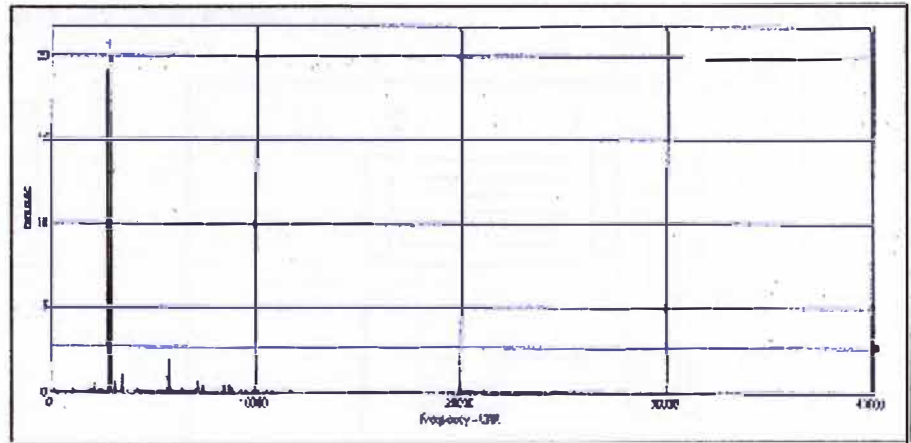
Velocidad: 3560 RPM

MOTOR: PUNTO 1A

Vibración RMS
20.62 mm/seg

Destacando los
componentes de:

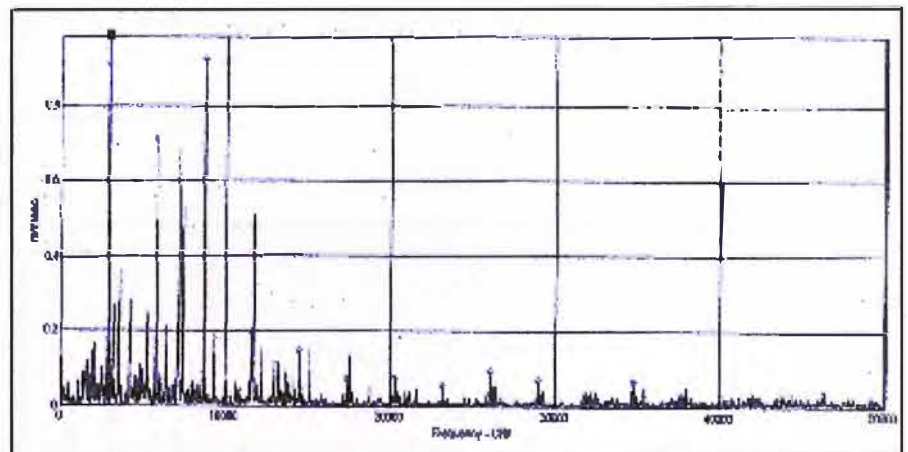
	CPM	mm/seg
1	2906.25	19.8350

**VENTILADOR: PUNTO 3A**

Vibración RMS
0.35 mm/seg

Destacando los
componentes de:

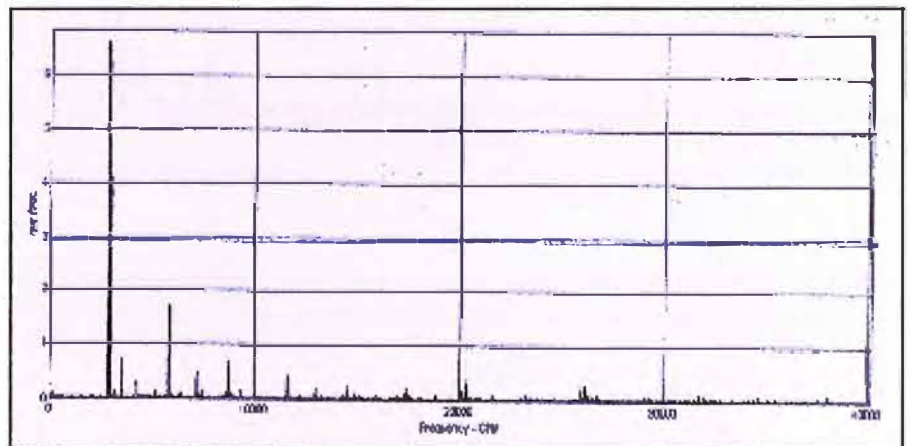
	CPM	mm/seg
1	2906.2	0.9125
2	5812.5	0.7128
3	8718.8	0.9252
4	11625.0	0.1954
5	14531.2	0.1457

**VENTILADOR: PUNTO 4V**

Vibración RMS
7.02 mm/seg

Destacando los
componentes de:

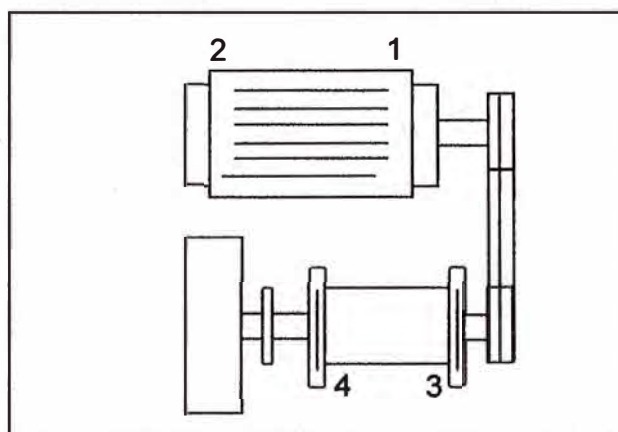
	CPM	mm/seg
1	2906.25	6.2001

**VIBRACIÓN TOTAL (mm/seg)**

Posición	Unidad	Puntos de medición			
		1	2	3	4
V	mm/seg	5.40	7.97	3.34	7.02
H	mm/seg	15.37	6.02	6.59	2.62
ENV (GE)	G	0.32	0.30	0.35	0.26
A	mm/seg	20.62	17.69	2.32	2.50
T	°C	39	45	63	49

4.1.6 Equipo 5046: Ventilador del Convertidor 12K1

Diagnóstico N°	Fecha
D13	Feb-05
D14	Mar-06
D15	Jul-07



DIAGNOSTICO D13

MOTOR

- En buen estado.

VENTILADOR

- Rodamientos con desgaste en etapa inicial.

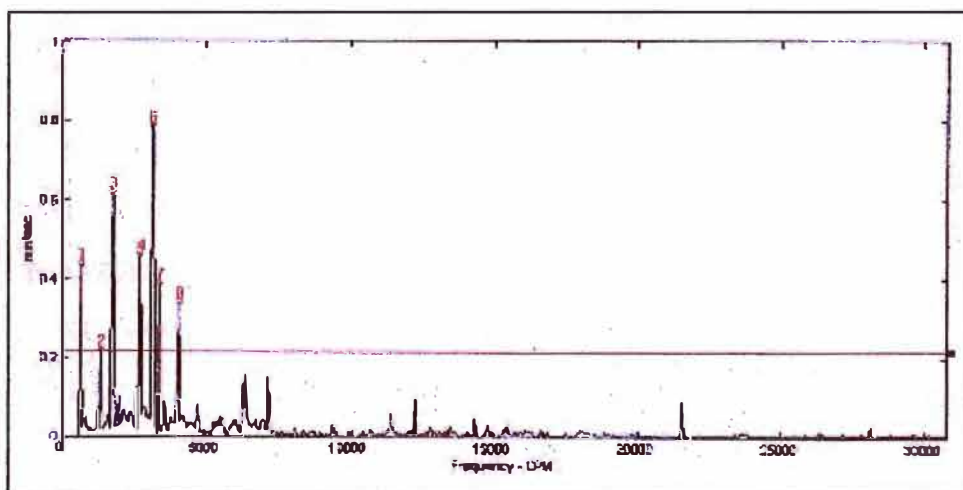
MOTOR: PUNTO 1H

Vibración RMS

1.49 mm/seg

Destacando los componentes de:

	CPM	mm/seg
1	675	0.4386
2	1350	0.2203
3	1800	0.6219
4	2700	0.4653
5	3150	0.7886
6	3150	0.7886
7	3375	0.3384



VENTILADOR:

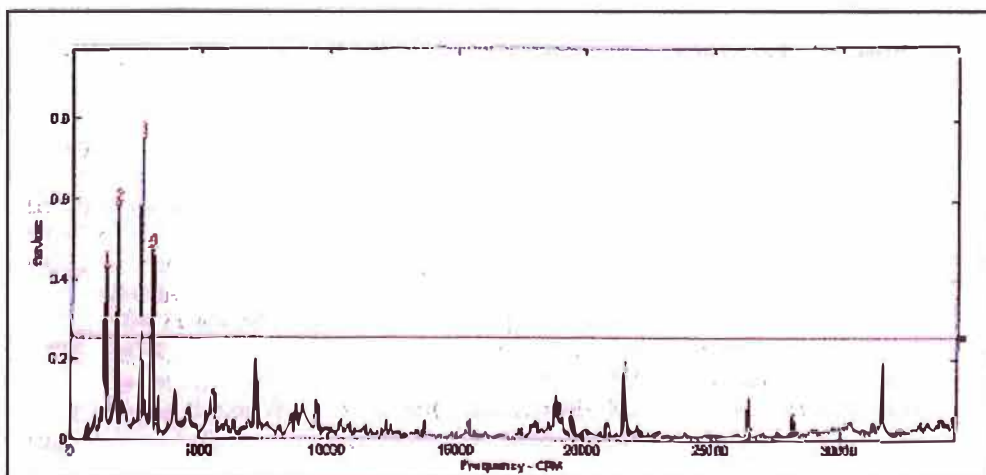
PUNTO 4V

Vibración RMS

1.60 mm/seg

Destacando los componentes de:

	CPM	mm/seg
1	1350	0.4296
2	1800	0.5864
3	2700	0.7535
4	3150	0.4776



VIBRACIÓN TOTAL (mm/seg)

Posición	Unidad	Puntos de medición			
		1	2	3	4
V	mm/seg	2.792	1.986	2.655	1.607
H	mm/seg	1.495	2.060	2.769	2.350
ENV (GE)	G	0.115	0.086	0.346	0.352
A	mm/seg	1.990	1.075	3.763	3.005
T	°C	34	46	35	35

DIAGNOSTICO 14**MOTOR**

- Defecto estructural de baja amplitud por predominio de la frecuencia 1800 CPM @ 1.67 mm/seg. Rodamientos con defectos incipientes, acompañado de ruido de fondo. Recibe influencia vibracional del lado del ventilador por su frecuencia 1350 CPM.

VENTILADOR

- Rodamientos con soltura mecánica de baja amplitud por presencia de armónicos y subarmónicos de su velocidad de giro 1350 CPM, acompañado de ruido de fondo por desgaste de los rodamientos. Recibe influencia vibracional del lado del motor por la componente 1800 CPM con 2.58 mm/seg.

Velocidad: 1790 RPM

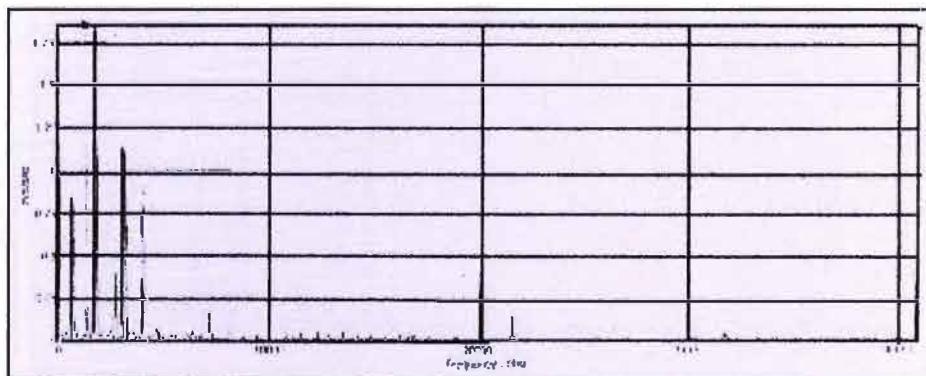
MOTOR: PUNTO 2H

Vibración RMS

2.647 mm/seg

Destacando los componentes de:

	CPM	mm/seg
1	1350	0.2462
2	2700	0.4002
3	4050	0.9054
4	5400	0.0335

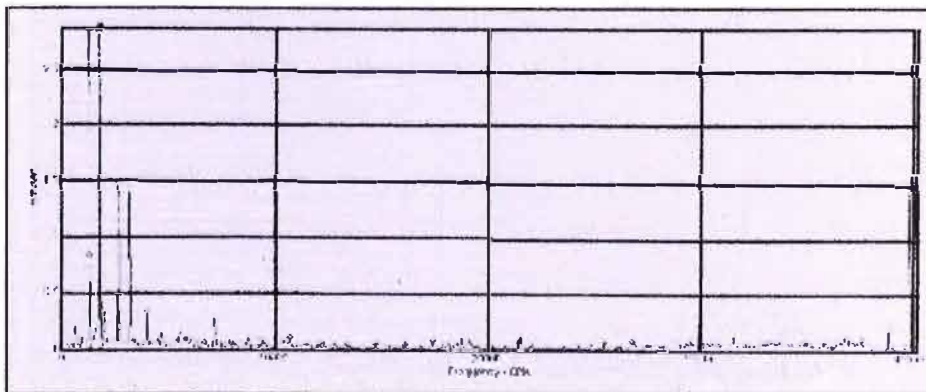
**VENTILADOR:****PUNTO 3V**

Vibración RMS

3.947 mm/seg

Destacando los componentes de:

	CPM	mm/seg
1	1350	0.8169
2	2700	1.4745
3	4050	0.3169



VIBRACIÓN TOTAL (mm/seg)

Posición	Unidad	Puntos de medición			
		1	2	3	4
V	mm/seg	2.695	2.821	3.947	0.969
H	mm/seg	1.733	2.647	3.778	2.540
ENV (GE)	G	0.086	0.104	0.372	0.420
A	mm/seg	2.284	1.431	3.471	2.885
T	°C	32	42	37	36

DIAGNOSTICO 15**MOTOR**

- Recibe influencia vibracional del ventilador por defectos de sus rodamientos desgastados.

VENTILADOR

- Defectos en sus rodamientos por falla en su canastilla (FTT), excita frecuencias de defecto 3,131 CPM, 3.25 mm/seg acompañado de ruido de fondo por desgaste.

Velocidad: 1790 RPM

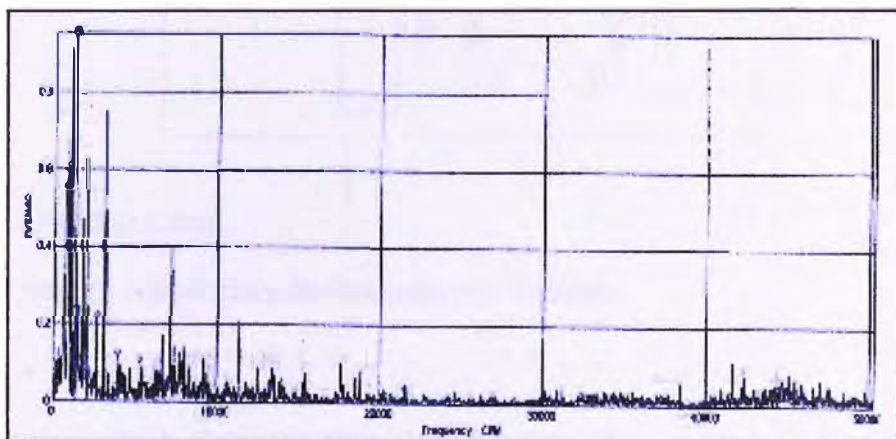
VENTILADOR: PUNTO 3A

Vibración RMS

4.40 mm/seg

Destacando los componentes de:

	CPM	mm/seg
1	1350.0	0.2398
2	2700.0	0.2207
3	4050.0	0.1246
4	5400.0	0.1066
5	6750.0	0.0502

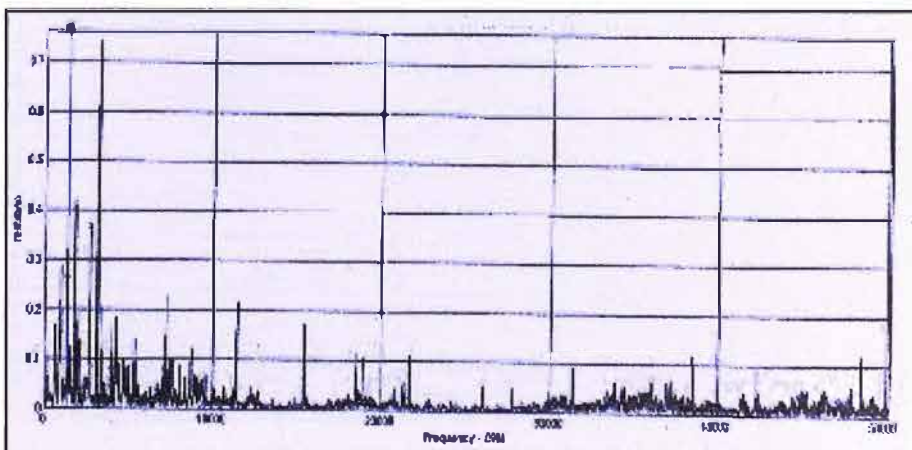
**VENTILADOR: PUNTO 4V**

Vibración RMS

1.63 mm/seg

Destacando los componentes de:

	CPM	mm/seg
1	1350.0	0.2629
2	2700.0	0.3667
3	4050.0	0.0794
4	5400.0	0.0925

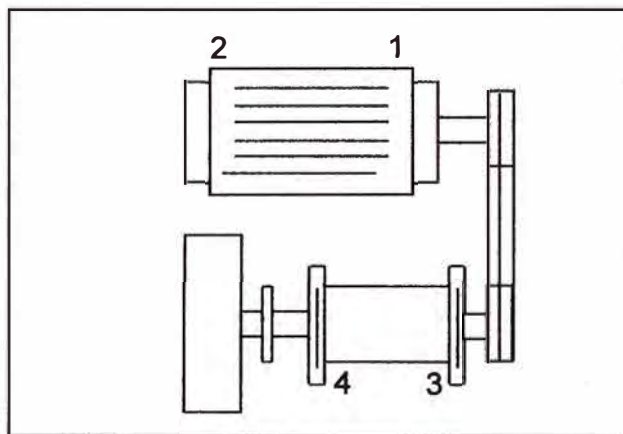


VIBRACIÓN TOTAL (mm/seg)

Posición	Unidad	Puntos de medición			
		1	2	3	4
V	mm/seg	1.81	1.57	2.68	1.63
H	mm/seg	2.26	1.60	4.40	3.18
ENV (GE)	G	0.27	0.10	0.39	0.29
A	mm/seg	1.58	1.38	2.48	2.95
T	°C	41	54	48	40

4.1.7 Equipo 5047: Ventilador Precipitador 14K1

Diagnóstico N°	Fecha
D16	Feb-05
D17	Set-06
D18	Jun-07

**DIAGNOSTICO D16****MOTOR**

- Rodamientos con desgaste en etapa inicial.

VENTILADOR

- Defecto en rodamientos por soltura mecánica y desbalance del impulsor.

Velocidad: 3510 RPM

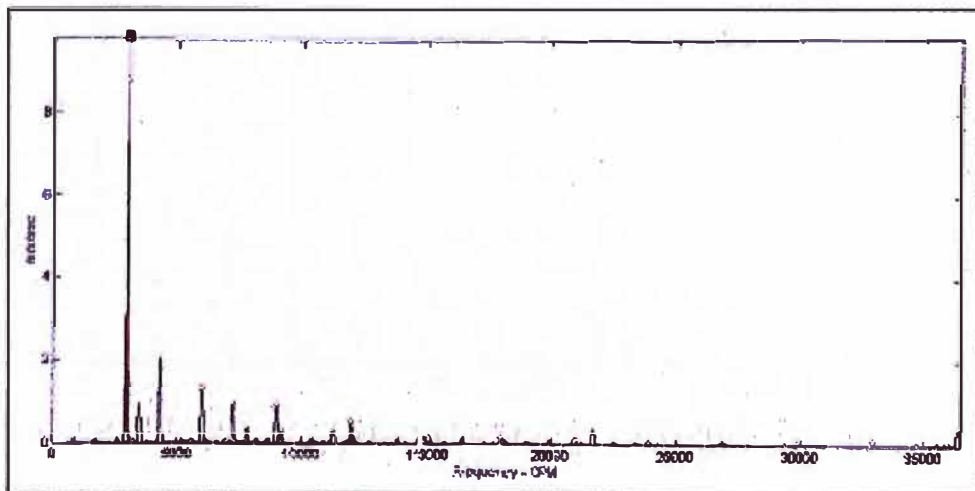
MOTOR: PUNTO 1H

Vibración RMS

9.67 mm/seg

Destacando los componentes de:

	CPM	mm/seg
1	3000.0	8.763
2	6000.0	1.296
3	8962.5	0.876
4	11962.5	0.496
5	14962.5	0.108
6	17962.5	0.090
7	20962.5	0.065

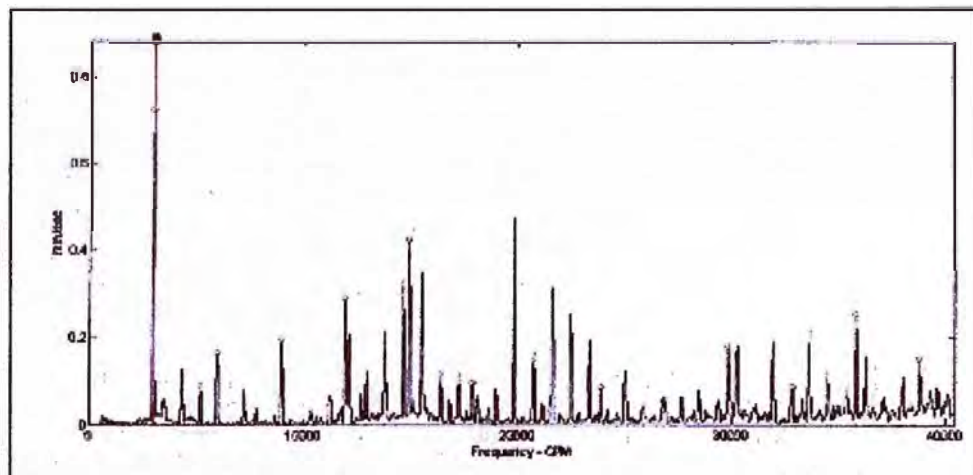


**VENTILADOR:
PUNTO 3V**

Vibración RMS
1.91 mm/seg

Destacando los
componentes de:

	CPM	mm/seg
1	3000.0	0.722
2	5962.5	0.162
3	8962.5	0.191
4	11925.0	0.290
5	14925.0	0.422
6	17925.0	0.095

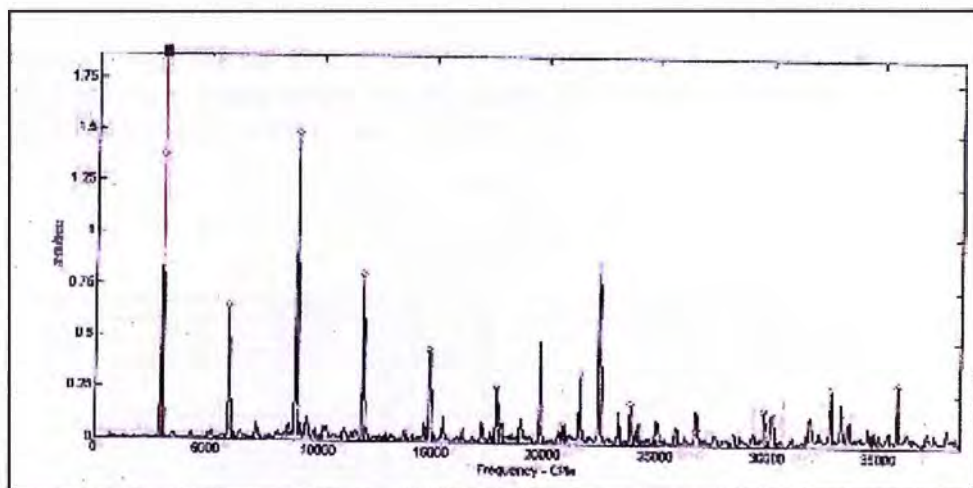


**VENTILADOR:
PUNTO 4V**

Vibración RMS
3.15 mm/seg

Destacando los
componentes de:

	CPM	mm/seg
1	2962.5	1.3732
2	5962.5	0.6446
3	8925.0	1.4882
4	11925.0	0.8034
5	14887.5	0.4443
6	17887.5	0.2611

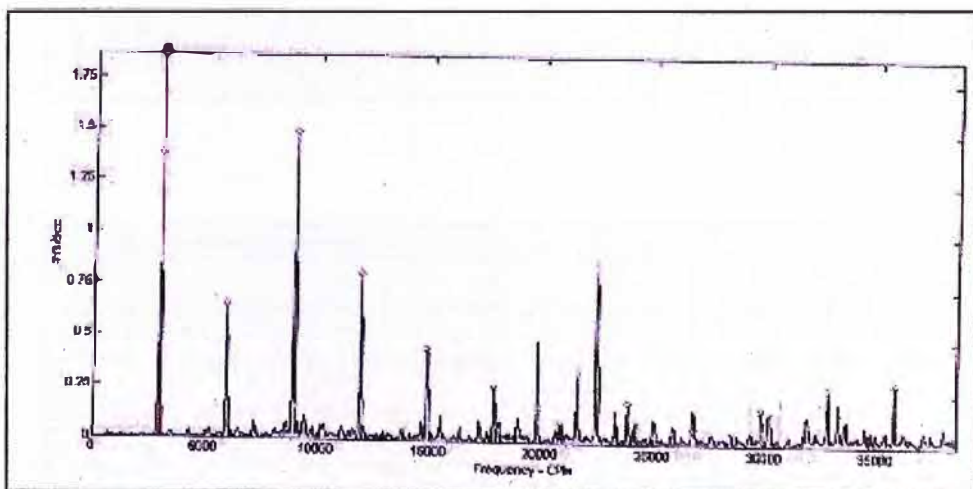


**VENTILADOR:
PUNTO 4H**

Vibración RMS
11.48 mm/seg

Destacando los
componentes de:

	CPM	mm/seg
1	3000.0	9.862
2	5962.5	0.433
3	8962.5	0.377
4	11925.0	0.446
5	14925.0	0.122
6	17887.5	0.011



VIBRACIÓN TOTAL (mm/seg)

Posición	Unidad	Puntos de medición			
		1	2	3	4
V	mm/seg	6.338	6.613	1.913	3.157
H	mm/seg	9.671	5.328	9.951	11.480
ENV (GE)	G	0.408	0.624	0.395	0.478
A	mm/seg	-	5.725	2.585	2.942
T	°C	30	33	35	36

DIAGNOSTICO 17**MOTOR**

- Rodamientos con defectos por soltura mecánica por presencia de armónicos y subarmónicos de su frecuencia fundamental 3525 CPM de baja amplitud, recibe influencia vibracional del lado del ventilador por su frecuencia 2962 CPM

VENTILADOR

- Defectos asociados por soltura mecánica del Rodamiento 3 y desbalance del impulsor, excita armónicos de su fundamental de baja amplitud acompañado de ruido de fondo, destacando la primera armónica 1X=3000 CPM con 8.92 mm/seg.

Velocidad: 3514 RPM

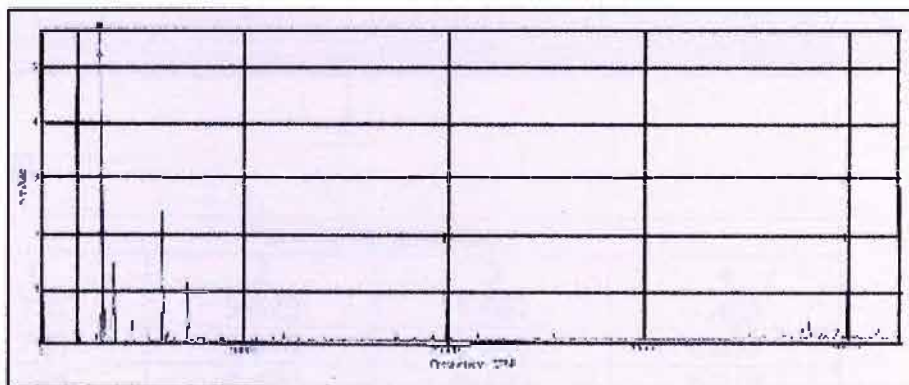
MOTOR: PUNTO 1H

Vibración RMS

6.788 mm/seg

Destacando los componentes de:

	CPM	mm/seg
1	1762.5	0.1301
2	3525.0	1.4423
3	5287.5	0.1074
4	7050.0	0.0452
5	8812.5	0.0711
6	10575.0	0.1708

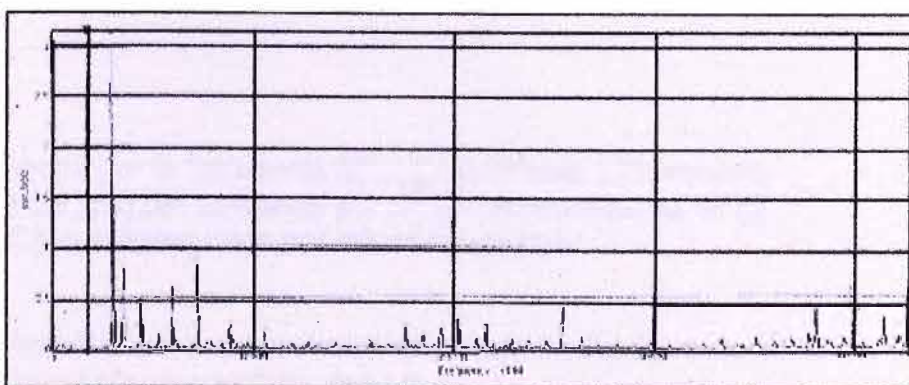
**MOTOR: PUNTO 2V**

Vibración RMS

3.673 mm/seg

Destacando los componentes de:

	CPM	mm/seg
1	1762.5	0.072
2	3525.0	0.7814
3	5287.5	0.1284
4	7050.0	0.0231
5	8812.5	0.2123
6	10575.0	0.1700

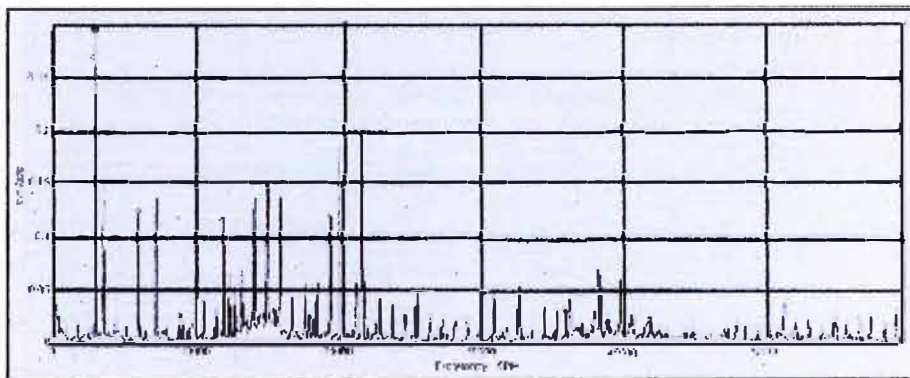


**VENTILADOR:
PUNTO 3V**

Vibración RMS
1.692mm/seg

Destacando los
componentes de:

	CPM	mm/seg
1	3000	0.2688
2	6000	0.1231
3	9000	0.0235
4	12000	0.1150
5	15000	0.0931
6	18000	0.0234

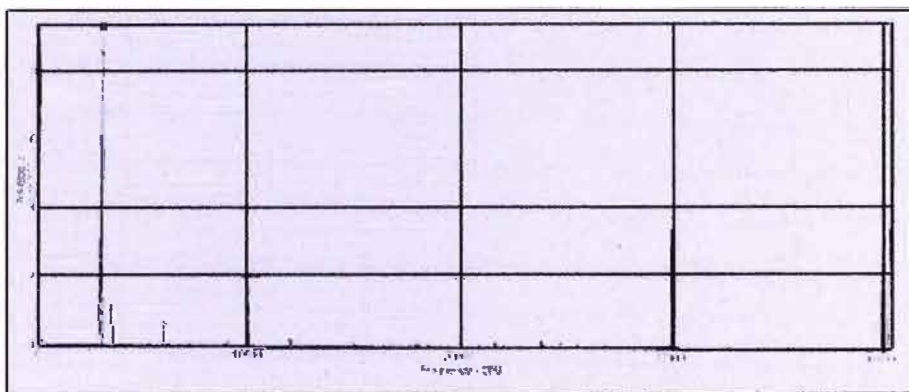


**VENTILADOR:
PUNTO 4H**

Vibración RMS
8.952 mm/seg

Destacando los
componentes de:

	CPM	mm/seg
1	3000	8.5348
2	6000	0.6329
3	9000	0.0262



VIBRACIÓN TOTAL (mm/seg)

Posición	Unidad	Puntos de medición			
		1	2	3	4
V	mm/seg	3.731	3.673	1.692	1.482
H	mm/seg	6.788	3.876	6.916	8.952
ENV (GE)	G	0.275	0.420	0.129	0.219
A	mm/seg		5.555	3.331	2.397
T	°C	31	34	35	38

DIAGNOSTICO 18

MOTOR

- Defecto por distorsión en el motor por la frecuencia 2FL=7200 CPM@ 2.78 mm/seg. Recibe influencia vibracional del lado del ventilador por su frecuencia 2962 CPM @ 8.74 mm/seg; rodamiento N° 2 con ligero ruido por influencia de fajas.

VENTILADOR

- Defecto por desbalance del impulsor por predominio de su frecuencia fundamental 2981 CPM @ 13.67 mm/seg. Rodamientos en condición normal.

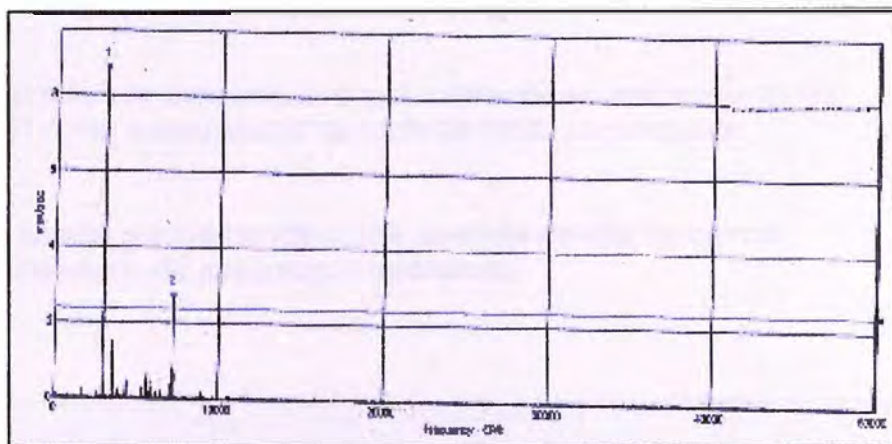
Velocidad: 3514 RPM

MOTOR: PUNTO 1H

Vibración RMS
10.34 mm/seg

Destacando los
componentes de:

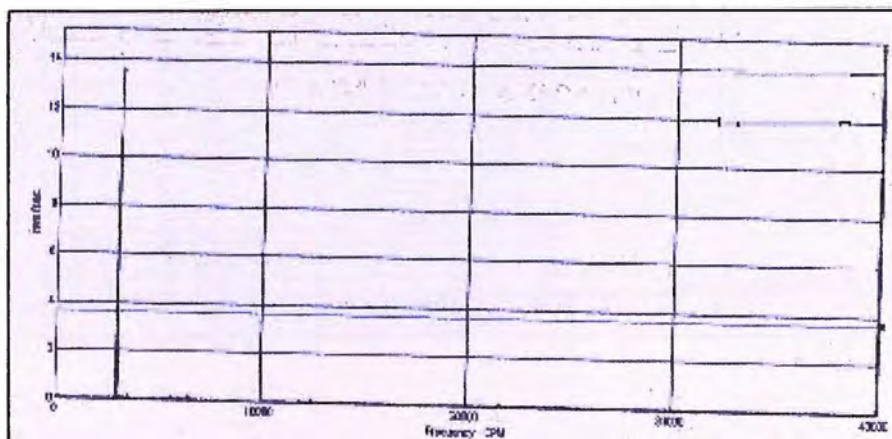
	CPM	mm/seg
1	2981.25	8.7457
2	7200.00	2.7779

**VENTILADOR: PUNTO 4H**

Vibración RMS
13.69 mm/seg

Destacando los
componentes de:

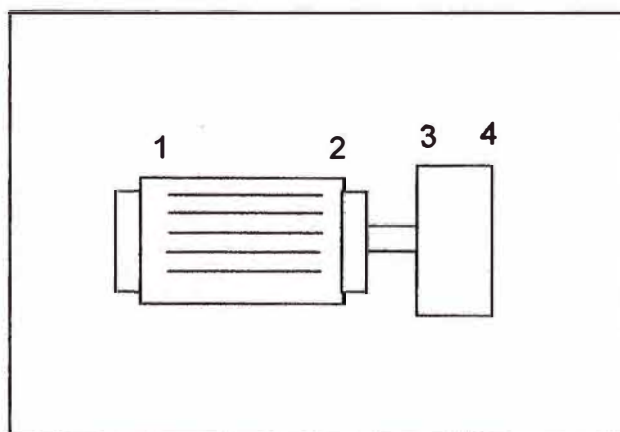
	CPM	mm/seg
1	2981.25	13.5739

**VIBRACIÓN TOTAL (mm/seg)**

Posición	Unidad	Puntos de medición			
		1	2	3	4
V	mm/seg	7.50	6.76	1.24	2.11
H	mm/seg	10.34	7.40	13.35	13.69
ENV (GE)	G	0.31	0.21	0.31	0.31
A	mm/seg	-	5.38	2.63	3.64
T	°C	33	39	53	53

4.1.8 Equipo 5048-5049: Bomba de agua del Reactor 16P1

Diagnóstico N°	Fecha
D19	Feb-05



DIAGNOSTICO D19**MOTOR**

- Rodamientos con soltura mecánica de baja amplitud, por excitación de armónicos de su frecuencia fundamental 1,781 CPM, acompañado de ruido de fondo por desgaste.

BOMBA

- Defecto por cavitación de la bomba genera banda ancha aleatoria de alta frecuencia. Rodamientos con fallas, acompañado de alta energía de impacto

Velocidad: 1790 RPM

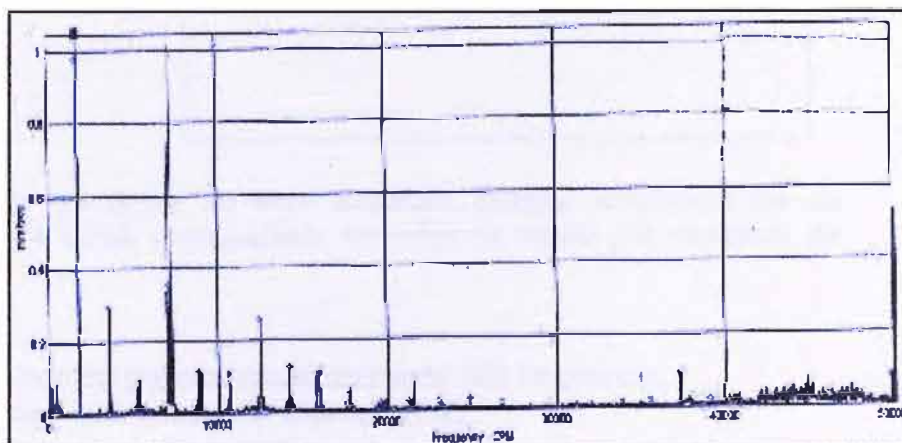
MOTOR: PUNTO 1V

Vibración RMS

0.97 mm/seg

Destacando los componentes de:

	CPM	mm/seg
1	1781.2	0.9763
2	3562.5	0.2951
3	5343.8	0.0898
4	7125.0	0.3553
5	8906.2	0.1173
6	10687.5	0.1103

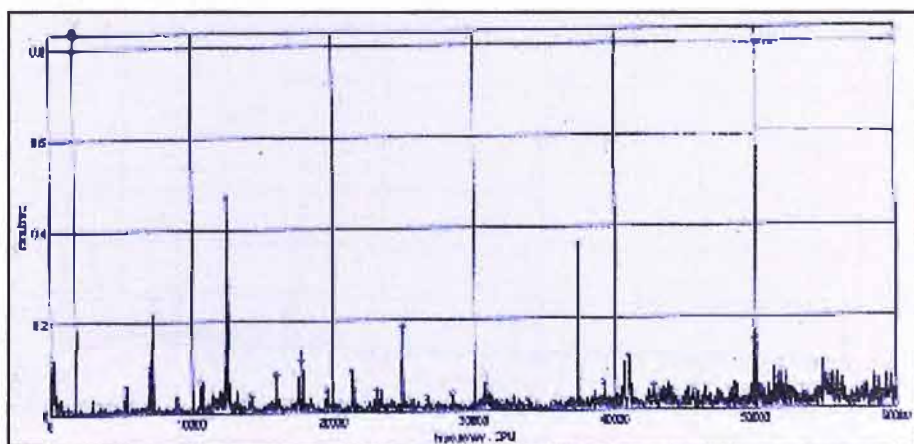
**BOMBA: PUNTO 4V**

Vibración RMS

0.80 mm/seg

Destacando los componentes de:

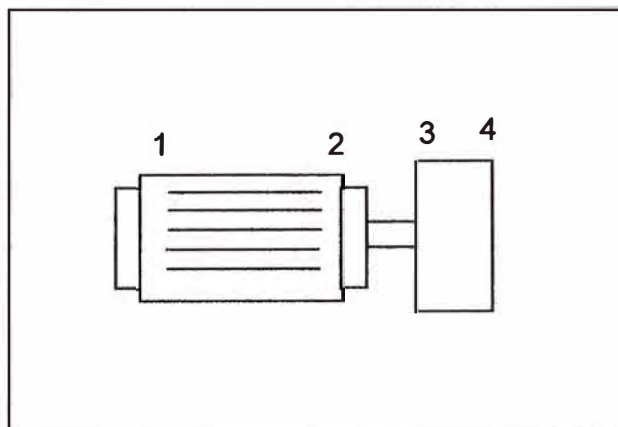
	CPM	mm/seg
1	1781.2	0.8002
2	3562.5	0.0100
3	5343.8	0.0576
4	7125.0	0.0977
5	8906.2	0.0110
6	10687.5	0.0668

**VIBRACIÓN TOTAL (mm/seg)**

Posición	Unidad	Puntos de medición			
		1	2	3	4
V	mm/seg	1.84	2.38	2.28	1.47
H	mm/seg	1.12	1.52	3.87	1.67
ENV (GE)	G	0.15	0.13	0.53	0.55
A	mm/seg	2.04	1.18	1.83	1.91
T	°C	36	61	53	53

4.1.9 Equipo 5050-5051: Bomba de agua de retorno

Diagnóstico N°	Fecha
D20	Feb-05



DIAGNOSTICO D20

MOTOR

- Rodamientos a con soltura mecánica de baja amplitud, genera armónicos de su frecuencia fundamental 1,781 CPM, acompañado de ruido de fondo por desgaste de elementos rodantes.

BOMBA

- Defecto por cavitación de la bomba genera banda ancha de alta frecuencia. Rodamientos con fallas en inicio por soltura de baja amplitud.

Velocidad: 1790 RPM

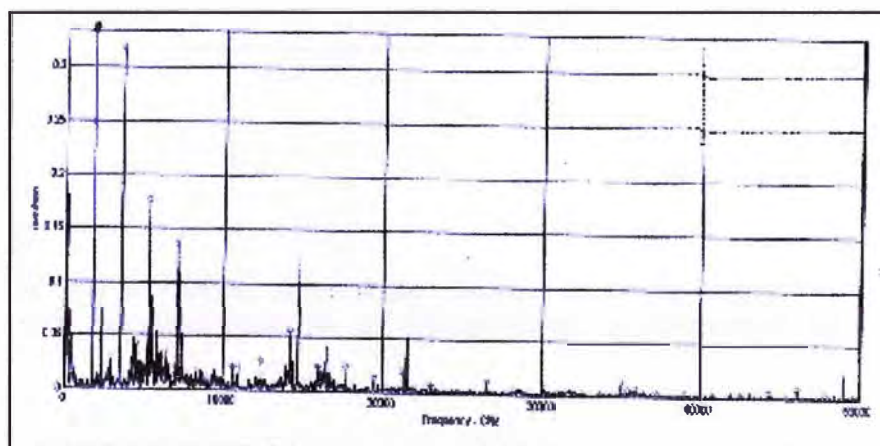
CAMPANA: PUNTO 1V

Vibración RMS

0.66 mm/seg

Destacando los componentes de:

	CPM	mm/seg
1	1781.2	0.2494
2	3562.5	0.3170
3	5343.8	0.1765
4	7125.0	0.1362



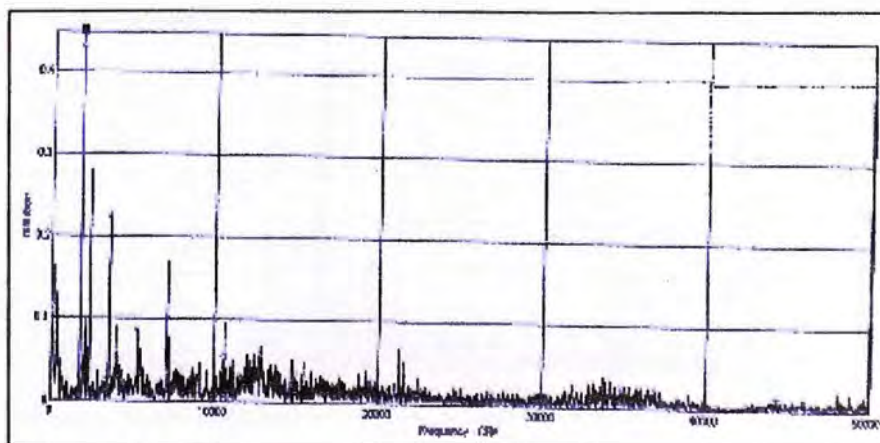
CAMPANA: PUNTO 3A

Vibración RMS

0.96 mm/seg

Destacando los componentes de:

	CPM	mm/seg
1	1781.2	0.4299
2	3562.5	0.2252
3	5313.8	0.0859
4	7125.0	0.1002

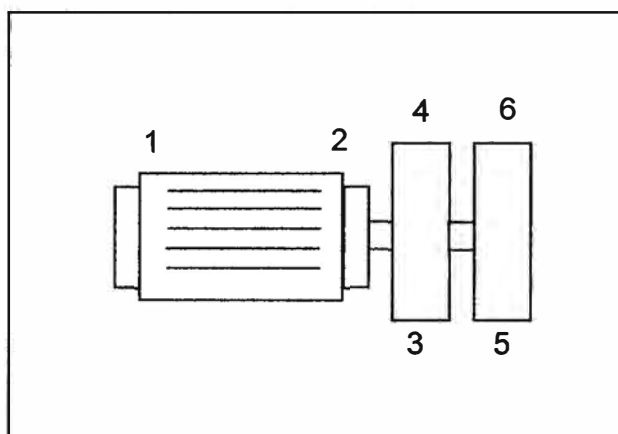


VIBRACIÓN TOTAL (mm/seg)

Posición	Unidad	Puntos de medición			
		1	2	3	4
V	mm/seg	0.66	1.63	1.31	0.79
H	mm/seg	0.87	0.83	1.73	1.39
ENV (GE)	G	0.04	0.08	0.17	0.15
A	mm/seg	1.06	1.44	0.96	1.06
T	°C	44	67	40	33

4.1.10 Equipo 5052-5053: Bomba de agua de producción 16 A1

Diagnóstico N°	Fecha
D21	Feb-05

**DIAGNOSTICO D21****MOTOR**

- Rodamientos desgastados.

BOMBA

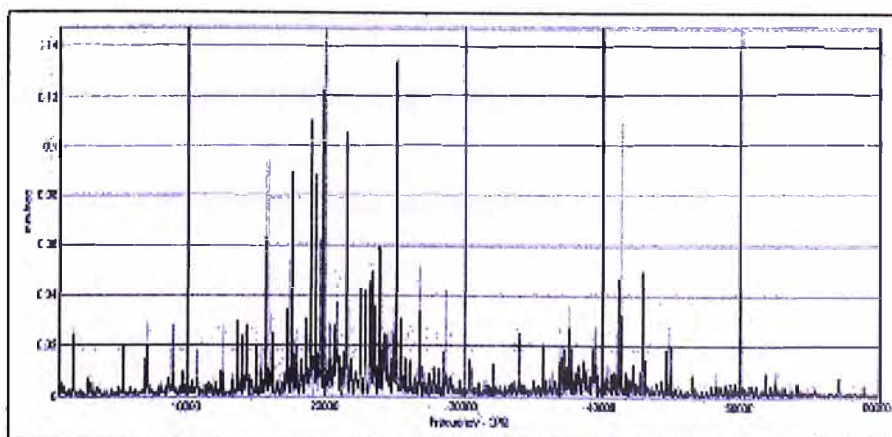
- Amplitudes totales y de espectros en rangos permisibles. Recibe influencia vibracional del lado motor por presencia de armónicos de su fundamental. Rodamientos en condición normal.

Velocidad: 1783 RPM

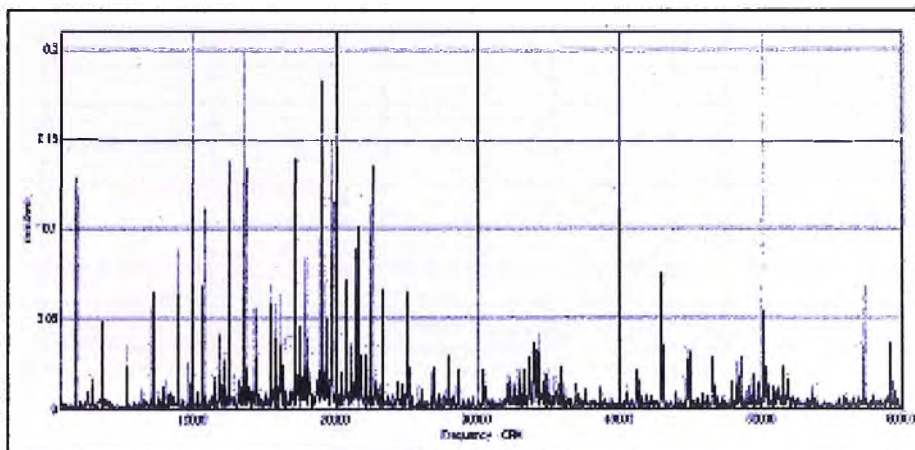
MOTOR: PUNTO 1H

Vibración RMS

0.52 mm/seg



MOTOR: PUNTO 2V
 Vibración RMS
 0.66 mm/seg

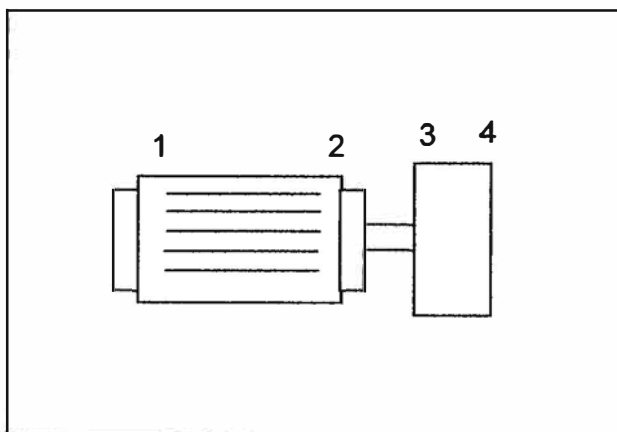


VIBRACIÓN TOTAL (mm/seg)

Posición	Unidad	Puntos de medición			
		1	2	5	6
V	mm/seg	0.44	0.66	0.25	0.22
H	mm/seg	0.52	0.69	0.31	0.32
ENV (GE)	G	0.11	0.13	0.06	0.078
A	mm/seg	0.94	0.83	0.44	0.25
T	°C	29	31	28	28

4.1.11 Equipo 5054-5055: Bomba de agua de Sulfónico

Diagnóstico N°	Fecha
D22	Feb-05



DIAGNOSTICO D22

MOTOR

- Rodamientos con soltura mecánica de baja amplitud, acompañado de ruido de fondo por desgaste.

BOMBA

- Rozamientos con ligero ruido, genera armónicos de su fundamental 1781 CPM.

Velocidad: 1783 RPM

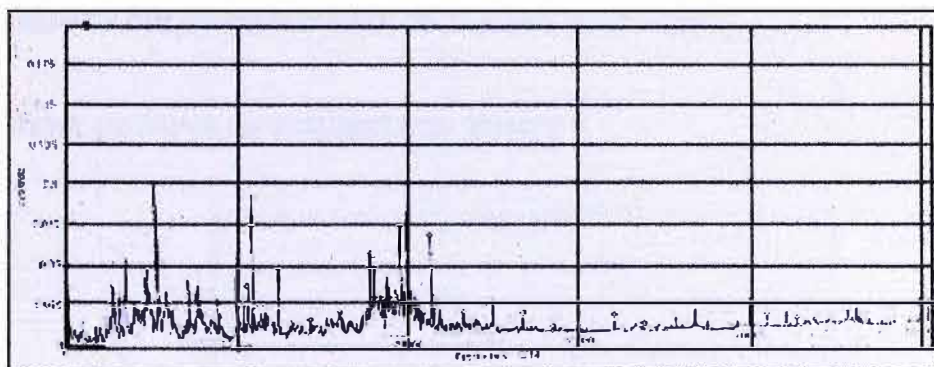
MOTOR: PUNTO 2V

Vibración RMS

0.489 mm/seg

Destacando los
componentes de:

	CPM	mm/seg
1	1781.2	0.1838
2	3562.5	0.0505
3	6343.8	0.1625
4	7125.0	0.0105
5	8906.2	0.0227
6	10687.5	0.0335
7	12468.8	0.0442

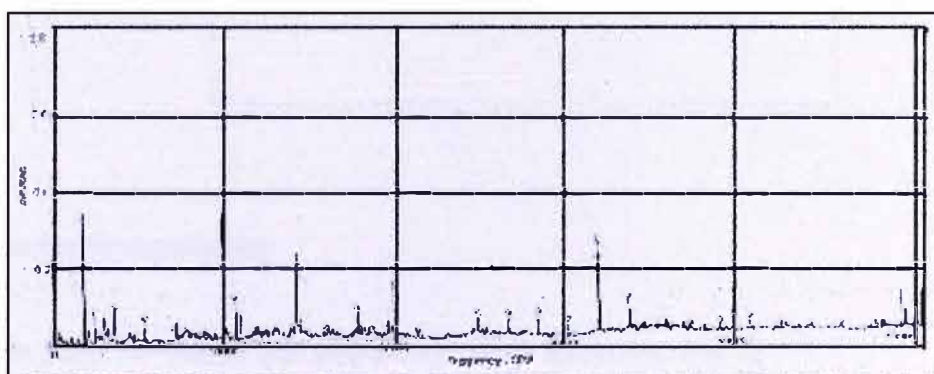
**MOTOR: PUNTO 3V**

Vibración RMS

1.11 mm/seg

Destacando los
componentes de:

	CPM	mm/seg
1	1781.2	0.7711
2	3562.5	0.0939
3	5343.0	0.6647
4	7125.0	0.0351
5	8906.2	0.0270

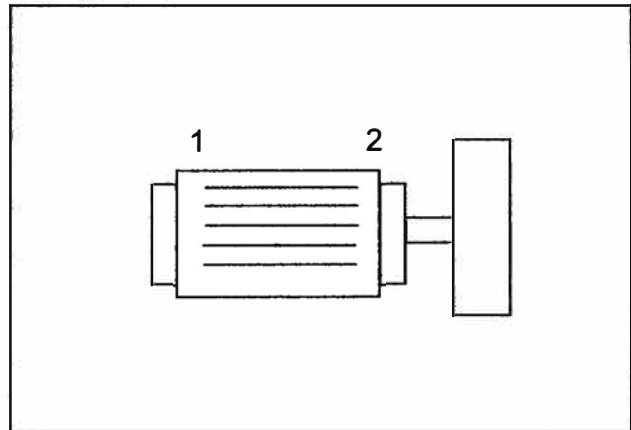
**VIBRACIÓN TOTAL (mm/seg)**

Posición	Unidad	Puntos de medición			
		1	2	3	4
V	mm/seg	0.543	0.489	1.110	0.549
H	mm/seg	1.315	1.441	1.980	1.823
ENV (GE)	G	0.085	0.090	0.268	0.142
A	mm/seg	0.680	1.062	1.070	1.075
T	°C	28	31	25	37

4.2 Diagnósticos de equipos críticos de la Planta de Sulfato de Aluminio

4.2.1 Equipo 5059: Ventilador de Torre de enfriamiento Marley 2

Diagnóstico N°	Fecha
D28	Feb-05



DIAGNOSTICO D28

MOTOR

- Niveles de vibración y envolvente aceptables.

OBSERVACION

- Presencia de frecuencia de paso de alabes por posicionamiento excéntrico de la campana

Velocidad: 1774 RPM

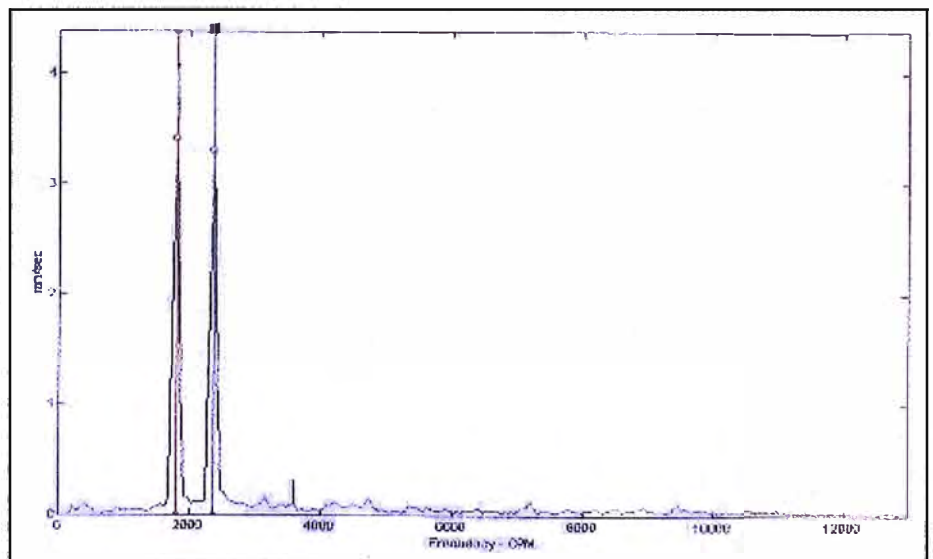
MOTOR: PUNTO 2V

Vibración RMS

4.92 mm/seg

Destacando los componentes de:

	CPM	mm/seg
0.5	1800	3.4026
0.6	2365	3.3004

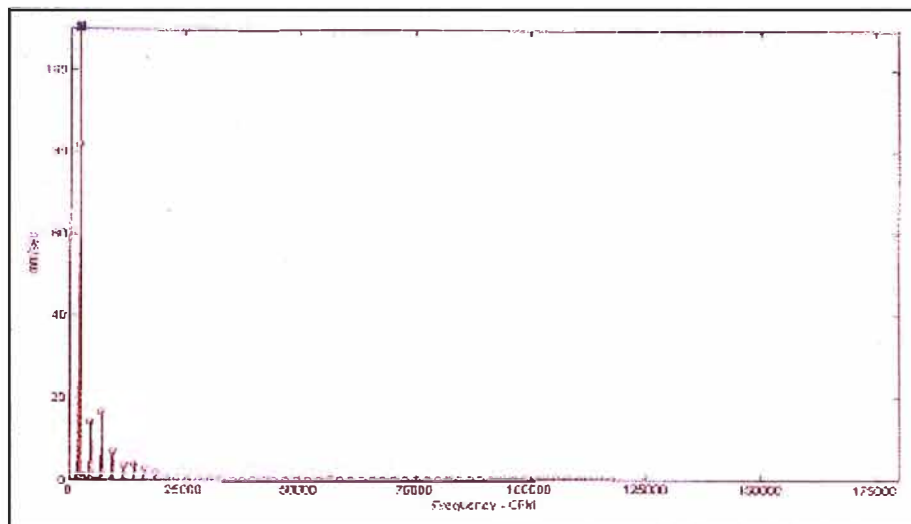


CAMPANA DE TORRE DE ENFRIAMIENTO

Vibración RMS
85.7 mm/seg

Destacando los componentes de:

	CPM	mm/seg
1	2362	81.448
2	4725	14.070
3	7087	16.459
4	9450	6.801
5	11812	3.713
6	14062	3.764
7	16425	2.894

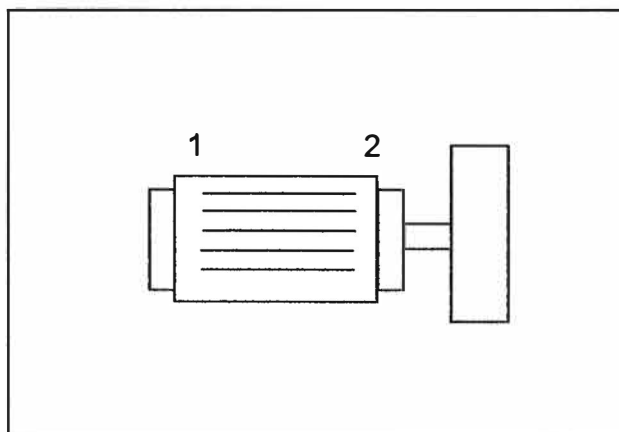


VIBRACIÓN TOTAL (mm/seg)

Posición	Unidad	Puntos de medición	
		1	2
V	mm/seg	4.97	4.92
H	mm/seg	1.98	3.82
A	mm/seg	5.32	3.87
ENV (GE)	G	0.07	0.06
T	°C		

4.2.2 Equipo 5060: Ventilador de recuperación de polvo

Diagnóstico N°	Fecha
D29	Feb-05



DIAGNOSTICO D29

MOTOR

- Desbalance del impulsor.

VENTILADOR

- Rodamientos presentan defectos iniciales.

Velocidad: 3600 RPM

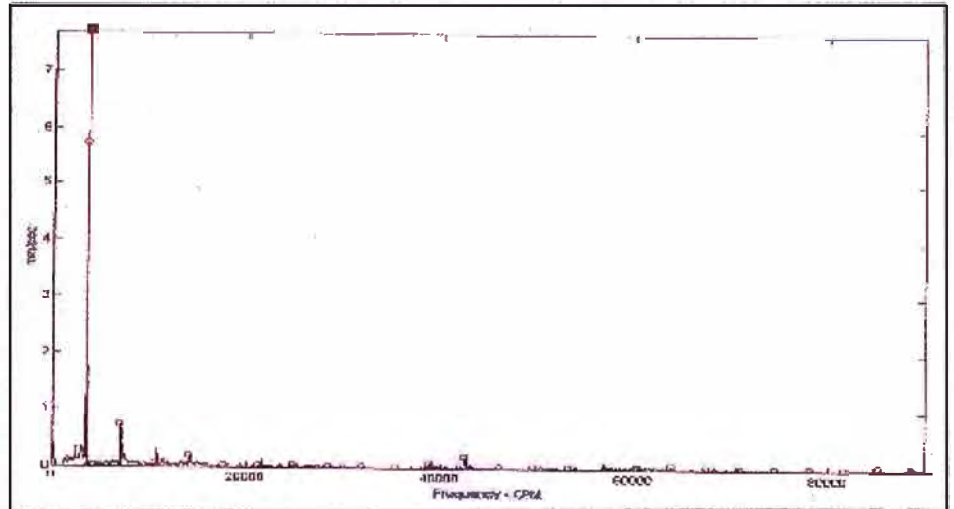
MOTOR: PUNTO 1V

Vibración RMS

3.03 mm/seg

Destacando los componentes de:

	CPM	mm/seg
1	3543.75	5.7100
2	7087.50	0.7300
3	10631.20	0.0720
4	14175.00	0.2001
5	17775.00	0.0351
6	21318.80	0.0265
7	24862.50	0.0464

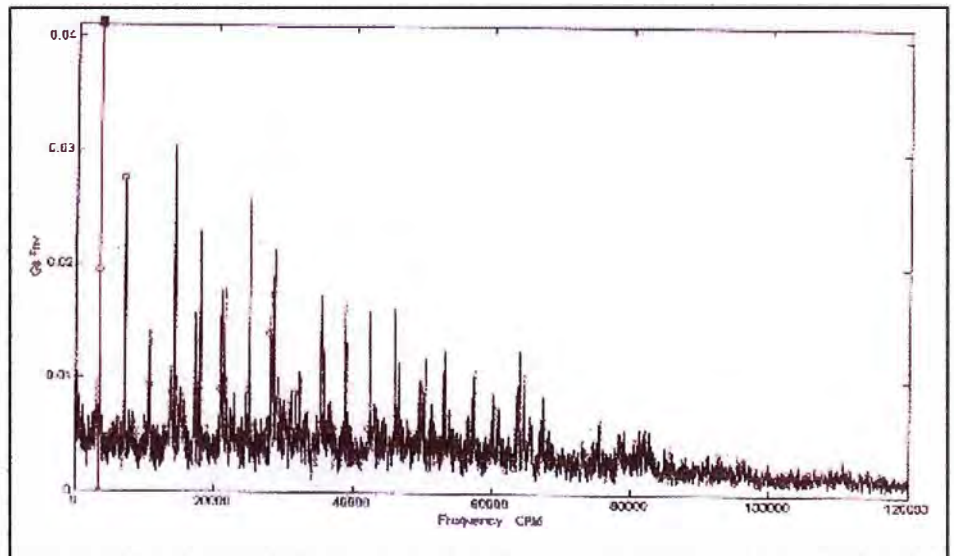
**MOTOR: PUNTO 1E**

Vibración RMS

0.20 mm/seg

Destacando los componentes de:

	CPM	mm/seg
1	3525	0.0193
2	7050	0.0276
3	10575	0.0092
4	14100	0.0085
5	17597	0.0024
6	21112	0.0085
7	24637	0.0047

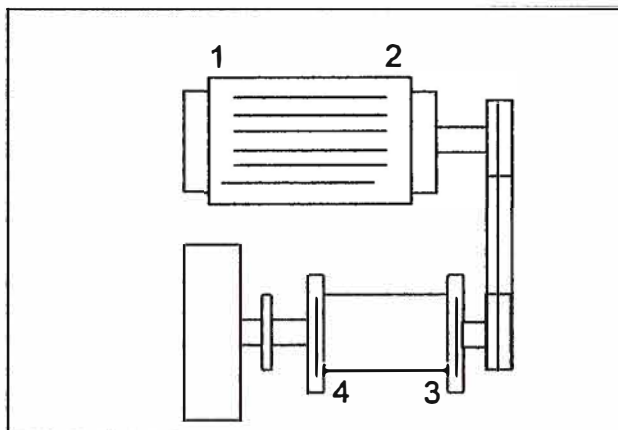
**VIBRACIÓN TOTAL (mm/seg)**

Posición	Unidad	Puntos de medición	
		1	2
V	mm/seg	3.03	3.38
H	mm/seg	4.26	3.94
A	mm/seg	5.99	4.07
ENV (GE)	G	0.20	0.21
T	°C		

4.3 Diagnósticos de equipos críticos de la Planta Molienda de Azufre

4.3.1 Equipo 5056: Ventilador de Sílica 11K2

Diagnóstico N°	Fecha
D23	Feb-05
D24	Nov-06



DIAGNOSTICO D23

MOTOR

- Desbalance del impulsor. Rodamientos con defectos iniciales.

VENTILADOR

- Desbalance del impulsor. Rodamientos con defectos iniciales.

Velocidad: 3440 RPM

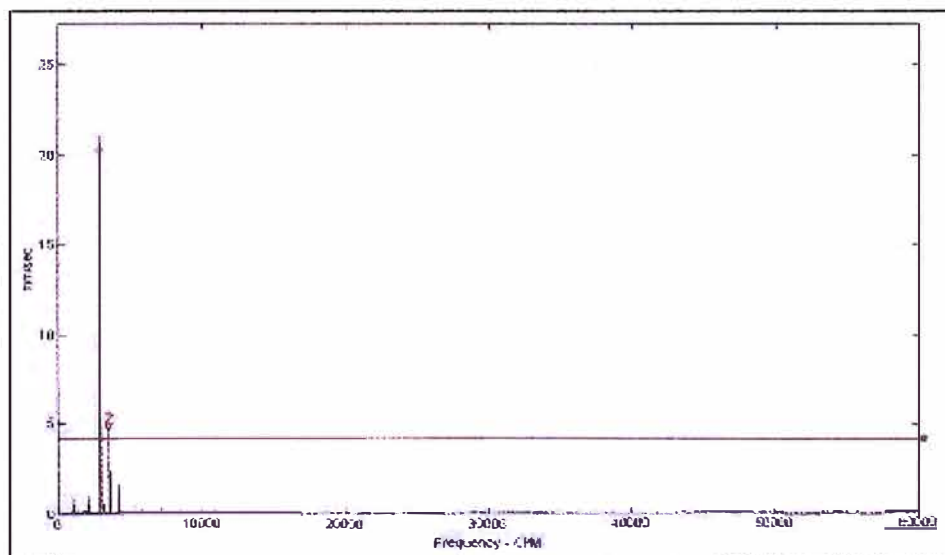
MOTOR: PUNTO 2V

Vibración RMS

21.05 mm/seg

Destacando los componentes de:

	CPM	mm/seg
1	2906.25	20.219
2	3543.75	4.796

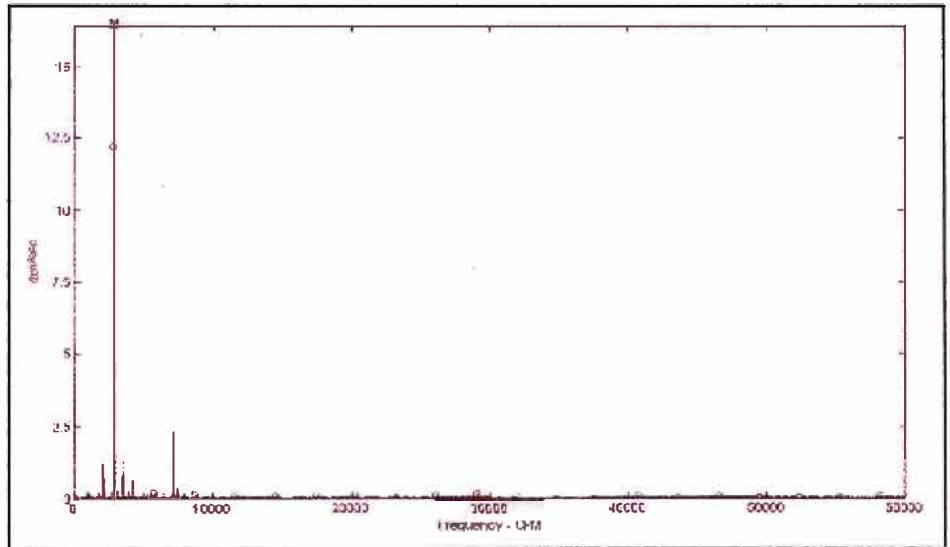


VENTILADOR: PUNTO 3H

Vibración RMS
13.15 mm/seg

Destacando los componentes de:

	CPM	mm/seg
1	2906.25	12.177
2	5831.25	0.170
3	8737.50	0.080
4	11643.80	0.015
5	14550.00	0.004
6	17475.00	0.002
7	20381.20	0.002



VIBRACIÓN TOTAL (mm/seg)

Posición	Unidad	Puntos de medición			
		1	2	3	4
V	mm/seg	8.92	21.05	2.17	1.55
H	mm/seg	12.93	12.95	13.15	8.55
A	mm/seg	8.54	8.68	2.43	2.22
ENV (GE)	G	0.32	0.32	0.33	0.19
T	°C	47	46	66	66

DIAGNOSTICO D24

MOTOR

- Excentricidad de la polea, causando desbalance.

VENTILADOR

- Desalineamiento de poleas.

Velocidad: 3520 RPM

MOTOR: PUNTO 1V

Vibración RMS
14.29 mm/seg

Destacando los componentes de:

	CPM	mm/seg
1	2880	10.543
2	3540	1.984
3	5760	0.958
4	7200	0.485
5	3180	0.355



MOTOR: PUNTO 2A

Vibración RMS
17.29 mm/seg

Destacando los
componentes de:

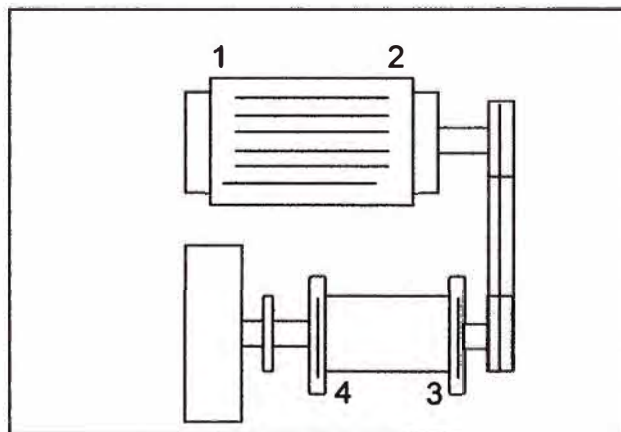
	CPM	mm/seg
1	2660	10.913
2	8760	0.533
3	3540	0.431
4	11580	0.260
5	1920	0.230

**VIBRACIÓN TOTAL (mm/seg)**

Posición	Unidad	Puntos de medición			
		1	2	3	4
V	mm/seg	14.29	5.08	2.97	6.36
H	mm/seg	4.3	3.83	5.59	2.16
A	mm/seg	6.42	17.29	2.67	2.46
ENV (GE)	G	0.33	0.27	0.30	0.30
T	°C				

4.3.2 Equipo 5057: Ventilador de Sílica 12K1

Diagnóstico N°	Fecha
D25	Feb-05
D26	Oct-06

**DIAGNOSTICO D25****MOTOR**

- Presenta defecto eléctrico inicial por ligera influencia del impulsor.

VENTILADOR

- Desbalance, valor amplificado por su condición de voladizo. Rodamientos presentan defectos iniciales.

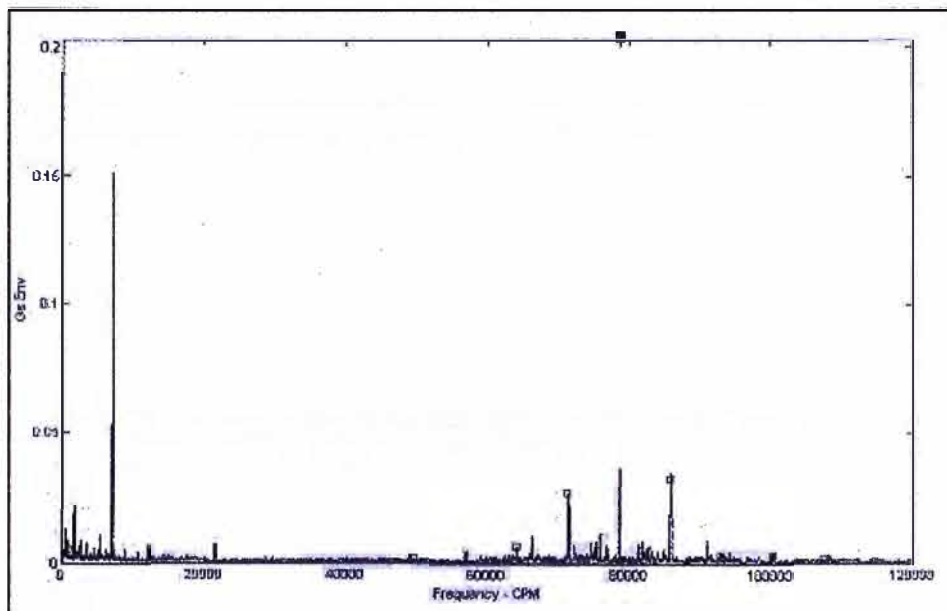
Velocidad: 1760 RPM

MOTOR: PUNTO 1A

Vibración RMS
3.11 mm/seg

Destacando los
componentes de:

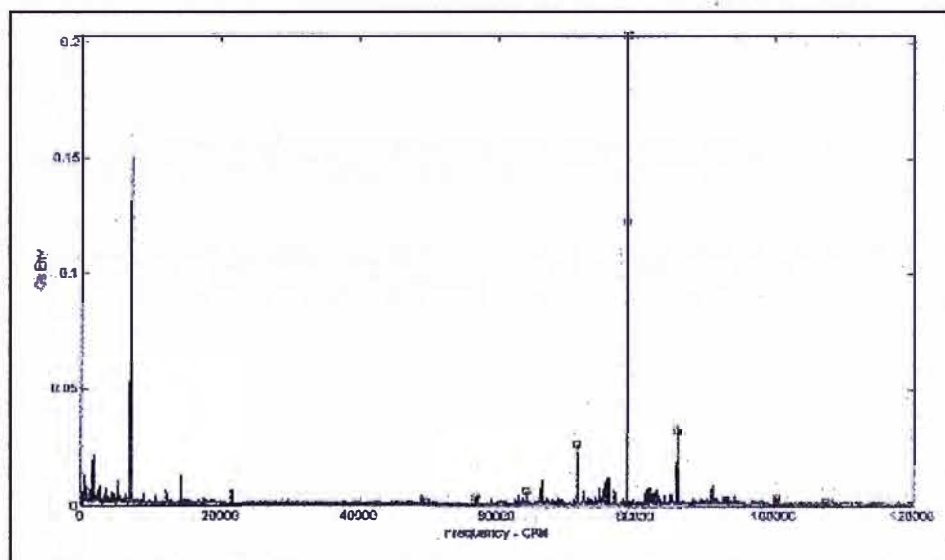
	CPM	mm/seg
1	78675.0	0.1220
2	42637.5	0.0004
3	57037.5	0.0010
4	64275.0	0.0033
5	71475.0	0.0063
6	85875.0	0.0319

**MOTOR: PUNTO 1E**

Vibración RMS
0.25 mm/seg

Destacando los
componentes de:

	CPM	mm/seg
1	78675.0	0.1220
2	42637.5	0.0004
3	57037.5	0.0010
4	64275.0	0.0033
5	71475.0	0.0063
6	85875.0	0.0319

**VIBRACIÓN TOTAL (mm/seg)**

Posición	Unidad	Puntos de medición			
		1	2	3	4
V	mm/seg	2.40	1.97	2.08	1.44
H	mm/seg	1.71	1.87	3.15	2.53
A	mm/seg	3.11	1.67	3.30	2.77
ENV (GE)	G	0.25	0.26	0.26	0.27
T	°C	36	45	45	36

DIAGNOSTICO D26**MOTOR**

- Soltura mecánica de pernos de anclaje. Desalineamiento de poleas. Existencia de una frecuencia natural a 1860 CPM distinta a las frecuencias de giro del sistema (ventilador 1702 CPM, motor 1780 CPM)

VENTILADOR

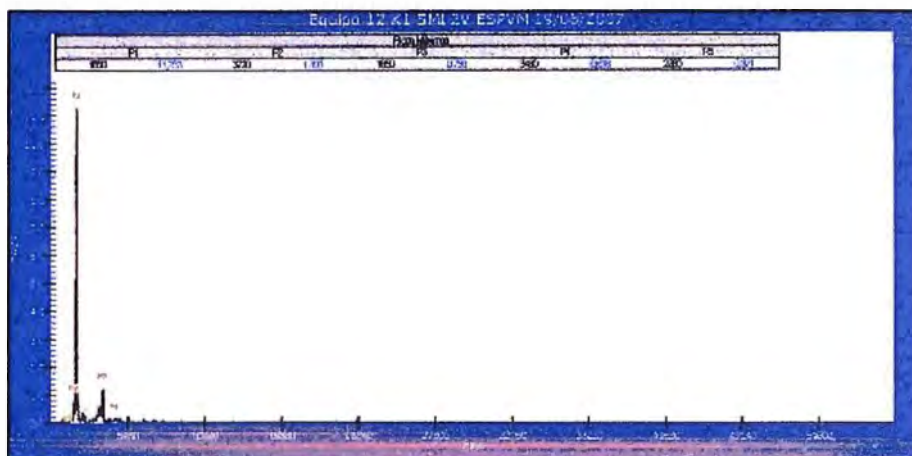
- Desalineamiento de poleas.

Velocidad: 1702 RPM

MOTOR: PUNTO 2V

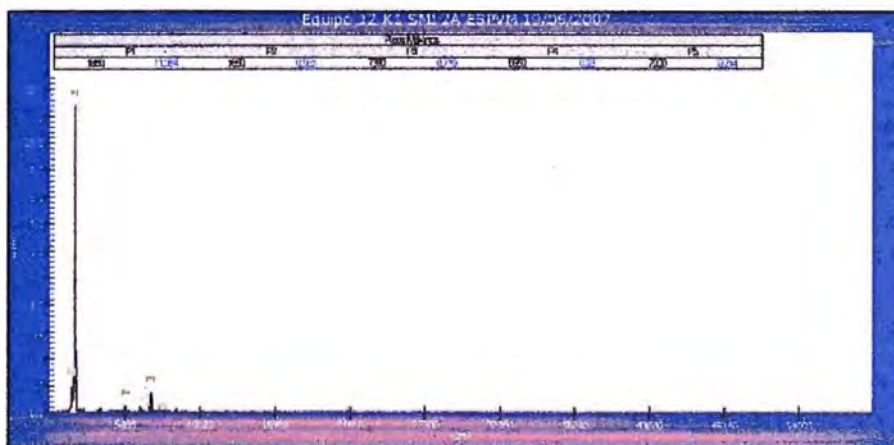
Vibración RMS

15.44 mm/seg

**MOTOR: PUNTO 2A**

Vibración RMS

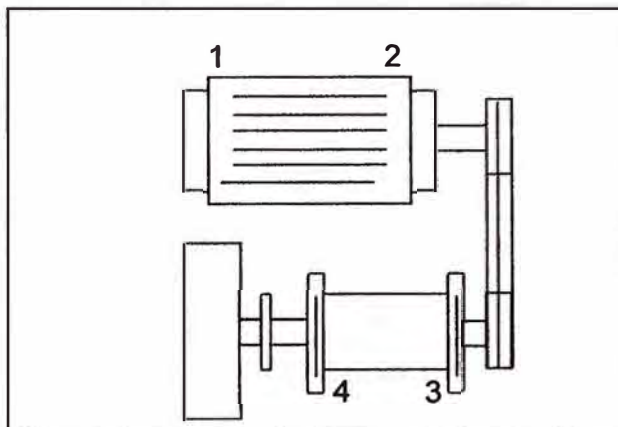
15.69 mm/seg

**VIBRACIÓN TOTAL (mm/seg)**

Posición	Unidad	Puntos de medición			
		1	2	3	4
V	mm/seg	6.33	15.44	2.32	9.60
H	mm/seg	6.17	8.79	7.18	5.97
A	mm/seg	9.55	15.69	9.58	10.64
ENV (GE)	G	0.08	0.11	1.23	0.18
T	°C				

4.3.3 Equipo 5058: Ventilador de Sílica 14K1

Diagnóstico N°	Fecha
D27	Feb-05



DIAGNOSTICO D27

MOTOR

- Vibración máxima por ligera influencia del impulsor.

VENTILADOR

- Impulsor desbalanceado.

VIBRACIÓN TOTAL (mm/seg)

Posición	Unidad	Puntos de medición			
		1	2	3	4
V	mm/seg	3.01	2.93	0.49	0.71
H	mm/seg	3.66	2.97	3.80	4.04
A	mm/seg		3.24	1.26	1.15
ENV (GE)	G	0.14	0.16	0.11	0.13
T	°C	31	37	51	35

CAPITULO V

ANÁLISIS COSTO/BENEFICIO AL IMPLEMENTAR EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO APLICANDO ANÁLISIS VIBRACIONAL

5.1 Costos del Mantenimiento Predictivo

De acuerdo a los diagnósticos del Capítulo IV, se realizaron los correctivos programados, los costos de estas tareas han sido exportados desde el MP2.

Análisis de costos aplicando análisis vibracional

Análisis: Anual

Periodo: 3 años

PLANTA DE ACIDO SULFONICO

Equipo 5040: Torre de enfriamiento Marley 1

Diagnóstico N°	Fecha	Correctivo	Costo
D1	feb-05	Embocinado	3,628
		Alineamiento de poleas	
		Balance dinámico	
		Limpieza del campo estator	
D2	jul-05	Ajuste mecánico	675
D3	ene-07	Alineamiento de poleas	1,095
		Balance dinámico	
D4	nov-07	Alineamiento de poleas	496
		Balance dinámico	1,095

Equipo 5041-5042: Compresor Omel

Diagnóstico N°	Fecha	Correctivo	Costo
D5	feb-05	Ajuste mecánico	3,372
		Alineamiento de poleas	
		Corrección de fuga de aceite	
		Balance dinámico	
D6	jun-06	Ajuste de pernos (más soldadura en base)	670

D7	oct-07	Cambio de rodamientos	995
		Alineamiento de poleas	180
		Se detectó exceso de grasa en rodamientos, corregir	
		Se detectó exceso de grasa en rodamientos, corregir	127

Equipo 5043: Motor del estabilizador 16MX2

Diagnóstico N°	Fecha	Correctivo	Costo
D8	feb-05	Cambio de rodamientos	552
		Ajuste mecánico	655
		Alineamiento de eje	132

Equipo 5044: Motor de envejecimiento 16 A1

Diagnóstico N°	Fecha	Correctivo	Costo
D9	feb-05	Cambio de engranajes	1,220
		Alineamiento de eje	136

Equipo 5045: Ventilador de regeneración 11K2

Diagnóstico N°	Fecha	Correctivo	Costo
D10	feb-05	Cambio de rodamientos	558
		Alineamiento de poleas	
		Balance dinámico	472
D11	ago-06	Alineamiento de poleas	138
		Balance dinámico	286
		Ajuste de rodamientos	615
D12	Set-07	Alineamiento de poleas	138
		Cambio de rodamientos	598
		Balance dinámico	174

Equipo 5046: Ventilador del Convertidor 12K1

Diagnóstico N°	Fecha	Correctivo	Costo
D13	feb-05	Cambio de rodamientos	598
		Alineamiento de poleas	138
D14	mar-06	Cambio de rodamientos	654
		Alineamiento de poleas	138
		Ajuste mecánico	615
D15	jul-07	Cambio de rodamientos	699
		Alineamiento de poleas	138
		Ajuste mecánico	615

Equipo 5047: Ventilador Precipitador 14K1

Diagnóstico N°	Fecha	Correctivo	Costo
D16	feb-05	Cambio de rodamientos	645
		Alineamiento de poleas	138
		Balance dinámico	160
		Ajuste mecánico	615
D17	Set-06	Cambio de rodamientos	675
		Alineamiento de poleas	128
		Balance dinámico	174
D18	jun-07	Alineamiento de poleas	138

Equipo 5048-5049: Bomba de agua del Reactor 16P1

Diagnóstico N°	Fecha	Correctivo	Costo
D19	feb-05	Cambio de rodamientos	270
		Cambio de impulsor por daños de cavitación	370
		Cambio de válvula después de bomba	204

Equipo 5050-5051: Bomba de agua de retorno

Diagnóstico N°	Fecha	Correctivo	Costo
D20	feb-05	Cambio de rodamientos	729
		Cambio de impulsor por daños de cavitación	381
		Alineamiento de ejes	125

Equipo 5052-5053: Bomba de agua de producción 16 A1

Diagnóstico N°	Fecha	Correctivo	Costo
D21	feb-05	Cambio de rodamientos	665
		Alineamiento de ejes	152

Equipo 5054-5055: Bomba de agua de Sulfónico

Diagnóstico N°	Fecha	Correctivo	Costo
D22	feb-05	Cambio de rodamientos	699
		Alineamiento de ejes	135
		Balance dinámico	109

PLANTA DE SULFATO DE ALUMINIO

Equipo 5059: Ventilador de Torre de enfriamiento Marley 2

Diagnóstico N°	Fecha	Correctivo	Costo
D28	feb-05	Alineamiento de poleas	1,900
		Embocinado	
		Balance dinámico	
		Ajuste mecánico	

Equipo 5060: Ventilador de recuperación de polvo

Diagnóstico N°	Fecha	Correctivo	Costo
D29	feb-05	Cambio de rodamientos	568
		Alineamiento de poleas	110
		Balance del impulsor	160

PLANTA MOLIENDA DE AZUFRE

Equipo 5056: Ventilador de Sílica 11K2

Diagnóstico N°	Fecha	Correctivo	Costo
D23	feb-05	Cambio de rodamientos	2,970
		Alineamiento de poleas	
		Balance dinámico	
D24	nov-06	Embocinado	83
		Alineamiento de poleas	75
		Balance dinámico	189

Equipo 5057: Ventilador de Sílica 12K1

Diagnóstico N°	Fecha	Correctivo	Costo
D25	feb-05	Rebobinado	770
		Cambio de rodamientos	672
		Alineamiento de poleas	130
		Balance dinámico	315
D26	oct-06	Ajuste mecánico	615
		Alineamiento de poleas	135

Equipo 5058: Ventilador de Sílica 14K1

Diagnóstico N°	Fecha	Correctivo	Costo
D27	feb-05	Balance dinámico del impulsor	315

Sub – Total (USD)	37,658
--------------------------	---------------

Costos de 21 maquinas en 2005	25,982
Costos de 21 maquinas en 2006	6,226
Costos de 21 maquinas en 2007	7,784

Sub - Total (USD)	39,993
--------------------------	---------------

Cantidad de equipos: 21

Análisis anual

Tarea	Tipo de tarea	Instrucciones	Horas
Inspección diaria	check list	inspección de 10 min x maq	1,344
inspección semanal	check list	inspección de 15 min x maq	84
inspección mensual	vibraciones	tomar vibraciones y temperatura 30 min x maq	126
inspección semestral	orden	análisis vibracional 30min x maq	32
inspección anual	orden	análisis vibracional 30min x maq	16

Mano de obra	Costo
Mano de obra técnico	865
Mano de obra supervisor	55

Costos de 21 maquinas en 2005	26,902
Costos de 21 maquinas en 2006	7,192
Costos de 21 maquinas en 2007	8,797

Depreciación de los equipos	3,511
-----------------------------	-------

Total (USD)	55,683
--------------------	---------------

% Variación de costos (20%) (USD)	55,683
--	---------------

5.2 Costos del Mantenimiento Preventivo

Los costos del Mantenimiento Preventivo involucran los costos por tareas programadas, repuestos, mano de obra de personal técnico y personal de supervisión, además se incluye una parada de planta con un tiempo de reposición de 10 horas, se considera una parada en tres años de operación, el índice real era de dos paradas imprevistas en tres años.

Análisis de costos para el Mantenimiento Predictivo
Mantenimiento Preventivo

PLANTA DE ACIDO SULFONICO

Equipo 5040: Torre de enfriamiento Marley 1
 Equipo 5041-5042: Compresor Omel
 Equipo 5043: Motor del estabilizador 16MX2
 Equipo 5044: Motor de envejecimiento 16 A1
 Equipo 5045: Ventilador de regeneración 11K2
 Equipo 5046: Ventilador del Convertidor 12K1
 Equipo 5047: Ventilador Precipitador 14K1
 Equipo 5048-5049: Bomba de agua del Reactor 16P1
 Equipo 5050-5051: Bomba de agua de retorno
 Equipo 5052-5053: Bomba de agua de producción 16 A1
 Equipo 5054-5055: Bomba de agua de Sulfónico

PLANTA DE SULFATO DE ALUMINIO

Equipo 5059: Ventilador de Torre de enfriamiento Marley 2
 Equipo 5060: Ventilador de recuperación de polvo

PLANTA MOLIENDA DE AZUFRE

Equipo 5056: Ventilador de Sílica 11K2
 Equipo 5057: Ventilador de Sílica 12K1
 Equipo 5058: Ventilador de Sílica 14K1

Cantidad de equipos: 21

Tarea	Tipo de tarea	Instrucciones	Horas
Inspección diaria	check list	inspección de 10 min x maquina	1,344
inspección mensual	check list	monitorear nivel de aceite, 30 min x maquina	126

Tarea	Tipo de tarea	Instrucciones	USD
inspección semestral	orden	cambio de empaquetaduras de prensaestopas	406
	orden	alineamiento	4,620
	orden	Balance dinámico	10,500
inspección anual	orden	ajuste mecánico	5,670
	orden	cambio de fajas (cada 2 años, en 3 ventiladores)	750

Sub-Total (USD)	21,946
------------------------	---------------

Mano de obra	Costo
Mano de obra técnico	818
Mano de obra supervisor	572
Mano de obra por parada	98

Costo por parada intempestivas de producción tiempo mínimo de reposición 6 horas (1 parada en 3 tres años como min)	15,610
---	--------

Costos de 21 maquinas en 2005	38,946
Costos de 21 maquinas en 2006	23,405
Costos de 21 maquinas en 2007	23,475

Total (USD)	85,826
--------------------	---------------

5.3 Ahorro Mantenimiento Predictivo vs Mantenimiento Preventivo

Tipo de Mantenimiento	Costo anual de Mantenimiento de equipos (USD)
Mantto Predictivo	55,683
Mantto Preventivo	85,826
Ahorro Mpd/Mpt	35%

5.4 Retorno de la Inversión

RETORNO DE IMPLEMENTACIÓN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN U.N. QUIMICOS

1. EQUIPOS

ACELEROMETRO	1,404	USD
ANALIZADOR	10,000	USD *
TERMOMETRO	500	USD
	<u>11,904</u>	USD

2. MANO DE OBRA

PERSONAL SMI	500	USD
TERCEROS	13,300	USD
REPUESTOS		USD

INVERSION PARCIAL	25,704	USD
--------------------------	---------------	------------

3. CAPACITACIÓN EXTERNA	1,500	USD
-------------------------	-------	-----

4. CAPACITACIÓN IN SITU	800	USD
-------------------------	-----	-----

TOTAL INVERSIÓN	28,004	USD
------------------------	---------------	------------

AHORROS ANUALES POR CAMBIO DE MANTTO. PREVENTIVO A MANTTO PREDICTIVO	30,142	USD
--	--------	-----

RECUPERACIÓN DE INVERSIÓN	0.9	AÑOS
----------------------------------	------------	-------------

* El precio del analizador es 20,000 USD, considerar que el equipo es utilizado por dos Unidades de Negocio.

CONCLUSIONES

1. En un periodo de tres años de monitoreo de las vibraciones a los equipos críticos, tenemos resultados óptimos en cuanto a la disminución de paradas, el índice de paradas anuales de las plantas antes de la implementación era de 1.5, después de la implementación no hubo paradas intempestivas por fallas de máquinas. Como consecuencia aumentó el tiempo de productividad.
2. En cuanto a los costos de mantenimiento se superó el porcentaje de ahorro trazado inicialmente, de 30% a 35%, con esta reducción se propone adquirir equipos para realizar el balance dinámico, alineamiento láser y analizador de fase, queda pendiente esta propuesta dentro del Planeamiento Estratégico del 2008.
3. Otro de los logros cualitativos, fue la cultura implementada por el monitoreo de las vibraciones, la disciplina desplegada fue satisfactoria, el personal técnico se involucró en el proyecto según los tiempos programados, cumpliendo responsablemente con la entrega de data, trabajando con los check list, anticipándose a las fallas de sus equipos críticos. Queda pendiente la propuesta a los Directores y Jefes de Producción que se capacite al personal técnico como analistas de vibraciones, esto para prevalecer el Mantenimiento Autónomo de la Unidad de Negocios Químicos.

ANEXOS

ANEXO A: EVALUACIÓN DE RANGOS DE VIBRACIÓN

Tabla A.1 – Clasificación de zonas de de vibración severas para máquinas del Grupo 1: Máquinas rotatorias grandes con potencia sobre 300 KW y menos de 50 MW; máquinas eléctricas con altura de eje $H \geq 315$ mm.

Soporte	Zona límite	R.M.S. desplazamiento μm	R.M.S. velocidad mm/s
Rigido	A/B	29	2.3
	B/C	57	4.5
	C/D	90	7.1
Flexible	A/B	45	3.5
	B/C	90	7.1
	C/D	140	11.0

Tabla A.2 – Clasificación de zonas de de vibración severas para máquinas del Grupo 2: Máquinas rotatorias medianas con potencia entre 15 KW y 300 KW; máquinas eléctricas con altura de eje entre $160 \text{ mm} \leq H < 315 \text{ mm}$.

Soporte	Zona límite	R.M.S. desplazamiento μm	R.M.S. velocidad mm/s
Rigido	A/B	22	1.4
	B/C	45	2.8
	C/D	71	4.5
Flexible	A/B	37	2.3
	B/C	71	4.5
	C/D	113	7.1

Tabla A.3 – Clasificación de zonas de de vibración severas para máquinas del Grupo 3: Bombas con impulsor multipaletas y motor separado (flujo centrífugo, axial o mixto) con potencia sobre 15 KW.

Soporte	Zona límite	R.M.S. desplazamiento μm	R.M.S. velocidad mm/s
Rígido	A/B	18	2.3
	B/C	36	4.5
	C/D	56	7.1
Flexible	A/B	28	3.5
	B/C	56	7.1
	C/D	90	11.0

Tabla A.4 – Clasificación de zonas de de vibración severas para máquinas del Grupo 4: Bombas con impulsor multipaletas y motor integrado (flujo centrífugo, axial o mixto) con potencia sobre 15 KW.

Soporte	Zona límite	R.M.S. desplazamiento μm	R.M.S. velocidad mm/s
Rigido	A/B	11	1.4
	B/C	22	2.8
	C/D	36	4.5
Flexible	A/B	18	2.3
	B/C	36	4.5
	C/D	56	7.1

Zonas de evaluación

Zona A: Vibración de máquinas nuevas o recientemente reacondicionadas, puestas en servicio, normalmente deberías estar en esta zona.

Zona B: Las máquinas con vibración en esta zona son considerables aceptables para operar sin restricción en un periodo largo de tiempo.

Zona C: Las máquinas con vibración en esta zona son normalmente consideradas insatisfactorias para una operación continua de tiempo prolongado.

Zona D: Los valores de la vibración de esta zona son considerados normalmente como suficientemente severos para causar daño a la máquina.

**ANEXO B: LISTADO GENERAL DE EQUIPOS EN LAS PLANTAS DE ÁCIDO
SULFÓNICO, SULFATO DE ALUMINIO Y MOLIENDA DE AZUFRE**

Ítem	Planta de Ácido Sulfónico	Planta de Sulfato de Aluminio	Planta de Molienda de Azufre
1	Convertidor 12C1	Autoclave.	Unidad de medición de oxígeno.
2	Soplador de Aire de Proceso 11K1	Válvula de Ingreso de Ácido al Autoclave.	Máquina de embolsado y pesado.
3	1er Enfriador de SO3 12E5	Tanque de Expansión n° 1.	Molino.
4	2do Enfriador de SO3 12E6	Tanque de Expansión n° 2.	Motor y reductor del molino.
5	Horno de Combustión de Azufre 12H1	Tanque de Ácido Concentrado.	Chiller para agua de enfriamiento.
6	Chiller 11RG1	Válvula de descarga del Autoclave.	Elevador de capachos.
7	Pre-Calentador/enfriador de SO2 12E2	Válvula de venteo del Autoclave.	Sifter mill-clasificador dinámico.
8	Enfriador del Convertidor 12E3	Tubos Karbate.	Ventilador del molino de alta presión.
9	Secador de Aire 11C1	Tanque dosador de ácido diluido al Autoclave.	Tanque de nitrógeno.
10	Enfriador de agua del Aire de Proceso 11E3	Ventilador de succión de bauxita molida.	Variador del gusano.
11	Enfriador de glicol del Aire de Proceso 11E4	Agitador del Autoclave.	Cabina de control.
12	Tanque de Glicol 11V2	Tanques de Ácido Sulfúrico Diluido (O2).	Silo del embolsado.
13	Ventilador de Aire de Enfriamiento 12K1	Torre de enfriamiento Marley 1	Ciclón.
14	Pre-Calentador 12H2	Molino de Martillos.	Gusano disgregador del embolsado.
15	Burner pre-calentador 12H4	Zaranda Vibratoria.	Ventilador recuperador de polvo.
16	Bomba de Oleum 12P2	Molino de Pines.	Bomba del agua de enfriamiento.
17	Ventilador de Aire de Regeneración 11K2	Ventilador recuperador de polvo de sulfato.	Bomba del chiller.
18	Bomba de Recirculación de Glicol 11P1	Bomba de Ácido Diluido n°01.	Gusano dosificador de inertes.
19	Bomba de Recirculación de Glicol 11P2	Bomba de Ácido Diluido n°02.	Gusano Mezclador.

20	Enfriador de Aire de Regeneración 11E2	Molino de Bauxita.	Controlador de velocidad.
21	Contenedor de intercambiadores de Regeneración 11V1	Tolva pesadora del Autoclave.	Ductos duplex de succión.
22	Tanque Colector de Oleum 12V2	Bomba de Ácido Concentrado n° 01.	Filtro recuperador de polvo.
23	Grupo de Ignición de Azufre 12H3	Bomba de Ácido Concentrado n° 02.	Gusano alimentador del molino.
24	Calentador de Aire de Regeneración 11E1	Bomba de Envío de Torre Marley 1	Discos de ruptura.
25	Ventilador de Aire de Combustión 12K2	Bomba de Retorno de Torre Marley 1	Tolva de carga de inertes.
26	Filtro en Succión del Soplador de Aire 11F1	Tanques de Almacenamiento de Sulfato Líquido (06).	Válvula de cuchilla del molino.
27	Tanque de Combustible 12V1	Bomba de agua al eje del autoclave n° 01.	Condensador.
28		Bomba de agua al eje del autoclave n° 02.	Tolva de carga de azufre.
29		Sistema Recuperador de Polvo de Sulfato.	Alimentador vibratorio de azufre.
30		Máquina embolsadora y Pesadora.	Silo del molino.
31		Cosedora.	Unidad de enfriamiento de la cabina.
32		Disco Rotatorio.	Tanque de agua de enfriamiento.
33		Sistema Recuperador de polvo de Bauxita.	
34		Bandejas de Cristalización (08).	
35		Elevador de capachos del Molino de Sulfato.	
36		Faja transportadora del Embolsado.	
37		Tolva del molino de bauxita.	
38		Elevador de capachos de bauxita.	
39		Malla del Molino.	
40		Gusano Alimentador de Bauxita molida.	
41		Cabrestante de Volteo de Bandejas (08).	

42		Faja transportadora Inclinada.	
43		Bomba de Recepción n° 1.	
44		Bomba de Recepción n° 2.	
45		Faja transportadora Horizontal n°1 / Reductor.	
46		Faja transportadora Horizontal n°2/ Reductor.	
47		Bomba de sulfato líquido n°1.	
48		Bomba de sulfato líquido n°2.	
49		Bomba de Despacho de Sulfato Líquido.	

ANEXO C: CRITICIDAD DE LOS EQUIPOS

Se muestra la evaluación de los equipos críticos en las tres plantas de la Unidad de Negocios Químicos:

Planta de Ácido Sulfónico

EQUIPOS		Efecto sobre la producción		Daños consecuenciales a los equipos		Daño a la calidad		Daño al operador (Riesgo Seguridad)		Dependencia Logística		Dependencia Mano de Obra		Confiabilidad (Probabilidad de falla)		Flexibilidad		Afecta al Medio Ambiente		Facilidad de Mantenimiento		Valo Técnico Económico		PUNTAJE	TIPO DE MANTENIMIENTO								
		Para	4	Si	2	Alto	5	Alto	3	Exter	2	Terc	1	Baja	2	Simple	4	Si	4	Mala	2	Alto	4			Reduce	2	No	0	Buena	0	Medio	2
1	Torre de enfriamiento Marley 1	4		2		5		3		2		1		1		4		4		2		4		32	PREDICTIVO								
2	Compresor Ormel	4		2		5		1		2		1		1		4		4		2		4		30	PREDICTIVO								
3	Motor del estabilizador 16ND2	4		2		5		1		2		1		1		4		4		2		4		30	PREDICTIVO								
4	Motor de envejecimiento 16 A1	4		2		2		1		2		1		2		4		4		2		4		28	PREDICTIVO								
5	Ventilador de regeneración 11K2	4		2		2		1		2		1		2		4		4		2		4		28	PREDICTIVO								
6	Ventilador del Convertidor 12K1	4		2		5		3		0		1		1		4		4		2		2		28	PREDICTIVO								
7	Ventilador Precipitador 14K1	4		2		5		1		2		1		1		4		0		2		4		28	PREDICTIVO								
8	Bomba de agua del Reactor 16P1	4		2		5		3		2		1		1		4		0		2		2		28	PREDICTIVO								
9	Bomba de agua de retorno	4		2		0		1		2		1		1		4		4		2		4		25	PREDICTIVO								
10	Bomba de agua de producción 16 A1	4		2		5		1		2		1		2		4		0		2		2		25	PREDICTIVO								
11	Bomba de agua de Sulfónico	4		2		5		1		2		1		2		4		0		2		2		25	PREDICTIVO								
12	Convertidor 12C1	4		2		5		1		2		1		1		4		0		2		2		24	PREVENTIVO								
13	1er Enfriador de SO3 12E5	4		2		5		1		2		1		1		4		0		2		2		24	PREVENTIVO								
14	2do Enfriador de SO3 12E6	4		2		5		1		0		1		1		4		0		2		4		24	PREVENTIVO								
15	Horno de Combustión de Azufre 12H1	4		2		5		1		2		1		1		4		0		2		2		24	PREVENTIVO								
16	Chiller 11RG1	4		2		5		1		2		1		1		4		0		2		2		24	PREVENTIVO								
17	Pre-CALENTADOR/enfriador de SO2 12E2	4		2		5		1		2		1		1		4		0		2		2		24	PREVENTIVO								
18	Enfriador del Convertidor 12E3	4		2		5		1		2		1		1		4		0		2		2		24	PREVENTIVO								
19	Secador de Aire 11C1	4		2		5		1		2		0		1		4		0		0		4		23	PREVENTIVO								

20	Enfriador de agua del Aire de Proceso 11E3	4	0	0	3	0	1	1	4	4	2	4	23	PREVENTIVO
21	Enfriador de glicol del Aire de Proceso 11E4	4	2	5	1	2	0	1	4	0	2	2	23	PREVENTIVO
22	Tanque de Glicol 11V2	4	2	5	1	0	1	1	4	0	2	2	22	PREVENTIVO
23	Pre-Calentador 12H2	4	2	5	1	0	1	1	4	0	2	2	22	PREVENTIVO
24	Bumer pre-calentador 12H4	4	2	5	1	0	1	1	4	0	2	2	22	PREVENTIVO
25	Bomba de Oleum 12P2	4	2	5	1	0	1	1	4	0	2	2	22	PREVENTIVO
26	Bomba de Reducción de Glicol 11P1	2	2	5	1	2	1	1	4	0	2	2	22	PREVENTIVO
27	Bomba de Reducción de Glicol 11P2	4	2	0	3	0	1	1	4	4	0	2	21	PREVENTIVO
28	Enfriador de Aire de Regeneración 11E2	4	2	5	1	0	1	1	4	0	0	2	20	PREVENTIVO
29	Contenedor de Intercambiadores de Regeneración 11V1	2	2	5	1	2	0	2	2	0	2	2	20	PREVENTIVO
30	Tanque Colector de Oleum 12V2	2	2	5	1	2	0	2	2	0	2	2	20	PREVENTIVO
31	Grupo de Ignición de Azufre 12M3	2	2	5	1	2	1	1	2	0	2	2	20	PREVENTIVO
32	Calentador de Aire de Regeneración 11E1	4	2	5	1	0	1	1	2	0	2	2	20	PREVENTIVO
33	Filtro en Succión del Soplador de Aire 11F1	4	2	5	1	0	1	1	2	0	2	2	20	PREVENTIVO
34	Tanque de Combustible 12V1	2	2	2	1	0	0	1	4	4	2	2	20	PREVENTIVO

ELABORA: Luisa Uculmana V
Fecha: 23/01/2005

REVISAR: Ing° José Sobrino
Zimmermann
Fecha: 23/01/2005

APRUEBA: Ing° Julio Buitrón
Fecha: 23/01/2005

Planta de Sulfato de Aluminio

EQUIPOS		Efecto sobre la Producción		Daños Consecuenciales a los Equipos		Daño a la calidad		Daño al operador (Riesgo Seguridad)		Dependencia Logística		Dependencia Mano Obra		Confiabledad (Probabilidad de Falla)		Flexibilidad		Afecta al Medio Ambiente		Facilidad de Mantenimiento		Valor Técnico Económico		PUNTAJE	TIPO DE MANTENIMIENTO						
		Para Reduce	4 2	Sí	2 0	Alto	5 2	Alto	3 1	Exter Local	2 0	Terc Propia	1 0	Alta	2 1	Baja	1	Simple	4 2	By-pass	2	Sí	4 0			No	0	Mala Buena	2 0	Alto	4 2
1	Torre de enfriamiento Marley 2	4		2		5		3		2		1		1		4		4		2		4		32	PREDICTIVO						
2	Ventilador de recuperación de polvo	4		2		5		3		2		1		1		4		4		2		2		30	PREDICTIVO						
3	Autoclave.	2		2		5		3		2		1		2		2		0		2		2		23	PREVENTIVO						
4	Válvula de Ingreso de Ácido al Autoclave.	2		2		5		3		2		1		2		2		0		2		2		23	PREVENTIVO						
5	Tanque de Expansión n° 1.	2		2		2		3		2		1		1		4		0		2		2		21	PREVENTIVO						
6	Tanque de Expansión n° 2.	2		2		5		3		2		1		1		4		0		2		2		24	PREVENTIVO						
7	Tanque de Ácido Concentrado.	2		2		2		3		2		0		1		4		4		2		2		24	PREVENTIVO						
6	Válvula de descarga del Autoclave.	2		2		5		3		2		0		2		0		4		2		2		24	PREVENTIVO						
9	Válvula de venteo del Autoclave.	2		2		2		3		0		1		1		4		4		2		2		23	PREVENTIVO						
10	Tubos Karbate.	2		0		5		1		0		1		1		4		4		2		2		22	PREVENTIVO						
11	Tanque dosador de ácido diluido al Autoclave.	2		2		5		1		2		1		1		4		0		2		2		22	PREVENTIVO						
12	Ventilador de succión de bauxita moída.	2		2		2		3		2		1		2		2		4		2		2		24	PREVENTIVO						
13	Agitador del Autoclave.	2		2		2		1		2		1		1		4		0		2		4		21	PREVENTIVO						
14	Tanques de Ácido Sulfúrico Diluido (O2).	2		0		5		1		0		0		1		4		0		2		4		19	PREVENTIVO						
15	Molino de Martillos.	2		2		5		1		0		0		1		4		0		2		2		19	PREVENTIVO						
16	Zaranda Vibratoria.	2		2		5		1		0		0		1		4		0		2		2		19	PREVENTIVO						
17	Molino de Pines.	2		2		5		1		0		0		1		4		0		2		2		19	PREVENTIVO						
18	Bomba de Ácido Diluido n°01.	2		2		5		1		2		0		1		0		4		2		2		21	PREVENTIVO						



SAN MIGUEL INDUSTRIAL S.A.
DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO

FO.06.1000

Versión:

FORMULARIO DE EVALUACION DE CRITICIDAD DE EQUIPOS

UNIDAD/SECCIONAL/LINEA: SULFATO DE ALUMINIO

19	Bomba de Ácido Diluido n°02.	2	2	5	1	2	0	1	0	4	2	2	21	PREVENTIVO
20	Bomba de Ácido Concentrado n° 01.	2	0	5	1	0	0	2	4	0	2	2	18	PREVENTIVO
21	Bomba de Ácido Concentrado n° 02.	2	0	5	1	0	0	2	4	0	2	2	18	PREVENTIVO
22	Tanques de Almacenamiento de Sulfato Líquido (08).	4	2	0	3	2	0	1	0	4	2	2	20	PREVENTIVO
23	Bomba de agua al eje del autoclave n° 01.	4	2	0	3	2	0	1	0	4	2	2	20	PREVENTIVO
24	Bomba de agua al eje del autoclave n° 02.	4	2	2	1	2	0	1	4	0	2	2	20	PREVENTIVO
25	Sistema Recuperador de Polvo de Sulfato.	4	2	2	1	2	0	1	4	0	2	2	20	PREVENTIVO
26	Máquina Embolsadora y Pesadora.	2	2	2	1	0	1	2	2	4	2	2	20	PREVENTIVO
27	Cosedora.	4	2	5	1	2	0	1	0	0	2	2	19	PREVENTIVO
28	Disco Rotatorio.	4	2	5	1	2	0	1	0	0	2	2	19	PREVENTIVO
29	Sistema Recuperador de polvo de Bauxita.	2	0	2	3	0	0	1	4	4	0	2	18	PREVENTIVO
30	Bandejas de Cristalización (08).	4	0	0	1	2	1	2	4	0	2	2	18	PREVENTIVO
31	Elevador de capachos del Molino de Sulfato.	4	0	0	1	2	1	2	4	0	2	2	18	PREVENTIVO
32	Faja transportadora del Embolsado.	4	2	2	1	0	0	2	4	0	2	0	17	PREVENTIVO
33	Tolva del molino de bauxita.	4	0	2	1	0	0	2	4	4	0	0	17	PREVENTIVO
34	Elevador de capachos de bauxita.	2	0	5	1	2	1	2	0	0	2	2	17	PREVENTIVO
35	Malla del Molino.	4	2	0	1	0	0	2	4	0	2	2	17	PREVENTIVO
36	Gusano Alimentador de Bauxita molida.	2	0	0	3	2	1	1	4	0	2	2	17	PREVENTIVO
37	Cabrestante de Volteo de Bandejas (08).	4	0	2	1	0	0	1	4	4	0	0	16	PREVENTIVO
38	Faja transportadora Inclinada.	4	0	2	1	0	0	2	2	0	2	2	15	PREVENTIVO
39	Bomba de Recapción n° 1.	4	2	5	1	0	0	2	0	0	0	0	14	PREVENTIVO
40	Bomba de Recapción n° 2.	4	0	2	1	0	0	1	4	0	0	2	14	PREVENTIVO
41	Faja transportadora Horizontal n°1 / Reductor.	2	0	0	3	0	1	2	0	4	2	0	14	PREVENTIVO
42	Faja transportadora Horizontal n°2/ Reductor.	4	0	0	1	0	1	2	2	0	2	2	14	PREVENTIVO
43	Bomba de sulfato líquido n°1.	0	2	0	1	2	0	1	0	4	2	2	14	PREVENTIVO
44	Bomba de sulfato líquido n°2.	0	2	0	1	2	0	1	0	4	2	2	14	PREVENTIVO
45	Bomba de Despacho de Sulfato Líquido.	2	0	0	1	0	1	2	2	0	2	2	12	PREVENTIVO
ELABORA: Luisa Uculmana V Fecha: 23/01/2005		REVISAR: Ing° José Sobrino Zimmermann Fecha: 23/01/2005					APRUEBA: Ing° Julio Buitrón Fecha: 23/01/2005							

Planta de Molienda de Azufre

EQUIPOS		Efecto sobre la Producción		Daños Consecuenciales a los Equipos		Daño a la calidad		Daño al operador (Riesgo Seguridad)		Dependencia Logística		Dependencia Mano Obra		Confiabilidad (Probabilidad de Falla)		Flexibilidad		Afecta al Medio Ambiente		Facilidad de Mantenimiento		Valor Técnico Económico		PUNTAJE	TIPO DE MANTENIMIENTO
		Para 4	Reduce 2	Si 2	No 0	Alto 5	Medio 2	Bajo 0	Alto 3	Bajo 1	Exter 2	Local 0	Terc 1	Propia 0	Alta 2	Baja 1	Simple 4	By-pass 2	Dual 0	Si 4	No 0	Mala 2	Buena 0		
Ventilador de Silica 11K2		4		2		5		3		2		1		2		4		4		2		2		31	PREDICTIVO
Ventilador de Silica 12K1		4		2		5		3		2		0		2		4		0		2		4		28	PREDICTIVO
Ventilador de silica 14K1		4		2		5		3		2		1		2		4		0		2		4		29	PREDICTIVO
Unidad de medición de oxígeno.		4		2		5		1		2		1		2		2		0		2		2		23	PREVENTIVO
Máquina de embolsado y pesado.		4		2		5		3		2		0		1		2		0		2		2		23	PREVENTIVO
Molino.		4		2		5		1		2		1		2		2		0		2		2		23	PREVENTIVO
Motor y reductor del molino.		4		2		5		1		2		1		2		2		0		2		2		23	PREVENTIVO
Elevador de capachos.		4		2		2		3		2		1		1		2		0		2		2		21	PREVENTIVO
Sifter mill-clasificador dinámico.		4		2		5		1		2		1		1		4		0		2		2		24	PREVENTIVO
Tanque de nitrógeno.		4		2		2		3		2		0		1		4		4		0		2		24	PREVENTIVO
Variador del gusano.		4		2		5		1		0		1		1		4		0		2		2		22	PREVENTIVO
Cabina de control.		4		2		5		1		0		1		1		4		0		2		2		22	PREVENTIVO
Silo del embolsado.		2		2		0		3		2		0		1		4		4		2		2		22	PREVENTIVO
Cición.		4		2		2		1		2		1		1		4		0		2		2		21	PREVENTIVO
Gusano disgregador del embolsado.		4		2		2		1		2		1		1		4		0		2		2		21	PREVENTIVO
Gusano dosificador de inertes.		4		2		2		3		0		1		2		4		0		2		0		20	PREVENTIVO


Gusano Mezclador.	2	2	2	3	2	0	1	2	4	0	2	20	PREVENTIVO
Controlador de velocidad.	4	2	5	1	0	0	1	4	0	0	2	19	PREVENTIVO
Ductos duplex de succión.	2	2	0	3	2	0	2	2	4	0	0	17	PREVENTIVO
Filtro recuperador de polvo.	4	0	2	1	0	0	1	4	0	2	2	16	PREVENTIVO
Gusano alimentador del molino.	2	2	5	1	0	0	1	2	0	0	2	15	PREVENTIVO
Discos de ruptura.	2	2	2	1	2	1	1	2	0	0	2	15	PREVENTIVO
Tolva de carga de inertes.	4	0	2	1	0	0	1	4	0	0	2	14	PREVENTIVO
Válvula de cuchilla del molino.	4	0	0	1	0	0	1	4	0	2	2	14	PREVENTIVO
Condensador.	4	0	2	1	0	0	1	4	0	0	2	14	PREVENTIVO
Tolva de carga de azufre.	2	2	0	3	2	0	1	4	0	0	0	14	PREVENTIVO
Alimentador vibratorio de azufre.	2	0	0	1	0	0	1	4	0	2	2	12	PREVENTIVO
Silo del molino.	2	0	0	1	0	0	1	4	0	2	2	12	PREVENTIVO

ELABORA: Luisa Uculmana V
Fecha: 23/01/2005

REvisa: Ing° José Sobrino
Zimmermann
Fecha: 23/01/2005

APRUEBA: Ing° Julio Buitrón
Fecha: 23/01/2005

Los formularios para determinar los equipos críticos, tendrán que ser llenados tomando en cuenta el siguiente instructivo: IT.08.0001: Instructivo para Determinar Equipos Críticos.

	SAN MIGUEL INDUSTRIAL S.A. MANTENIMIENTO	IT.08.0001
	INSTRUCTIVO PARA DETERMINAR EQUIPOS CRITICOS	Versión: 1
		Página: 1 de 5

1. OBJETIVO

Este instructivo establece como ponderar los equipos totales de cada unidad de negocios, segmentado así sus equipos críticos.

2. ALCANCES

La ponderación se realiza en base a 11 criterios supuestos en caso fallase el equipo.

3. RESPONSABILIDADES

El responsable de este instructivo es el encargado de Monitoreo de Energías. Los encargados de ponderar los equipos son los jefes o gerentes de planta y los mecánicos y/o instrumentistas que ellos dispongan.

3.1. Efecto sobre la Producción

4.1.1 Para : si la falla del equipo detiene la producción recibirá una puntuación de 4.

4.1.2 Reduce : en caso no se detenga la producción pero si la reduce, recibirá una puntuación de 2.

4.1.3 No para : la puntuación será 0, si la falla del equipo no influye sobre la producción.

4. ACTIVIDADES

4.1. El Formulario es un documento que posee un Encabezado donde deberá anotarse la Unidad de Producción, la Sección o la Línea Productiva a la cual pertenecen los equipos a evaluarse.

4.2. El Formulario posee 3 zonas internas:


4.2.1 La zona izquierda indica los Equipos a los cuales se está evaluando. Cada Formulario contiene espacio para un máximo de 15 Equipos, en caso de ser necesario se podrá aumentar el número de hojas como el número de equipos a evaluar requiera.

4.2.2 La zona central está dividida en 11 columnas, las cuales representan los criterios a evaluar y es allí donde se colocan la calificación a los equipos conforme a lo establecido en 4.2.3.

4.2.3 Los criterios de evaluación son los siguientes:

4.2.3.1 Efecto sobre la producción:

- **Para (4 pts):** La falla del equipo ocasiona que la producción de una o más líneas se detenga completamente y sea imposible continuar sin resolver la falla.
- **Reduce (2 pts):** La falla del equipo reduce la producción de una o más líneas productivas. la eficiencia es afectada en algún porcentaje.

	SAN MIGUEL INDUSTRIAL S.A. MANTENIMIENTO	IT.08.0001
	INSTRUCTIVO PARA DETERMINAR EQUIPOS CRITICOS	Versión: 1
		Página: 2 de 4

4.2.3.2 Daños consecuenciales a los Equipos:

- **Si (2 ptos.):** La falla del equipo ocasiona que uno o más equipos aledaños se vean afectados.
- **No (0 ptos.):** El equipo no es capaz de dañar a otros equipos al presentarse una falla.

4.2.3.3 Daño a la Calidad:

- **Alto (5 ptos.):** Ante una falla, el equipo es capaz de dañar el producto en cualquiera de sus etapas de elaboración, de manera que parte de la producción tenga que desecharse completamente o reprocesarse.
- **Medio (2 ptos.):** La falla del equipo puede afectar la calidad del producto terminado, de manera que en algún momento tenga que separarse parte de la producción.
- **Bajo (0 ptos.):** El equipo es incapaz de dañar a la calidad producto en cualquiera de las etapas de elaboración, si es que presenta una falla.

4.2.3.4 Daño al operador (Riesgo Seguridad):


- **Alto (3 ptos.):** El operador puede ser afectado directa o indirectamente si es que el equipo presenta una falla.
- **Bajo (1 pto.):** El equipo esta dispuesto de tal manera que su falla no afecta al operador directamente, pero puede afectarlo indirectamente.

4.2.3.5 Dependencia Logística:

- **Externa (2 ptos.):** Los repuestos del equipo no se pueden conseguir localmente, es necesario traerlos de algún proveedor externo.
- **Local (0 ptos.):** Los repuestos se encuentran en el almacén o se pueden conseguir en el mercado nacional.

4.2.3.6 Dependencia Mano de Obra:

- **Terceros (1 pto.):** Los trabajos de mantenimiento ante una falla eventual sólo pueden ser efectuados por personal externo.
- **Propia (0 ptos.):** Los trabajos de mantenimiento son realizados por personal interno.

	SAN MIGUEL INDUSTRIAL S.A. MANTENIMIENTO	IT.08.0001
	INSTRUCTIVO PARA DETERMINAR EQUIPOS CRITICOS	Versión: 1
		Página: 3 de 4

4.2.3.7 Confiabilidad (Probabilidad de Falla):

- **Baja (2 ptos.):** El equipo es propenso a sufrir fallas, es muy antiguo, ha sido acondicionado o sus piezas sufren desgaste rápidamente.
- **Alta (1 pto.):** El equipo no falla con facilidad, no se deteriora o las piezas sufren poco desgaste.

4.2.3.8 Flexibilidad:

- **Simple (4 ptos.):** El equipo no puede ser reemplazado por otro de características similares. El equipo es único en la línea.
- **Dual (0 ptos.):** El equipo puede ser detenido, ya que se tiene otro de reserva. La línea tiene 2 o más equipos similares dispuestos en paralelo.

4.2.3.9 Afecta al Medio Ambiente:

- **Si (4 ptos):** Ante una falla, el equipo puede emanar residuos sólidos, líquidos o gaseosos que dañen el ecosistema.
- **No (0 ptos.):** El equipo es incapaz de dañar el medio ambiente.

4.2.3.10 Facilidad de Mantenimiento:

- **Buena (1 ptos.):** Las fallas en el equipo por lo general son rápidas de solucionar, las fallas requieren poco tiempo, el equipo esta instalado en una zona que permite su fácil mantenimiento.
- **Mala (3 ptos.):** El equipo es de difícil reparación, sus piezas no se pueden movilizar con facilidad, el espacio para el mantenimiento es muy reducido.

4.2.3.11 Valor Técnico Económico.

- **Alto (4 ptos.):** El equipo es muy costoso, sus repuestos son muy caros, las piezas son muy frágiles o no se pueden conseguir con facilidad en el mercado.
- **Medio (2 ptos.):** El equipo no es muy costoso pero sus piezas no son comerciales.
- **Bajo (0 ptos.):** El equipo tiene piezas que pueden ser reemplazadas con facilidad y no son costosas.

	SAN MIGUEL INDUSTRIAL S.A. MANTENIMIENTO	IT.08.0001
	INSTRUCTIVO PARA DETERMINAR EQUIPOS CRITICOS	Versión: 1
		Página: 4 de 4

4.2.4 El evaluador deberá consignar los valores que se indican en 4.1.3., siendo imposible tomar un valor diferente al que allí se indica.

4.2.5 La tercera zona corresponde a los puntos obtenidos por el equipo en su calificación de criticidad, basados en la siguiente tabla:

RANGO		TIPO DE MANTENIMIENTO
MAYOR O IGUAL QUE	MENOR QUE	
	9	CORRECTIVO
9	25	PREVENTIVO
25		PREDICTIVO

Tabla 4.2.5

4.2.5.1 Mantenimiento Correctivo: Se encuentran en este rango todos aquellos equipos que su reparación no es muy urgente, no requieren mantenimiento especializado y su influencia en la producción es mínima.

4.2.5.2 Preventivo: Aquellos equipos que son importantes en la producción, su falla produce que parte de la producción se detenga, es urgente su reparación, es necesario controlarlos a través de rutinas de mantenimiento e inspecciones periódicas.

4.2.5.3 Predictivo: Equipos que son vitales en la producción, es necesario que se tenga que elaborar un plan de mantenimiento predictivo para detectar fallas antes de que se presenten.

5. REGISTROS

6. DOCUMENTOS RELACIONADOS

7. FORMATOS


7.1 DO.08.0002: Formato de Formularios de evaluación de criticidad de equipos

8. ANEXOS

8.1 FO.08.0003: Formulario de evaluación de criticidad de equipos de U.N. Químicos

ANEXO D: CRITICIDAD DE LOS SUBEQUIPOS

Planta de Ácido Sulfónico

	SAN MIGUEL INDUSTRIAL S.A. DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO	DO.08.0003
	FORMATO DE FORMULARIO PARA EVALUACION DE CRITICIDAD DE SUBEQUIPOS ACIDO SULFONICO	Versión: 1
		Página: 1 de 1

MAQUINA	Sub-equipos	¿Detiene la máquina?		Probabilidad de falla		¿Existe repuesto?		Facilidad de reparación		Costo reparación		Dependencia mano de obra		PUNTAJE	TIPO DE MANTENIMIENTO
		Si	Baja veloc.	5 Alta	3 Media	5 No	3 Si	3 No	1 Si	2 Alto	0 Bajo	2 Alta	0 Baja		
		No	0	Baja	1										
Torre de enfriamiento Marley 1	Motor de ventilador	5		1		3		0		2		0		11	PREDICTIVO
Compresor Omel	Motor	5		1		3		0		2		0		11	PREDICTIVO
	Compresor	5		1		3		0		2		0		11	PREDICTIVO
Motor del estabilizador 16MX2	Motor	5		1		3		0		2		0		11	PREDICTIVO
Motor de envejecimiento 16 A1	Motor	5		1		3		0		2		0		11	PREDICTIVO
Ventilador de regeneración 11K2	Motor del ventilador	5		1		3		0		2		0		11	PREDICTIVO
Ventilador del Convertidor 12K1	Motor del ventilador	5		1		3		0		2		0		11	PREDICTIVO
Ventilador Precipitador 14K1	Motor del ventilador	5		1		3		0		2		0		11	PREDICTIVO
Bomba de agua del Reactor 16P1	Motor	5		1		3		0		2		0		11	PREDICTIVO
	Bomba	5		1		3		0		2		0		11	PREDICTIVO
Bomba de agua de retorno	Motor	5		1		3		0		2		0		11	PREDICTIVO
	Bomba	5		1		3		0		2		0		11	PREDICTIVO
Bomba de agua de producción 16 A1	Motor	5		1		3		0		2		0		11	PREDICTIVO
	Bomba	5		1		3		0		2		0		11	PREDICTIVO

Ventilador de regeneración 11K2	Motor del ventilador	5	1	3	0	2	0	11	PREDICTIVO
Ventilador del Convertidor 12K1	Motor del ventilador	5	1	3	0	2	0	11	PREDICTIVO
Ventilador Precipitador 14K1	Motor del ventilador	5	1	3	0	2	0	11	PREDICTIVO
Bomba de agua del Reactor 16P1	Motor	5	1	3	0	2	0	11	PREDICTIVO
	Bomba	5	1	3	0	2	0	11	PREDICTIVO
Bomba de agua de retorno	Motor	5	1	3	0	2	0	11	PREDICTIVO
	Bomba	5	1	3	0	2	0	11	PREDICTIVO
Bomba de agua de producción 16 A1	Motor	5	1	3	0	2	0	11	PREDICTIVO
	Bomba	5	1	3	0	2	0	11	PREDICTIVO
Bomba de agua de Sulfónico	Motor	5	1	3	0	2	0	11	PREDICTIVO
	Bomba	5	1	3	0	2	0	11	PREDICTIVO
CHILLER 11RG1	Glycol Solution Recirculation Pump (M11P1)	3	1	1	0	2	0	7	PREVENTIVO
	Glycol Solution Recirculation Pump (M11P2)	3	1	1	0	2	0	7	PREVENTIVO
	Cooling water recirculation pump (M16P1)	3	1	1	0	2	2	9	PREVENTIVO
	Compresor 01 chiller (KU11.1)	3	1	1	0	2	2	9	PREVENTIVO
	Compresor 02 chiller (KU11.1)	3	1	1	0	2	2	9	PREVENTIVO
	TANQUE DE AZUFRE FUNDIDO 25V1	Molten sulphur pump (M25P1)	3	1	1	0	2	2	9
	Molten sulphur pump (M25P2)	3	1	1	0	2	2	9	PREVENTIVO

ELABORA: Luisa Uculmana V.

Fecha: 23/01/2005


REVISAR: Ing° José Sobrino Zimmermann

Fecha: 23/01/2005

APRUEBA: Ing° Julio Buitrón

Fecha: 23/01/2005


Planta de Sulfato de Aluminio

	SAN MIGUEL INDUSTRIAL S.A. DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO								DO.08.0003	
	FORMATO DE FORMULARIO PARA EVALUACION DE CRITICIDAD DE SUBEQUIPOS SULFATO DE ALUMINIO								Versión: 1	
									Página: 1 de 1	


MAQUINA	Sub-equipos	¿Detiene la máquina?		Probabilidad de falla		¿Existe repuesto?		Facilidad de reparación		Costo reparación		Dependencia mano de obra		PUNTAJE	TIPO DE MANTENIMIENTO
		Si	5	Alta	5	No	3	No	2	Alto	2	Alta	2		
		Baja veloc.	3	Media	3	Si	1	Si	0	Bajo	0	Baja	0		
		No	0	Baja	1										
Torre de enfriamiento Marley 2	Motor del ventilador	5		1		3		2		2		2		15	PREDICTIVO
Ventilador de recuperación de polvo	Motor de ventilador	5		1		3		2		2		2		15	PREDICTIVO

ELABORA: Luisa Uculmana V. Fecha: 23/01/2005	REvisa: Ing° José Sobrino Zimmermann Fecha: 23/01/2005	APRUEBA: Ing° Julio Buitrón Fecha: 23/01/2005
---	---	--

Planta de Molienda de Azufre

		SAN MIGUEL INDUSTRIAL S.A. DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO						DO.08.0003					
		FORMATO DE FORMULARIO PARA EVALUACION DE CRITICIDAD DE SUBEQUIPOS MOLIENDA DE AZUFRE						Versión: 1					
								Página: 1 de 1					
MAQUINA	Sub-equipos	¿Detiene la máquina?	Probabilidad de falla		¿Existe repuesto?	Facilidad de reparación		Costo reparación		Dependencia mano de obra		PUNTAJE	TIPO DE MANTENIMIENTO
		Si Baja veloc.	5 Alta 3 Media	5 No 3 Si	3 No 1 Si	2 Alto 0 Bajo	2 Alto 0 Bajo	2 Alto 0 Bajo					
		No	0 Baja	1									
Ventilador de Sílica 11K2	Motor del ventilador	5	1	3	2	2	2	2	15	PREDICTIVO			
Ventilador de Sílica 12K1	Motor del ventilador	5	1	3	0	0	2	11	PREDICTIVO				
Ventilador de Sílica 14K1	Motor del ventilador	5	1	3	2	2	2	15	PREDICTIVO				
		ELABORA: Luisa Uculmana V. Fecha: 23/01/2005			REVISAR: Ing° José Sobrino Zimmermann Fecha: 23/01/2005			APRUEBA: Ing° Julio Buitrón Fecha: 23/01/2005					

Para evaluar los subequipos críticos se debe utilizar el instructivo IT.08.0002: Instructivo para Determinar Subequipos Críticos.

	SAN MIGUEL INDUSTRIAL S.A. MANTENIMIENTO	IT.08.0002
	INSTRUCTIVO PARA DETERMINAR SUBEQUIPOS CRITICOS	Versión: 1
		Página: 1

1. OBJETIVO

Este instructivo establece como ponderar los subequipos críticos de cada maquina, segmentado los componentes críticos por máquina.

2. ALCANCES

La ponderación se realiza en base a 6 criterios supuestos en caso de falla del equipo.

3. RESPONSABILIDADES

El responsable de este instructivo es el encargado de Monitoreo de Energías. Los encargados de ponderar los equipos son los jefes o gerentes de planta y los mecánicos y/o instrumentistas que ellos dispongan.

4. ACTIVIDADES

4.1. El Formulario es un documento que posee un Encabezado donde deberá anotarse la Unidad de Producción, la Sección o la Línea Productiva a la cual pertenecen los subequipos a evaluarse.

4.2. El Formulario posee 4 zonas internas:


4.2.1 La primera columna izquierda indica los Equipos y la segunda los Subequipos a los cuales se está evaluando.

4.2.2 La zona central está dividida en 6 columnas, las cuales representan los criterios a evaluar y es allí donde se colocan la calificación a los equipos conforme a lo establecido en 4.2.3.

4.2.3 Los criterios de evaluación son los siguientes:

4.2.3.1 ¿Detiene la máquina?

- **Si (5 ptos):** La falla del subequipo ocasiona que la maquina se detenga completamente y sea imposible continuar sin resolver la falla.
- **Baja velocidad (3 ptos):** La falla del subequipo reduce la producción de la máquina, la eficiencia es afectada en algún porcentaje.
- **No (0 ptos):** El equipo no afecta la continuidad de la producción o no influye en la eficiencia de las líneas productivas.

	SAN MIGUEL INDUSTRIAL S.A. MANTENIMIENTO	IT.08.0002
	INSTRUCTIVO PARA DETERMINAR SUBEQUIPOS CRITICOS	Versión: 1
		Página: 2 de 3

4.2.3.2. Probabilidad de falla

- **Alta (5 ptos.):** se refiere a alta frecuencia de falla del subequipo.
- **Media (3 ptos.):** El equipo falla con frecuencia moderada.
- **Baja (0 ptos.):** casi nunca falla.

4.2.3.3 ¿Existe repuesto?:

- **Si (3 ptos.):** se puede encontrar repuesto en el almacén de SMI o con proveedores locales.
- **No (0 ptos.):** no tiene repuesto o los consigue por importación.

4.2.3.4 Facilidad de reparación:

- **No: (2 ptos.):** La reparación depende de terceros y excede las 24 horas.
- **Si (0 pto.):** La reparación es menor a las 24 horas.


4.2.3.5 Costo de reparación:

- **Alto (2 ptos.):** repuestos son muy caros, las piezas son muy frágiles o no se pueden conseguir con facilidad en el mercado.
- **Bajo (0 ptos.):** El equipo tiene piezas que pueden ser reemplazadas con facilidad y no son costosas.

4.2.3.6 Dependencia Mano de Obra:

- **Alta (2 pto.):** Los trabajos de mantenimiento ante una falla eventual sólo pueden ser efectuados por personal externo.
- **Baja (0 ptos.):** Los trabajos de mantenimiento son realizados por personal interno.

4.2.4 El evaluador deberá consignar los valores que se indican en 4.2.3., siendo imposible tomar un valor diferente al que allí se indica.

	SAN MIGUEL INDUSTRIAL S.A. MANTENIMIENTO	IT.08.0002
	INSTRUCTIVO PARA DETERMINAR SUBEQUIPOS CRITICOS	
	Versión: 1	
		Página: 3 de 3

4.2.5 La tercera zona corresponde a los puntos obtenidos por el equipo en su calificación de criticidad, basados en la siguiente tabla:

RANGO		TIPO DE MANTENIMIENTO
MAYOR O IGUAL QUE	MENOR QUE	
0	10	PREVENTIVO
10		PREDICTIVO

Tabla 4.2.5

4.2.5.1 Preventivo: Aquellos equipos que son importantes en la producción, su falla produce que parte de la producción se detenga, es urgente su reparación, es necesario controlarlos a través de rutinas de mantenimiento e inspecciones periódicas.

4.2.5.2 Predictivo: Equipos que son vitales en la producción, es necesario que se tenga que elaborar un plan de mantenimiento predictivo para detectar fallas antes de que se presenten.

5. REGISTROS

6. DOCUMENTOS RELACIONADOS

7. FORMATOS


7.1 DO.08.0003: Formato de Formularios de evaluación de criticidad de subequipos

8. ANEXOS


8.1 FO.08.0007: Formulario de evaluación de criticidad de subequipos de U.N. Químicos

ANEXO E: LI.08.0003: Planillas de U.N. Químicos


Planta de Acido Sulfónico

	SAN MIGUEL INDUSTRIAL S.A.					LI.08.00003
	PLANILLA DE LA U.N. QUIMICOS					Versión: 1
MÁQUINA	Sub-equipos	N° equipo	VH	VV	VA	Temperatura
Torre de enfriamiento Marley 1	Motor de ventilador					
	Motor					
Compresor Omel	Compresor					
Motor del estabilizador 16MX2	Motor					
Motor de envejecimiento 16 A1	Motor					
Ventilador de regeneración 11K2	Motor del ventilador					
Ventilador del Convertidor 12K1	Motor del ventilador					
Ventilador Precipitador 14K1	Motor del ventilador					
Bomba de agua del Reactor 16P1	Motor Bomba					
Bomba de agua de retorno	Motor Bomba					
Bomba de agua de producción 16 A1	Motor Bomba					
Bomba de agua de Sulfónico	Motor Bomba					

Planta de Sulfato de Aluminio

	SAN MIGUEL INDUSTRIAL S.A.				LI.08.00003	
	PLANILLA DE LA U.N. QUIMICOS				Versión: 1	
MÁQUINA	Sub-equipos	N° equipo	VH	VV	VA	Temperatura
Torre de enfriamiento Marley 2	Motor del ventilador					
Ventilador de recuperación de polvo	Motor de ventilador					

Planta Molienda de Azufre

	SAN MIGUEL INDUSTRIAL S.A.				LI.08.00003	
	PLANILLA DE LA U.N. QUIMICOS				Versión: 1	
MÁQUINA	Sub-equipos	N° equipo	VH	VV	VA	Temperatura
Ventilador de Sílica 11K2	Motor del ventilador					
Ventilador de Sílica 12K1	Motor del ventilador					
Ventilador de Sílica 14K1	Motor del ventilador					

ANEXO F: IT.08.0004: INSTRUCTIVO PARA CONFIGURAR TABLAS DE MEDICIONES EN EL MP2

	SAN MIGUEL INDUSTRIAL S.A. MANTENIMIENTO	IT.08.0004
	INSTRUCTIVO PARA CONFIGURAR LAS TABLAS DE MEDICIONES EN EL MP2	
	Versión: 1	Página: 1 de 3

1. OBJETIVO

Este instructivo establece como configurar las tablas de mediciones del MP2.

2. ALCANCES

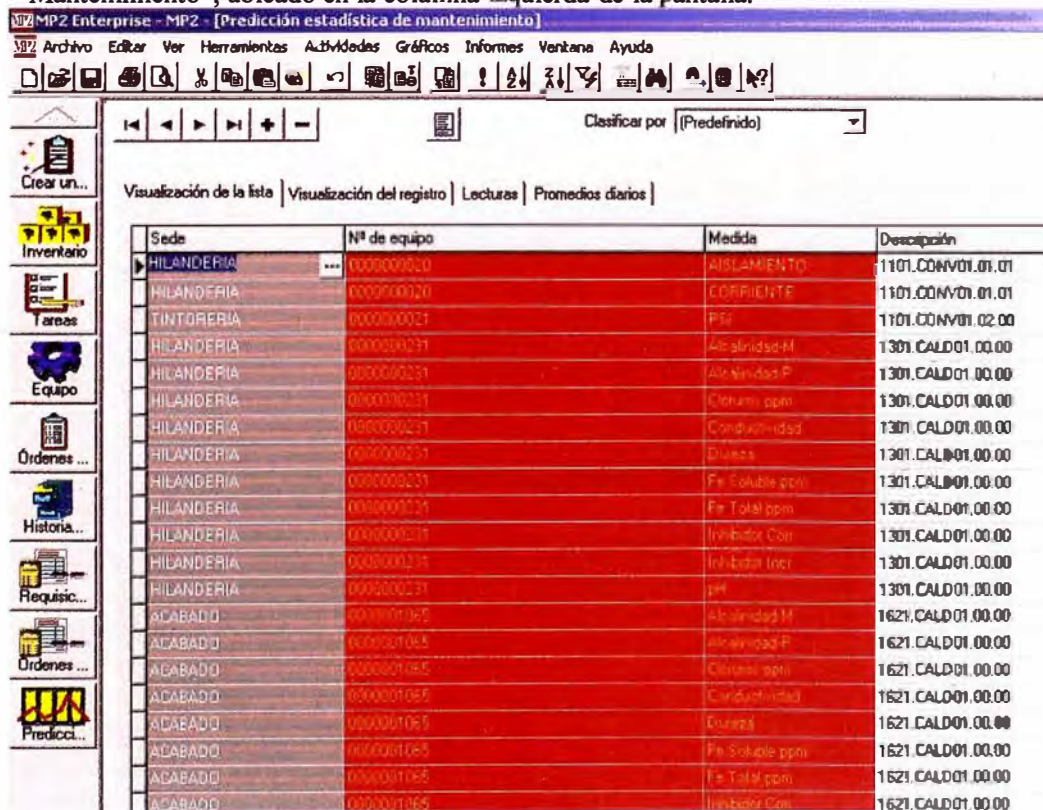
Para cada equipo se debe configurar un registro de las mediciones (vibraciones horizontal, vertical, axial, temperatura, aislamiento, densidad de corriente).

3. RESPONSABILIDADES

El responsable de este instructivo es el encargado de Monitoreo de Energías.


4. ACTIVIDADES

4.1 Habiendo creado el N° de equipo, ingresamos a la opción “Predicciones estadísticas de Mantenimiento”, ubicado en la columna izquierda de la pantalla:

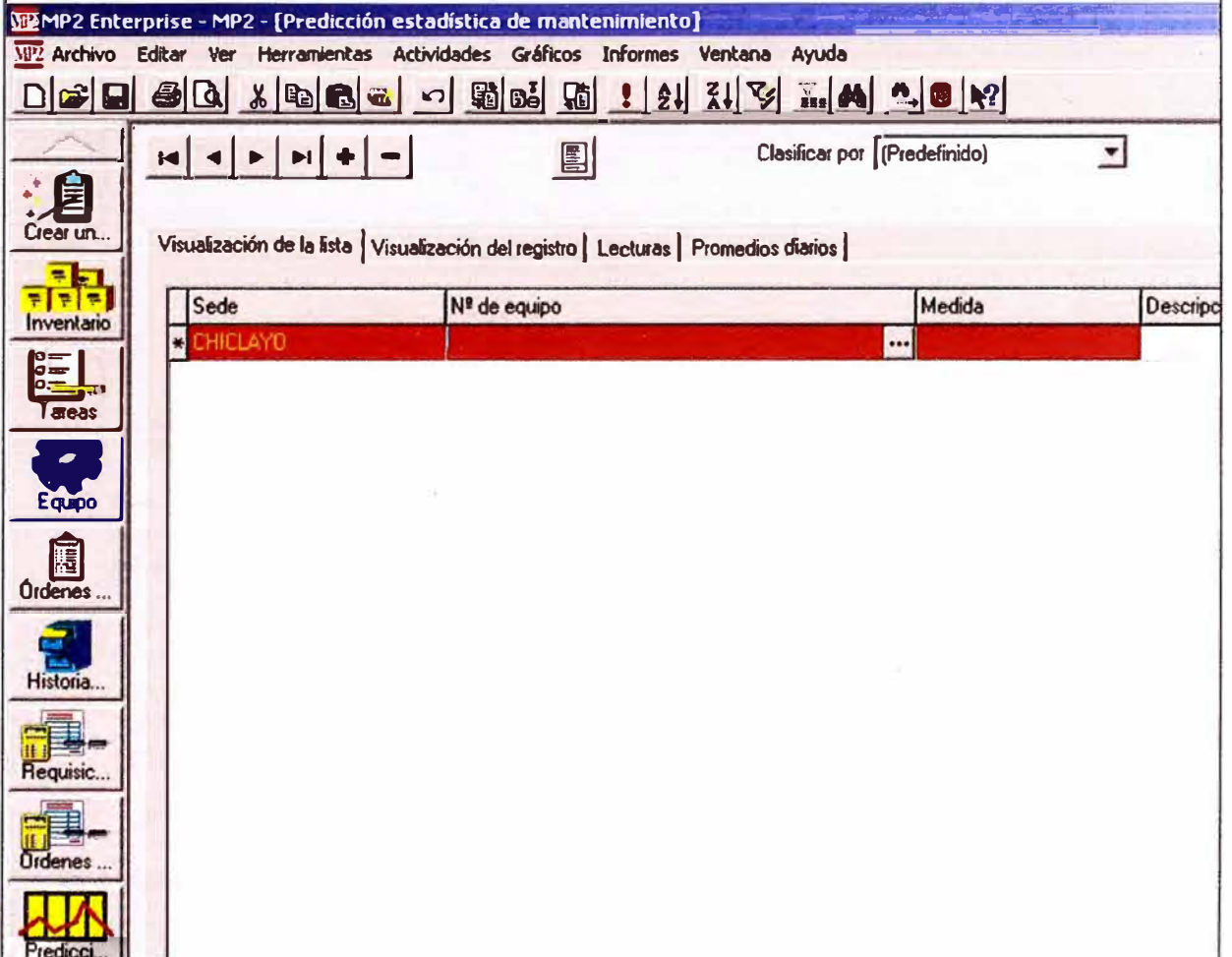


Sede	Nº de equipo	Medida	Descripción
HILANDERIA	000000020	AISLAMIENTO	1101.COINV01.01.01
HILANDERIA	000000020	CORRIENTE	1101.COINV01.01.01
TINTORERIA	000000021	PEs	1101.COINV01.02.00
HILANDERIA	000000231	Alc.ñidad-M	1301.CALD01.00.00
HILANDERIA	000000231	Alc.ñidad-P	1301.CALD01.00.00
HILANDERIA	000000231	Olorum ppm	1301.CALD01.00.00
HILANDERIA	000000231	Conductividad	1301.CALD01.00.00
HILANDERIA	000000231	Dureza	1301.CALD01.00.00
HILANDERIA	000000231	Fe Soluble ppm	1301.CALD01.00.00
HILANDERIA	000000231	Fe Total ppm	1301.CALD01.00.00
HILANDERIA	000000231	Inhibidor Cor	1301.CALD01.00.00
HILANDERIA	000000231	Inhibidor Incr	1301.CALD01.00.00
HILANDERIA	000000231	pH	1301.CALD01.00.00
ACABADO	000001065	Alc.ñidad-M	1621.CALD01.00.00
ACABADO	000001065	Alc.ñidad-P	1621.CALD01.00.00
ACABADO	000001065	Cloruro ppm	1621.CALD01.00.00
ACABADO	000001065	Conductividad	1621.CALD01.00.00
ACABADO	000001065	Dureza	1621.CALD01.00.00
ACABADO	000001065	Fe Soluble ppm	1621.CALD01.00.00
ACABADO	000001065	Fe Total ppm	1621.CALD01.00.00
ACABADO	000001065	Inhibidor Cor	1621.CALD01.00.00

4.2 Hacemos clic en “+” para insertar un nuevo registro:

	SAN MIGUEL INDUSTRIAL S.A. MANTENIMIENTO	IT.08.0004
	INSTRUCTIVO PARA CONFIGURAR LAS TABLAS DE MEDICIONES EN EL MP2	
	Versión: 1	
		Página: 2 de 3

4.2 Hacemos clic en “+” para insertar un nuevo registro:



MP2 Enterprise - MP2 - [Predicción estadística de mantenimiento]

MP2 Archivo Editar Ver Herramientas Actividades Gráficos Informes Ventana Ayuda

Clasificar por [(Predefinido)]


Visualización de la lista | Visualización del registro | Lecturas | Promedios diarios

Sede	Nº de equipo	Medida	Descripción
* CHICLAYO		...	

Crear un...
Inventario
Tareas
Equipo
Órdenes ...
Historia...
Requisic...
Órdenes ...
Predicci...

4.3 Llenamos las celdas de Sede y N° de equipo, en la celda “Medida” podemos ingresar las siguientes opciones:

- 4.3.1 Vibracion vertical
- 4.3.2 Vibracion horizontal
- 4.3.3 Vibracion axial
- 4.3.4 Temperatura
- 4.3.5 Aislamiento
- 4.3.6 Densidad de corriente

	SAN MIGUEL INDUSTRIAL S.A. MANTENIMIENTO	IT.08.0004
	INSTRUCTIVO PARA CONFIGURAR LAS TABLAS DE MEDICIONES EN EL MP2	
	Versión: 1	
		Página: 3 de 3

4.4 Luego vamos a la ventana de “Lecturas” y llenamos en la celda “Medida” la opción que elegimos del numeral anterior 4.3.



MP2 Enterprise - MP2 - [Predicción estadística de mantenimiento]

Archivo Editar Ver Herramientas Actividades Gráficos Informes Ventana Ayuda

Clasificar por (Predefinido) Filtro (Ninguno)

Visualización de la lista | Visualización del registro Lecturas | Promedios diarios

Nº de equipo 0000004595 Sede TEJEDURIA

Medida VIB HORIZONTAL Unidades mm/s Medida 1.0

Descripción Desviación estándar 0.2

Fecha	Hora	Lectura numérica	Nº de OT	Sede de la orden de trabajo	Lectura del texto
22/07/2006	12:00:00		131		

4.5 Con estos pasos terminamos de configurar un registro para nuestro equipo, hay que configurar estos registros dependiendo el tipo de equipo, según lo establecido en el numeral 4.3 del procedimiento PG.08.0004 Procedimiento de Implementación del Mantenimiento Predictivo.

- 4.5.1 Motores: Aislamiento (Ohm), Densidad de corriente (A), Temperatura (°C), Vibración horizontal, vertical y axial (mm/s).
- 4.5.2 Compresores: Temperatura (°C), Vibración horizontal, vertical y axial (mm/s).
- 4.5.3 Bancadas: vibraciones horizontal, vertical y axial (si existe eje)
- 4.5.4 Cajas de engranajes: Vibraciones horizontal, vertical y axial (si existe eje), temperatura (°C)
- 4.5.5 Bombas: vibraciones horizontal, vertical y axial, temperatura (°C)

Ejm.: Si nuestro equipo fuese un motor tendremos que configurar 6 registros.

	SAN MIGUEL INDUSTRIAL S.A. MANTENIMIENTO	IT.08.0005
	INSTRUCTIVO PARA REGISTRAR DATOS EN EL MP2	
	Versión: 1	
		Página: 2 de 4

4.3 A continuación aparecen todos los registros que tiene el N° de equipo que hemos seleccionado:



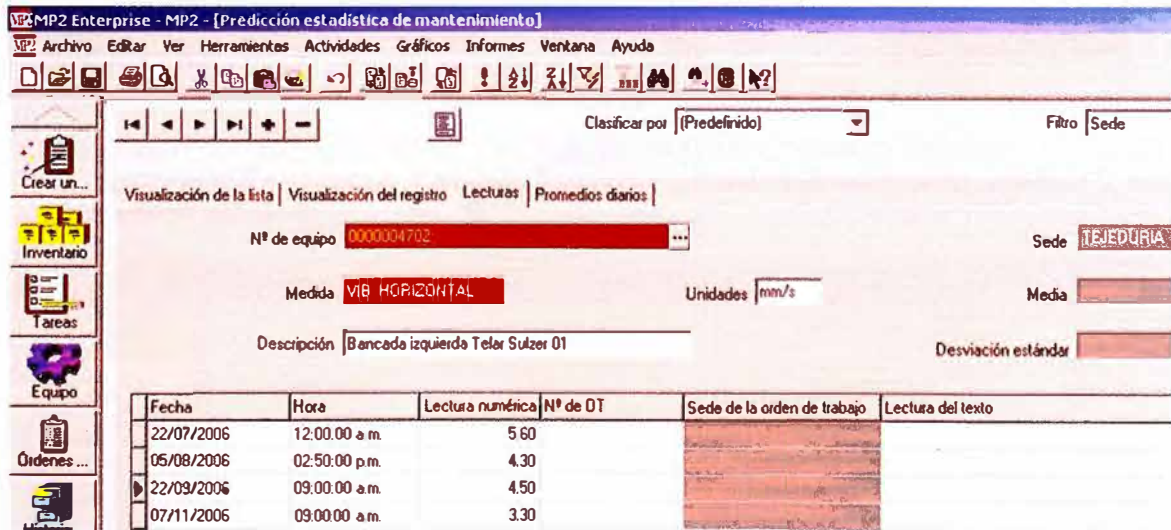
MP2 Enterprise - MP2 - [Predicción estadística de mantenimiento]

MP2 Archivo Editar Ver Herramientas Actividades Gráficos Informes Ventana Ayuda

Visualización de la lista | Visualización del registro | Lecturas | Promedios diarios

Sede	N° de equipo	Medida	Descripción
TEJEDURIA	0000004695	VIB AXIAL	
TEJEDURIA	0000004695	VIB HORIZONTAL	
TEJEDURIA	0000004695	VIB VERTICAL	

4.4 Nos colocamos en el tipo de “Medida” que queremos ingresar y hacemos clic en la ventana “Lecturas”



MP2 Enterprise - MP2 - [Predicción estadística de mantenimiento]

MP2 Archivo Editar Ver Herramientas Actividades Gráficos Informes Ventana Ayuda

Visualización de la lista | Visualización del registro | Lecturas | Promedios diarios

N° de equipo: 0000004702 Sede: TEJEDURIA

Medida: VIB HORIZONTAL Unidades: mm/s Medida: []

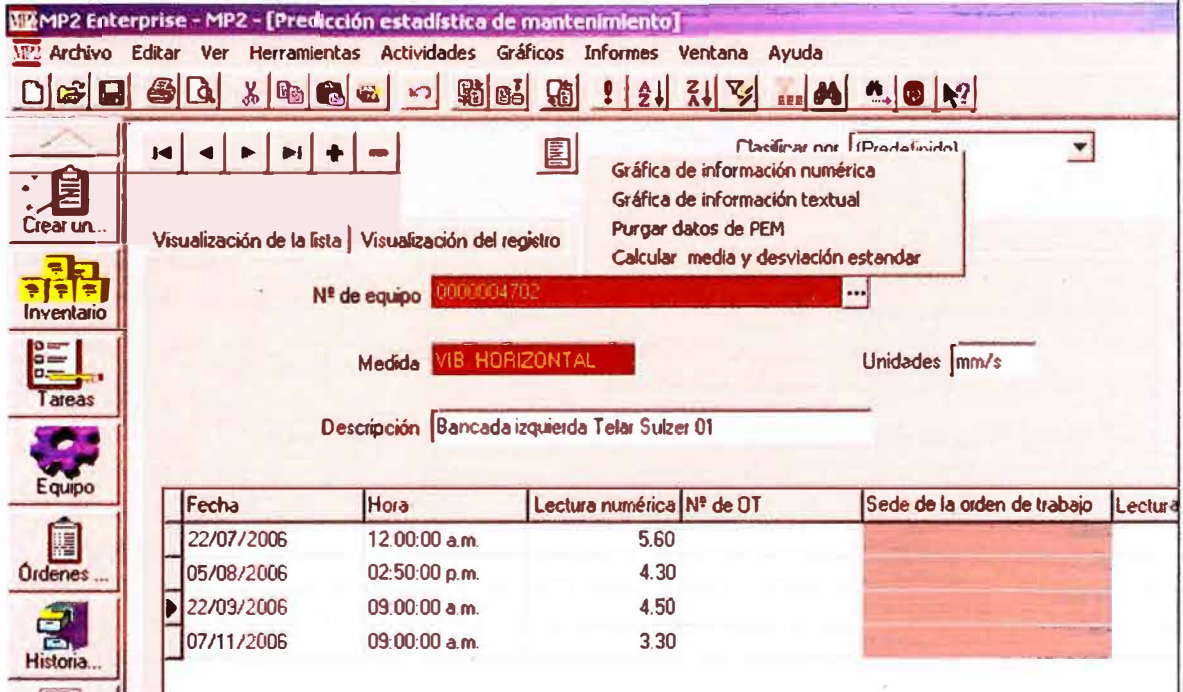
Descripción: Bancada izquierda Teler Sutzer 01 Desviación estándar: []

Fecha	Hora	Lectura numérica	N° de DT	Sede de la orden de trabajo	Lectura del texto
22/07/2006	12:00:00 a.m.		5.60		
05/08/2006	02:50:00 p.m.		4.30		
22/09/2006	09:00:00 a.m.		4.50		
07/11/2006	09:00:00 a.m.		3.30		

4.5 Aparecen las columnas para llenar la fecha en que se han tomado los datos, la hora, y la lectura numérica.

	SAN MIGUEL INDUSTRIAL S.A. MANTENIMIENTO	IT.08.0005
	INSTRUCTIVO PARA REGISTRAR DATOS EN EL MP2	Versión: 1
		Página: 3 de 5

4.6 Para ver el gráfico de los registros, hacer clic en el icono “Menú de Opciones”, ubicado en la parte central superior de la pantalla.



The screenshot shows the 'MP2 Enterprise - MP2 - [Predicción estadística de mantenimiento]' application. The menu bar includes Archivo, Editar, Ver, Herramientas, Actividades, Gráficos, Informes, Ventana, and Ayuda. The toolbar contains various icons for file operations and data management. The main window displays a form for entering data for a specific equipment record.

Visualización de la lista | Visualización del registro

Nº de equipo: 000004702

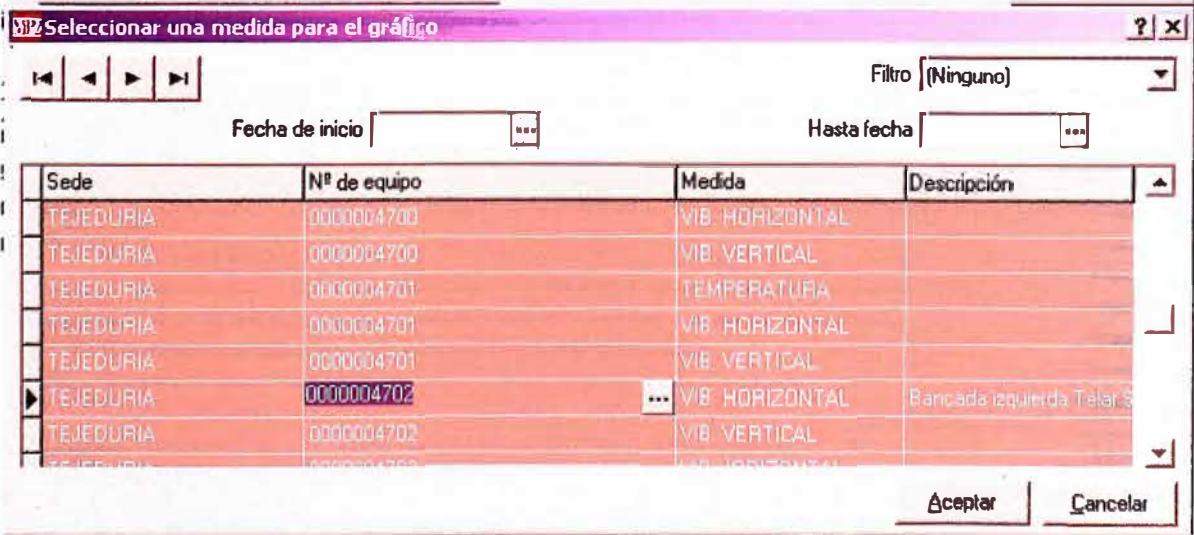
Medida: VIB HORIZONTAL

Unidades: mm/s

Descripción: Bancada izquierda Telar Sulzer 01

Fecha	Hora	Lectura numérica	Nº de DT	Sede de la orden de trabajo	Lectura
22/07/2006	12:00:00 a.m.		5.60		
05/08/2006	02:50:00 p.m.		4.30		
22/09/2006	09:00:00 a.m.		4.50		
07/11/2006	09:00:00 a.m.		3.30		

4.7 Para ver el gráfico de los registros, hacer clic en el icono “Menú de Opciones”, ubicado en la parte central superior de la pantalla y aceptar ver “Gráfica de información numérica”, luego aparece esta tabla:



The screenshot shows the 'Seleccionar una medida para el gráfico' dialog box. It includes a filter dropdown set to '(Ninguno)', fields for 'Fecha de inicio' and 'Hasta fecha', and a table of available measures for the selected equipment.

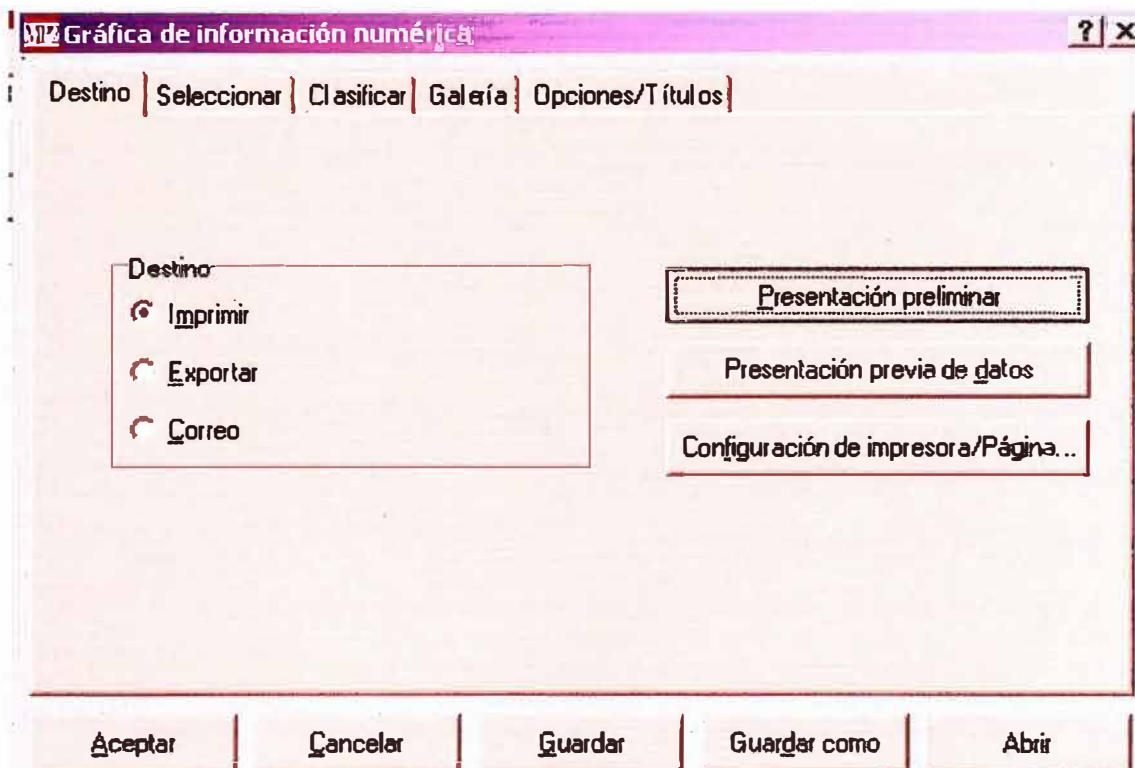
Sede	Nº de equipo	Medida	Descripción
TEJEDURIA	000004700	VIB HORIZONTAL	
TEJEDURIA	000004700	VIB VERTICAL	
TEJEDURIA	000004701	TEMPERATURA	
TEJEDURIA	000004701	VIB HORIZONTAL	
TEJEDURIA	000004701	VIB VERTICAL	
TEJEDURIA	000004702	VIB HORIZONTAL	Bancada izquierda Telar S
TEJEDURIA	000004702	VIB VERTICAL	

Buttons: Aceptar, Cancelar

	SAN MIGUEL INDUSTRIAL S.A. MANTENIMIENTO	IT.08.0005
	INSTRUCTIVO PARA REGISTRAR DATOS EN EL MP2	Versión: 1
		Página: 4 de 5

4.8 Colocarse en tipo de registro y N° de equipo deseado, Aceptar.

4.9 A continuación aceptar "Presentación preliminar"



Gráfica de información numérica

Destino | Seleccionar | Clasificar | Galería | Opciones/Títulos

Destino

Imprimir

Exportar

Correo

Presentación preliminar

Presentación previa de datos

Configuración de impresora/Página...

Aceptar Cancelar Guardar Guardar como Abrir



SAN MIGUEL INDUSTRIAL S.A.
MANTENIMIENTO

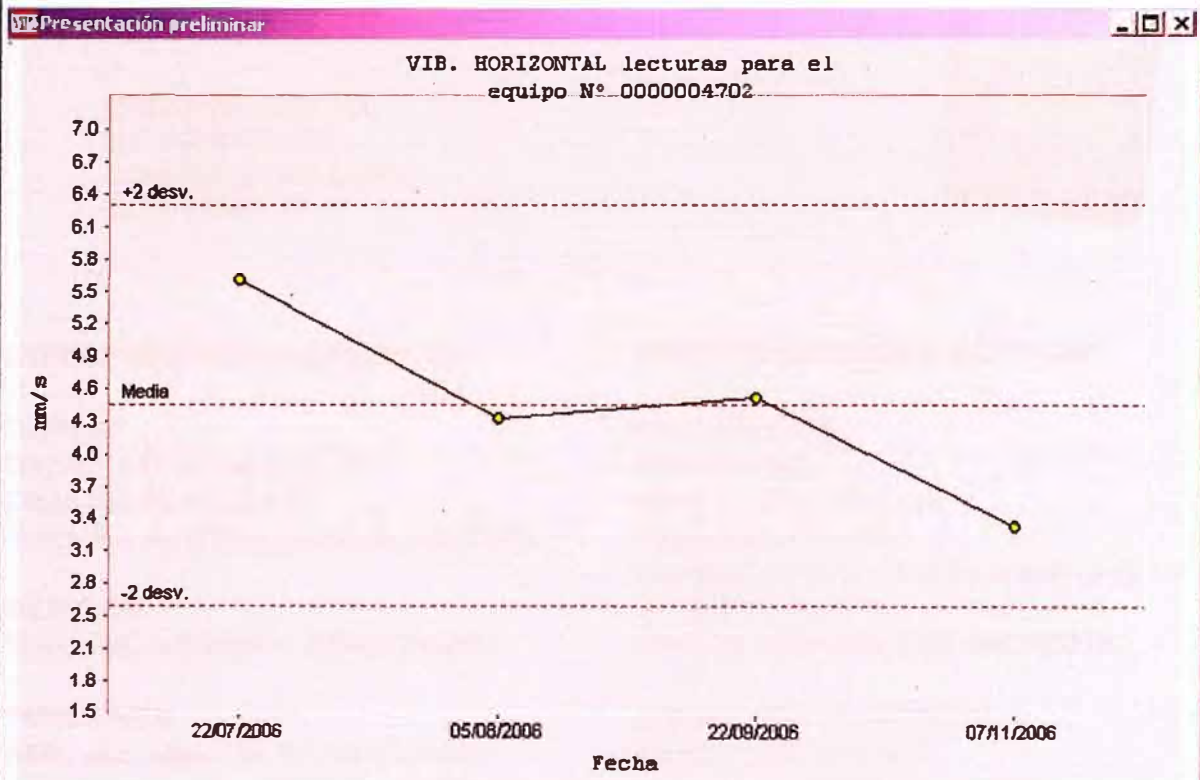
IT.08.0005

INSTRUCTIVO PARA REGISTRAR DATOS
EN EL MP2

Versión: 1

Página: 1 de 1

4.10 inalmente aparece la curva de tendencia, ademas se indica la media y los limites de control superior e inferior.



5. REGISTROS
6. DOCUMENTOS RELACIONADOS
7. FORMATOS
8. ANEXOS

ANEXO H: CATÁLOGO DEL ACELERÓMETRO PARA EL MONITOREO MENSUAL

VIB1200

**MEDIDOR DIGITAL
DE VIBRAÇÕES
COM ESTETOSCÓPIO
ELETRÔNICO.**



ESPECIFICACIONES GENERALES

DISPLAY

Display LCD, 52 mm x 38 mm
Dígito con 16 mm (0,63")
Indicación por gráfico de barras (bargraph)

MEDICIÓN

Velocidad, aceleración, desplazamiento

FUNCIONES

RMS, pico, retención del máximo valor

INTERVALO DE FRECUENCIA

10 Hz a 1 kHz

TIEMPO DEL MUESTREO

Aproximadamente 1 segundo

TIEMPO DEL MUESTREO DEL ALMACENAMIENTO DE DATOS

0, 1, 2, 10, 30, 60, 600, 1800, 3600 segundos

** Tiempo de 0 segundo es para
almacenamiento manual, los otros valores son
para almacenamiento automático*

MEMORIA INTERNA

Máximo de 500 valores

SALIDA DE DATOS

Salida serial RS232 aislada

ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS

ACELERACIÓN

Unidad = m/s^2
Rango = 0,5 a 199,9 m/s^2
Resolución = 0,1 m/s^2
Exactitud = $\pm (5 \% + 2 d)$ de la lectura @ 160
Hz, 80 Hz, $23 \pm 5 ^\circ C$
Punto de calibración = 50 m/s^2 (160 Hz)

Unidad = G (1 G = 9,8 m/s^2)
Rango = 0,05 a 20,39 G
Resolución = 0,01 G
Exactitud = $\pm (5 \% + 2 d)$ de la lectura @ 160
Hz, 80 Hz, $23 \pm 5 ^\circ C$
Punto de calibración = 50 m/s^2 (160 Hz)

Unidad = ft/s^2
Rango = 2 a 656 ft/s^2
Resolución = 1 ft/s^2
Exactitud = $\pm (5 \% + 2 d)$ de la lectura @ 160
Hz, 80 Hz, $23 \pm 5 ^\circ C$
Punto de calibración = 50 m/s^2 (160 Hz)

VELOCIDAD

Unidad = mm/s
Rango = 0,5 a 199,9 mm/s
Resolución = 0,1 mm/s
Exactitud = $\pm (5 \% + 2 d)$ de la lectura @ 160
Hz, 80 Hz, $23 \pm 5 ^\circ C$
Punto de calibración = 50 mm/s (160 Hz)

TEMPERATURA DE OPERACIÓN

0 °C a 50 °C

Unidad = cm/s

Rango = 0,05 a 19,99 cm/s

Resolución = 0,01 cm/s

Exactitud = \pm (5 % + 2 d) de la lectura @ 160 Hz, 80 Hz, 23 ± 5 °C

Punto de calibración = 50 mm/s (160 Hz)

HUMEDAD DE OPERACIÓN

Menor que 80 % HR

ALIMENTACIÓN

Batería alcalina, 9 V, 006P, MN1604 (PP3) o equivalente

Unidad = in/s

Rango = 0,02 a 7,87 in/s

Resolución = 0,01 in/s

Exactitud = \pm (5 % + 2 d) de la lectura @ 160 Hz, 80 Hz, 23 ± 5 °C

Punto de calibración = 50 mm/s (160 Hz)

CONSUMO

Aproximadamente 13 mA DC

PESO

253 g

DESPLAZAMIENTO (pico a pico)

Unidad = mm

Rango = 1,999 mm

Resolución = 0,001 mm

Exactitud = \pm (5 % + 2 d) de la lectura @ 160 Hz, 80 Hz, 23 ± 5 °C

Punto de calibración = 0,141 mm (160 Hz)

DIMENSIONES

200 x 68 x 30 mm

ACCESORIOS

1 sensor de vibración con cable

1 base magnética

1 cable de comunicación RS232

1 cable conversor USB

1 software para transferir los datos almacenados en la memoria interna del equipo para una PC

1 maleta plástica para transporte

1 manual de uso

Unidad = Pulgada

Rango = 0,078 in

Resolución = 0,001 in

Exactitud = \pm (5% + 2 d) de la lectura @ 160 Hz, 80 Hz, 23 ± 5 °C

Punto de calibración = 0,141 mm (160 Hz)

MEDIDOR DIGITAL DE VIBRACIONES

- **MEDICIONES CONFORME NORMA ISO 2954**
- **ACELERACIÓN, VELOCIDAD Y DESPLAZAMIENTO**
- **ACELERACIÓN: 0,05 a 20,39 G (RMS)**
- **VELOCIDAD: 0,5 a 199,9 mm/s (RMS)**
- **DESPLAZAMIENTO: 1,999 mm (PICO A PICO)**
- **FRECUENCIA: 10 Hz A 1 kHz**
- **SENSOR DE VIBRACIÓN CON BASE MAGNÉTICA**
- **DISPLAY LCD CON INDICACIÓN POR BARGRAPH**
- **SALIDA DE DATOS (RS232/USB)**
- **MEMORIA INTERNA PARA HASTA 500 MEDICIONES**

El análisis de vibraciones es uno de los indicadores mas significativos de las condiciones de operación de motores y máquinas rotativas, permitiendo detectar anomalías en rodamientos, así como balanceo o alineamiento inadecuados, antes que se transformen en problemas significativos.

El mantenimiento predictivo ha demostrado ser la opción más conveniente y económica, porque

evita los costos innecesarios asociados a los esquemas de mantenimiento preventivo, además de proteger el sistema de paradas imprevistas.

El medidor de vibraciones VIB-1400 es un equipo portátil, de fácil utilización, que permite organizar un programa de mantenimiento predictivo, basado en la supervisión programada y periódica de vibraciones.

Ofrece mediciones confiables de las magnitudes asociadas con la vibración. Los valores de aceleración, velocidad y desplazamiento son exhibidos en un display LCD de alta visibilidad.

Utiliza un acelerómetro que en conjunto con su base magnética permite obtener mediciones estables y repetitivas.

Los resultados son almacenados en la memoria interna con capacidad para hasta 500 mediciones, para ser posteriormente descargadas en una PC permitiendo la elaboración de un análisis de tendencia.

ANEXO I: CATÁLOGO DEL ANALIZADOR DE VIBRACIONES

Colector de Datos de Múltiples Variables

DSP Logger MX 300

El DSP Logger MX 300 es un hardware poderoso, con amplia capacidad de cálculo, rapidez en las mediciones y 16 Mb de memoria que lo convierten en una herramienta competitiva en el presente y el futuro, dado que las actualizaciones de las versiones de su sistema operativo y sus programas puede hacerse por Internet.

Incorpora además de las mediciones vibratorias, nuevas posibilidades de medición como variables de procesos industriales, admitiendo cualquier señal 4-20 mA, 0-10 V, 0-5 V de CC o CA, Temperatura con medidores infrarrojos y realizar análisis espectral de medidores de ultrasonido.

En todas las mediciones incorpora espectros con definiciones configurables en 400, 2000 y 4000 líneas de resolución.

Además de permitir en los espectros la utilización de herramientas en el campo como Cursores, Amónicas, Detección de frecuencias de falla de rodamientos y da la posibilidad de ver los valores RMS de cada banda en las alarmas del espectro.

En los espectros de Envolvente agrega a esta poderosa herramienta dos tipos de filtros pasa banda para configurarlos según las RPM de los rodamientos que se analicen.

El DSP Logger MX 300 permite también realizar espectros de corriente gracias a sus dos entradas dedicadas para pinzas amperométricas, esta herramienta sumada a la definición espectral permite detectar problemas eléctricos en equipos rotantes.

Posee además entrada opcional de tensión de 400V AC RMS de 50 o 60 Hz

El DSP Logger MX 300 ofrece múltiples entradas de 16 bits y 24 bits para una diversa gama de sensores activos y pasivos.

En la entrada de los acelerómetros admite distintos tipos de sensibilidades:

50 mV/g, 100 mV/g, 500 mV/g.

DSP Logger MX 300 posee 16 Mb. de memoria flash lo cual le permite almacenar más de 16.000 espectros por cada transferencia.

Esta nueva generación de Analizadores y Colectores de Datos basados en Procesadores de Señales Digitales (DSP) ejecutándose a 48 MHz permite realizar mediciones más rápidas y con una respuesta en frecuencia de mayor rango que versiones anteriores, ampliándose desde 0.2 Hz a 20 K Hz.

El equipo de campo cuenta con 5 programas diferentes para mantenimiento predictivo, ellos son:

- Colector de Datos de Vibraciones
- Analizador de Fase
- Balanceo-Equilibrado de Máquinas
- Mediciones fuera de ruta
- Mediciones Auxiliares

Colector de datos

Este módulo permite realizar rutinas de medición de un conjunto de equipos en forma totalmente automática. El uso de esta función es sumamente sencillo, ya que requiere una mínima intervención del operador, quien deberá seguir las indicaciones del instrumento para cambiar de Equipo o Punto de medición.

A fin de aumentar la velocidad de adquisición de datos, el colector puede operar en forma automática realizando la rutina de inspección.

En modo automático, el colector efectúa las mediciones y el operador debe confirmarlas.

Al completar las mediciones de un punto, lo notifica e indica el próximo punto a medir.

Al finalizar las mediciones sobre todos los puntos de un equipo, indica cual es el próximo equipo a medir, de acuerdo al orden establecido en la configuración.

Al completar las mediciones sobre todos los Equipos de una ruta, indica cual es la próxima ruta a medir o indica que se terminó el recorrido.

Desde cualquier punto, se puede pasar al modo automático y se puede salir al modo manual fácilmente para alterar el orden del recorrido o editar una medición ya grabada.

Cada nivel dentro del módulo posee un estado que varía mientras se completa la ruta:

Incompleto - OK -Precaución - Emergencia.

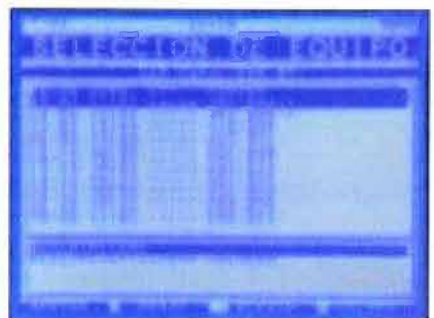
El módulo muestra con cada transferencia el historial de la última medición realizada, tanto valores globales como espectrales, para ser comparadas en el momento de realizar la nueva inspección.

Las rutinas de medición deben estar previamente configuradas en la PC y se transmiten al colector vía un puerto Serie RS 232, de esta forma el sistema estará listo para realizar la ruta configurada en el software DSP Data Management.

Una vez realizadas las mediciones se vuelven a transmitir a la PC por la misma vía para el análisis final.

Las Mediciones que pueden realizarse con este módulo son:

- Espectros de Velocidad, Aceleración y Envolvente de vibración.
- Valores RMS, 0-Pico de vibración.
- Espectros de Corriente con pinza amperométrica.
- Espectros de señales alternas de 0 a 10V.
- Espectros de señales audibles de instrumentos de ultrasonido.
- Valor de Temperatura con sensor infrarrojo o acelerómetro dual.
- Valor de 4-20mA.
- Valor de tensión continua de sensores de 0 a 10V.



Accesorios disponibles para el módulo Colector de Datos:

- Sensores Acelerómetros de 100 mV/g y 500 mV/g.
- Sensor Acelerómetro Dual de 100mV/g y 10mV/°C
- Cables siliconados para sensores de vibraciones.
- Pinza Amperométrica de 200 y 1000 Ampers.
- Termómetro infrarrojo con puntero láser (-32 a 250°C o 450°C)
- Protectores Auditivos con auriculares para función estetoscopio.

Analizador de fase

Este módulo permite determinar de una forma sencilla y rápida la dirección y sentido de la vibración sin necesidad de detener el equipo rotante.

Entrega directamente la diferencia de fase entre la posición de dos sensores acelerómetros, lo que aporta una herramienta fundamental para el diagnóstico de:

- Desbalanceos
- Desalineaciones
- Solturas mecánicas.
- Ejes torcidos.

La configuración de esta herramienta es muy sencilla e intuitiva, ya que puede detectar la componente fundamental en forma automática y así configurar los filtros necesarios para la medición.

Muestra en pantalla las RPM del equipo y los niveles vibratorios de cada canal en velocidad RMS y 0-Pico.

La diferencia de fase entre los dos sensores se muestra en tiempo real por medio de una barra gráfica y numéricamente

Balanceo - Equilibrado

El módulo de balanceo y equilibrado del DSP incorpora cálculos más exactos para el balanceo de máquinas, gracias a su poderosa tecnología de procesamiento digital.

Mediante un procedimiento muy sencillo, que requiere solamente la colocación de un sensor óptico para el cálculo de fase y dos lecturas de vibraciones para ambos planos, se obtienen balanceos rápidos y precisos.

El módulo de balanceo permite ingresar la cantidad de paletas de un rotor para calcular el peso que se deberá repartir en ellas.

Por medio de un gráfico en la pantalla principal se podrá ver el valor de fase medido, como así también mostrará:

- Velocidad de giro (RPM)
- Amplitud 0-Pico y RMS de la vibración en mm/s



Una vez tomados todos los datos el software mostrará la corrección en forma automática.

El proceso de equilibrado para 1 o 2 planos es el mismo ya que para dos planos utiliza dos sensores simultáneamente y consiste en realizar dos mediciones.

En primer lugar se hace girar la pieza a equilibrar efectuando la primer medición, luego se le agrega un peso conocido a la pieza y se realiza una segunda medición, una vez efectuadas estas dos mediciones el sistema automáticamente mostrará en pantalla la masa y posición del peso necesario para corregir el desequilibrio.

El sistema permite ingresar en gramos el peso de prueba y realizar la corrección en gramos, así como también puede ingresarse el número de paletas si se balancea un ventilador y calcula automáticamente la distribución del peso en cada una de ellas.

El módulo de equilibrado además puede realizar correcciones consecutivas y al finalizar el proceso, presentar una corrección total con un solo peso y un solo ángulo indicado.

Los datos que se ingresan por teclado en la pantalla de configuración del equilibrado sirven luego para un reporte final que indica los niveles vibratorios iniciales, los finales, la corrección en masa y las rpm del equipo.

Estos reportes podrán ser enviados a la PC vía Rs232 y administrados por un programa de reportes de balanceos para sistemas operativos bajo Windows

Mediciones fuera de ruta

El módulo de mediciones fuera de ruta realiza el control de equipos que no estén configurados en el software DSP Data Management o que no estén incluidos en las rutas de medición, con su gran versatilidad, permite configurar en campo la variable a medir el tipo de medición, las frecuencias, los promedios, los filtros, y las ventanas, comportándose como un potente analizador de vibraciones.

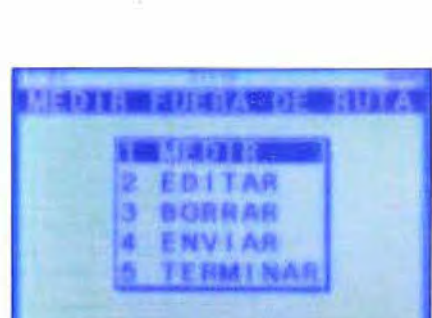
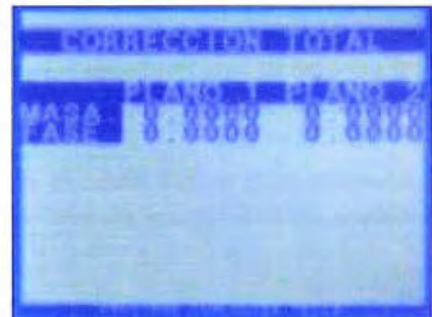
Las mediciones de vibraciones, las eléctricas y las de señales analógicas de corriente alterna, pueden realizarse con este módulo. En cada medición puede incorporarse por teclado el nombre del equipo y el código del punto a medir.

Para ello cuenta con un diccionario de palabras comunes para ser incorporadas sin necesidad de escribirlas.

Tipo de medición:

- Espectro 400, 2000, 4000 líneas, Forma de Onda, Valores RMS y 0-Pico.

Posee, además, una gran capacidad de memoria que permite guardar, editar y enviar las mediciones realizadas hacia la PC para incorporarlas al software DSP Data Management.



Mediciones Auxiliares

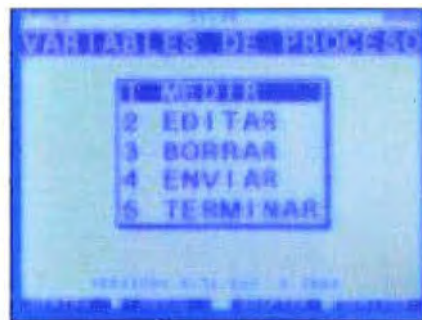
El módulo de mediciones auxiliares realiza el control de equipos que no estén configurados en el software DSP Data Management o que no estén incluidos en las rutas de medición.

Este módulo permite realizar mediciones de corriente continua con entradas de 4-20 mA, 0-10 volt y temperatura, estas mediciones pueden ser configuradas por el operador del equipo ajustando el offset y la ganancia para poder adaptar la entrada a la señal de adquisición.

Las entradas de temperatura están ajustadas para medir por defecto con sensores:

Medidor infrarrojo con salida 1mv/°C.

Sensor acelerómetros dual con salida 10mv/°C.



Los reportes y las mediciones de los equipos pueden ser guardadas por un largo tiempo ya que el nuevo DSP Logger MX 300 posee 16 Mb de memoria flash lo cual le permite almacenar mas cantidad de rutas de medición y no aplica límites para las mediciones fuera de ruta.

Esta nueva generación de Analizadores y Colectores de Datos basados en Procesadores de Señales Digitales (DSP) ejecutándose a 48Mhz permite realizar mediciones mas rápidas y con una respuesta en frecuencia de mayor rango que versiones anteriores, ampliándose desde 0.2 Hz a 20 KHz.

Datos Técnicos

16 bits
 2 (dos) Acelerómetros (50 100 500mv/G, seleccionable por software)
 Pinzas de corriente (10 100 1000A, seleccionable por software)
 2 (dos) Desplazamiento (0 10V o 10Vpp)
 Entradas auxiliares (1Vrms , acoplado en CA)
 Opcional: 1 Entrada de tensión industrial (400VAC RMS, 50/60Hz)
 Sensor óptico para medición de RPM

Entradas

24 bits
 Sensor Infrarrojo para medición remota de temperatura.
 Entrada de termocupla universal.
 Sensores de temperatura pasivos (Pt100) y activos (0-100°C)
 Proceso (4-20mA) asignación de unidad y control de offset
 Tensión CC (0-10V) asignación de unidad y control de offset
 Desplazamiento (0-10V) asignación de unidad y control de offset
 Auxiliares de Tensión CC (0-2.5V) asignación de unidad y control de offset

Salidas

Salida estéreo para auriculares 100mW de potencia de salida sobre una carga de 8 ohm y control de volumen digital.
 Salida de línea estéreo, con un nivel de 1VRMS, acoplada en CA.

Procesador	Procesador de Señales Digitales ADSP-2100 de 16 bits, punto fijo, ejecutando a 40MHz.
Herramientas	<p>Cursor en espectros</p> <p>Zoom en espectros</p> <p>Armónicas</p> <p>Frecuencias de falla de rodamientos en espectros de envolvente</p> <p>RMS por bandas x4 o x10</p> <p>Glosionario de palabras comunes</p>
Mediciones	<p>Espectro de Aceleración</p> <p>Espectro de Velocidad</p> <p>Espectro de Envolvente (2 filtros configurables)</p> <p>Forma de onda</p> <p>Aceleración RMS y 0-pico</p> <p>Velocidad RMS y 0-pico</p> <p>Desplazamiento Pico-Pico</p> <p>Respuesta en frecuencia: 0.2 Hz 20.000 Hz</p> <p>Rangos:</p> <p>25Hz, 100Hz, 200Hz, 500Hz,</p> <p>1000Hz, 2000Hz, 5000Hz, 10,000Hz</p> <p>15,000Hz, 20,000Hz.</p>
Teclado	<p>16 teclas, con teclado alfanumérico</p> <p>Teclado de 4 teclas principales ubicadas en los dos extremos, para ser usado tanto por operadores diestros como por zurdos.</p> <p>3 teclas dedicadas para funciones especiales (encendido, contraste, iluminación).</p> <p>Acceso a herramientas del espectro desde teclas de doble función</p>
Memoria	<p>16 Mb de memoria FLASH.</p> <p>Numero ilimitado de mediciones fuera de ruta hasta 16 Mb</p> <p>Almacenamiento de 10000 espectros en rutas.</p>
Comunicaciones	Puerto serie RS-232 o RS-485, a 115200bps. Máximo.
Baterías	7.2 Volta, 3500mAh Ni MH Autonomía 8 Horas
Display	<p>320 x 240 pixel monocromático LCD con CCFL backlight.</p> <p>Apto para ser usado contra luz solar directa.</p>
Entorno	<p>Clasificación de protección: IP 65</p> <p>Temperatura de funcionamiento: -10°C a 50°C</p> <p>Humedad: 95% sin condensación</p>
Conectores	<p>2 conectores para sensores de aluminio a rosca</p> <p>1 conector para carga de baterías y auriculares</p> <p>1 conector DB9 para comunicaciones</p> <p>1 conector DB25 para conexiones auxiliares</p>
Datos físicos	<p>Teclado de membrana de polycarbonato</p> <p>Teclas de toque metálico con termo formado para fácil reconectamiento al tacto.</p> <p>Teclas dedicadas al manejo rápido del menú principal:</p> <ul style="list-style-type: none"> , Flecha arriba , Flecha abajo , Enter

- . Escape
- Teclado alfanumérico reducido a 12 teclas
- Teclas de función encendido, Contraste y backlight
- Teclas de acceso rápido a funciones:
 - . Herramientas del espectro
 - . Zoom del espectro
 - . Cursor en picos
 - . Valores RMS por banda de alarma
 - . Harmónicos
 - . Frecuencia de falla de rodamientos en espectros de envolvente
 - . Diccionario de palabras de uso general
 - . Encendido y control de volumen de auriculares
- Gabinete de aluminio y fundición de aluminio, de alta resistencia y compacto, con formato anatómicos en los bordes.
- Medidas: 193mm x 195mm x 52mm
- Peso: 1.80 Kg



**Colector de Datos de Múltiples Variables
DSP Logger MX 300**

ANEXO J: CATÁLOGO DEL TERMOMETRO INFRARROJO

SKF Reliability Systems standard product catalogue
www.skf.com/cm
9

SKF Temperature Probe

CE

CMSS 2000-SL

Laser Sighted Non-contact Temperature Probe

Features

- Single point laser sighting
- Adjustable emissivity
- High and low alarm
- MAX, MIN, OFF, AVE temperature displays
- Data logging
- Trigger lock
- Backlit display
- Hard case and wrist strap

Introduction

There are many uses for this hand-held non-contact thermometer. Compact, rugged, and easy to use – just aim, pull the trigger, and read the temperature in less than a second. You can safely measure surface temperatures of hot, hazardous, moving, or hard-to-reach objects without contact.

The non-contact thermometer senses the energy of an object with an infrared detector. When pointed at an object, the infrared detector collects energy producing a signal that the microprocessor translates as a reading on the backlit display. As the trigger is squeezed, the object temperature is continuously measured by the infrared detector. This allows for fast and accurate real-time readings.

Simply point, shoot and read. No contact with hot surfaces or moving parts means safer, faster, and easier temperature measurements.

This instrument features a -32°C to $+600^{\circ}\text{C}$ (-25°F to $+1100^{\circ}\text{F}$) temperature range; laser sighting; LCD backlight; MAX, MIN, &T, and AVE temperatures; recall last reading, HI and LOW audible and visual alarms; $^{\circ}\text{C}$ or $^{\circ}\text{F}$ selectable; low



battery indicator; recall last reading; and adjustable emissivity for more accurate temperature measurements.

Units are molded from high-strength, solvent-resistant plastic. The optics are recessed for added environmental protection. A cable/strap anchor is provided for the belt clip.

Hard case

A water resistant, dust-proof case which holds the unit (includes belt clip) and measures 245 mm x 169 mm x 52 mm (9.6" x 6.6" x 2.0") is included.



Figura 3.36 Entrada de la Planta de Acido Sulfónico

ANEXO K: FOTOS DE LOS EQUIPOS CRITICOS

Planta de Ácido Sulfónico

En la puerta derecha está ubicado el compresor Omel (Equipo 5041-5042) y en ventilador del convertidor 12K1 (Equipo 5046), a la izquierda se encuentra la torre principal de la planta con cuatro niveles verticales, en el primer nivel se localizan la bomba de agua del reactor 16P1 (Equipos 5048, 5049), en el segundo nivel el motor estabilizador 16MX2 (Equipo 5043) y el motor de envejecimiento 16 A1(Equipo 5044); en el extremo derecho inicial se encuentra el ventilador de regeneración 11K2 (Equipo 5045), el ventilador precipitador 14K1 (Equipo 5047), la bomba de agua de producción 16 A1 (Equipo 5052-5053).

En la entrada de la planta, a la derecha se encuentra la torre de enfriamiento Marley 1 (Equipo 5040) y la bomba de agua de Sulfónico (Equipo 5054-5055), y a la izquierda la bomba de retorno de agua (Equipo 5050-5051).

Equipo 5040: Torre de enfriamiento Marley 1

Figura 3.37 Ventilador de la Torre de enfriamiento Marley 1, el Equipo 5040 está ubicado en la parte superior de la torre.

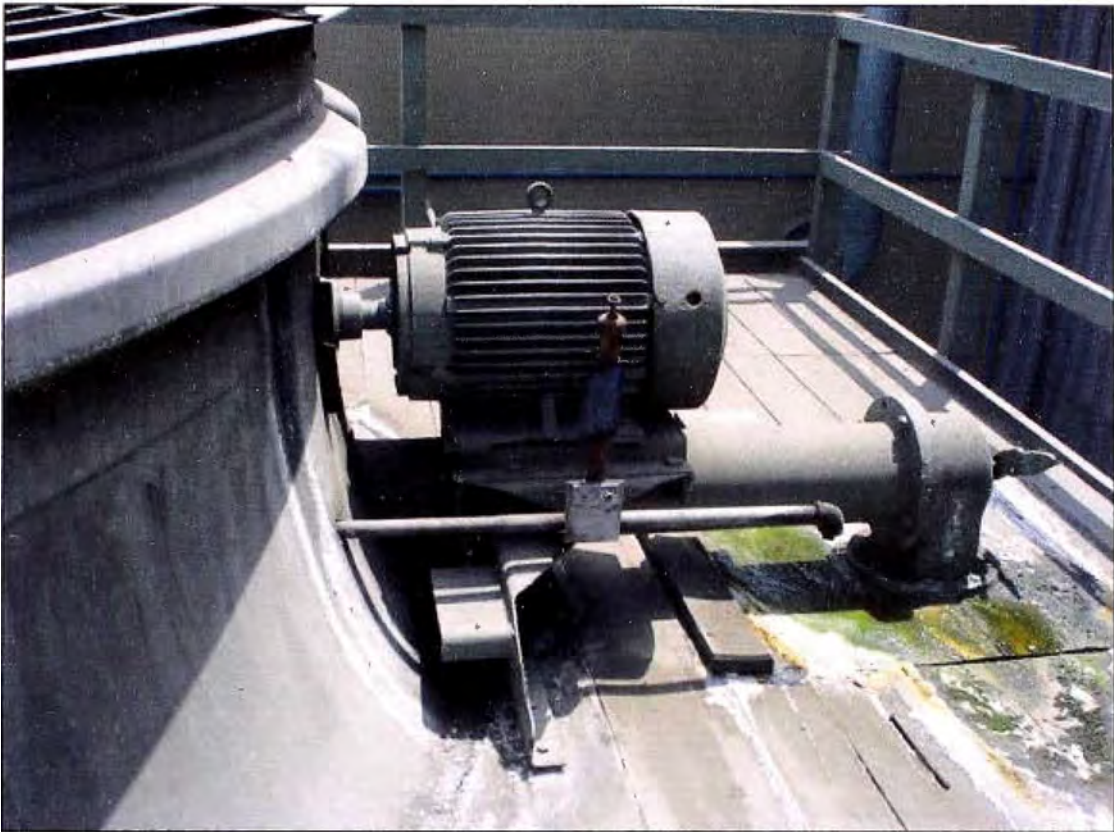


Figura 3.38 Equipo 5040, motor del ventilador de la Torre de enfriamiento Marley 1



Figura 3.39 Ventilador de la Torre de enfriamiento Marley 1

Equipos 5041-5042: Compresor Omel

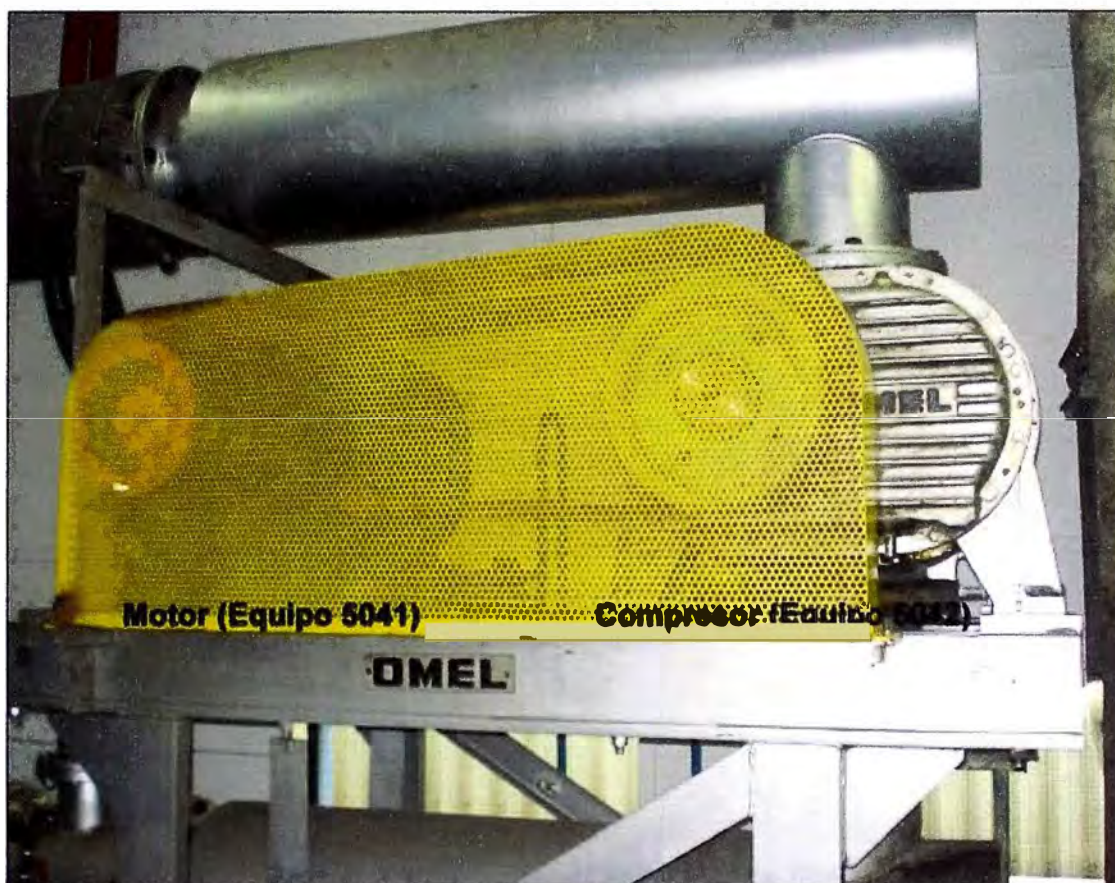


Figura 3.40 Compresor Omel, equipos 5041-5042



Figura 3.41 Motor del Compresor Omel, equipo 5041

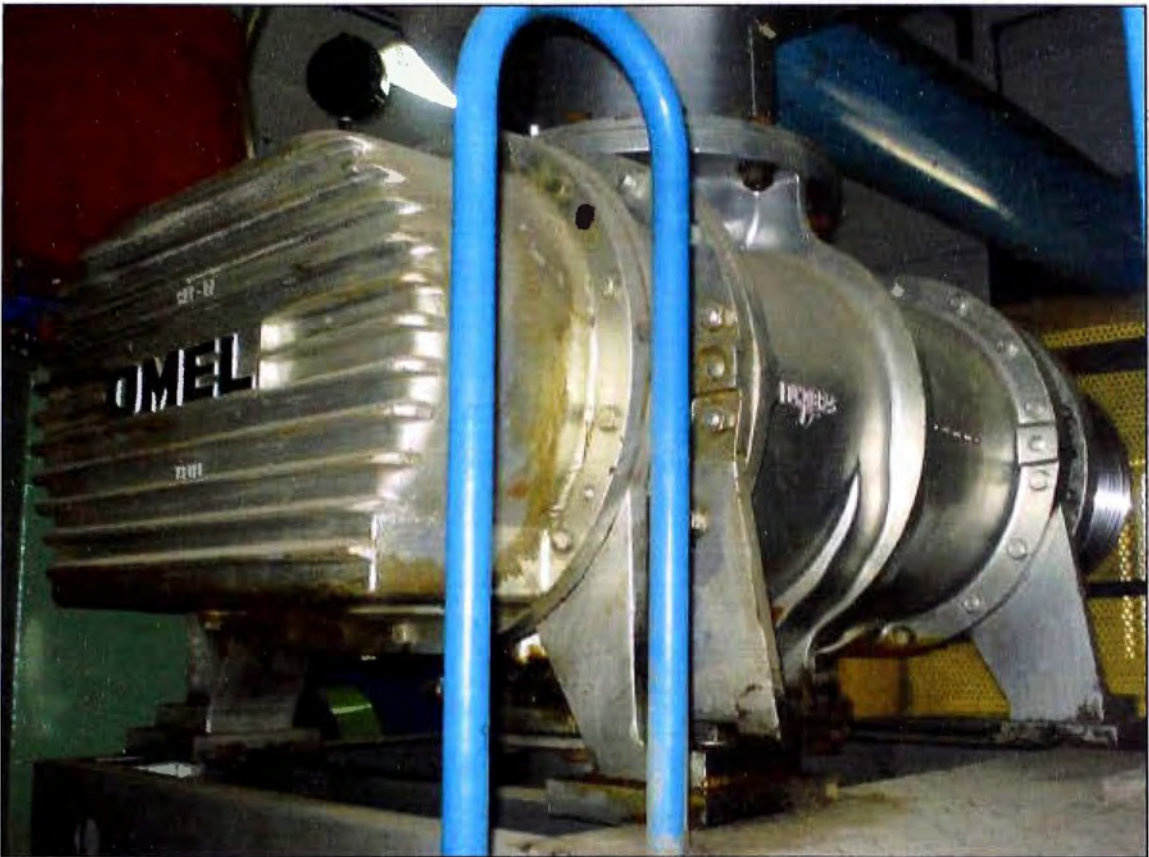


Figura 3.42 Compresor Omel, equipo 5042



Figura 3.43 Guarda de faja y polea del Compresor Omel, equipos 5041-5042

Equipo 5043: Motor del estabilizador 16MX2

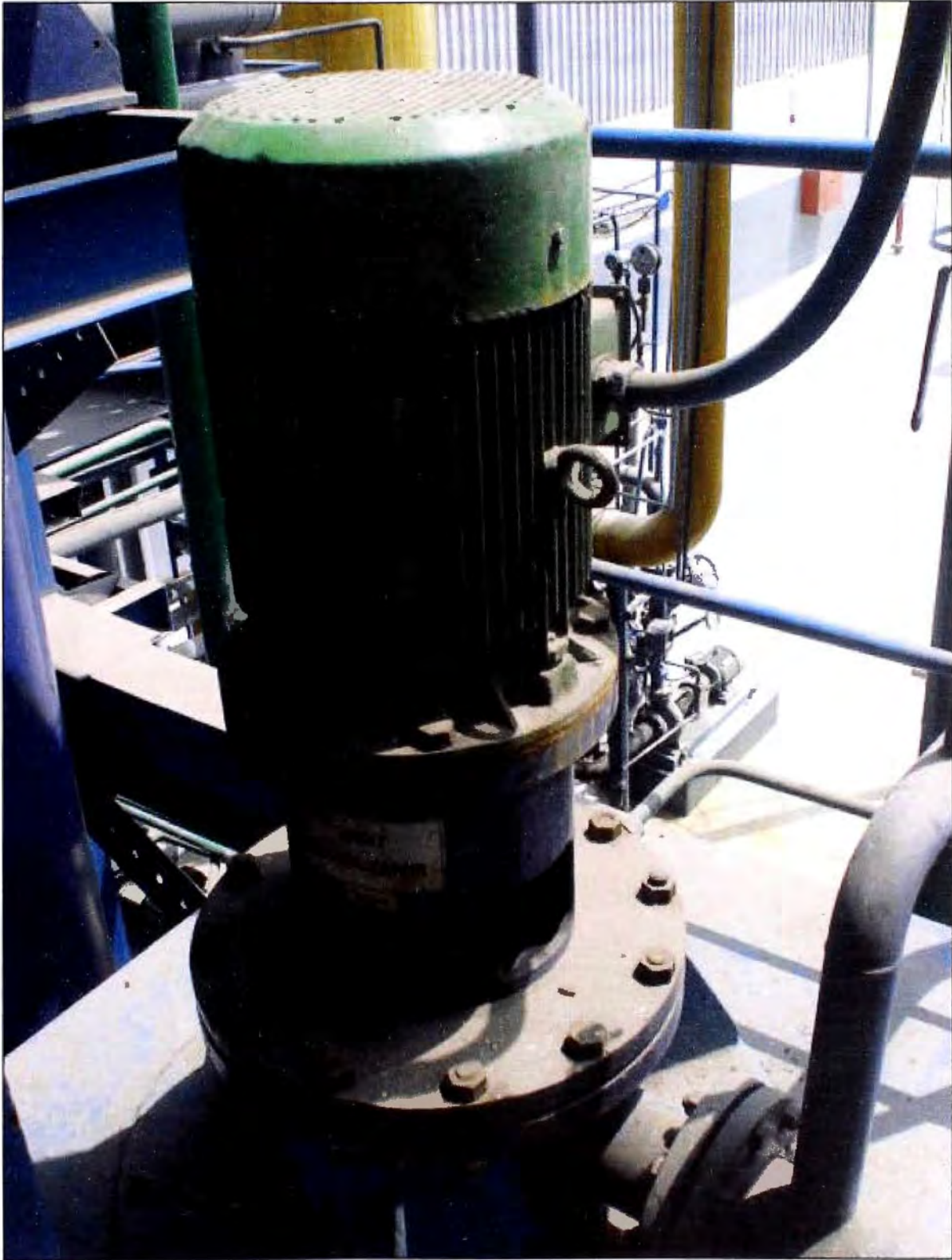


Figura 3.44 Motor del estabilizador 16MX2, equipo 5043

Equipo 5044: Motor de envejecimiento 16 A1



Figura 3.45 Motor de envejecimiento 16 A1, Equipo 5044 ubicado en el segundo nivel de la planta



Figura 3.46 Motor de envejecimiento 16 A1, Equipo 5044

Equipo 5045: Ventilador de regeneración 11K2

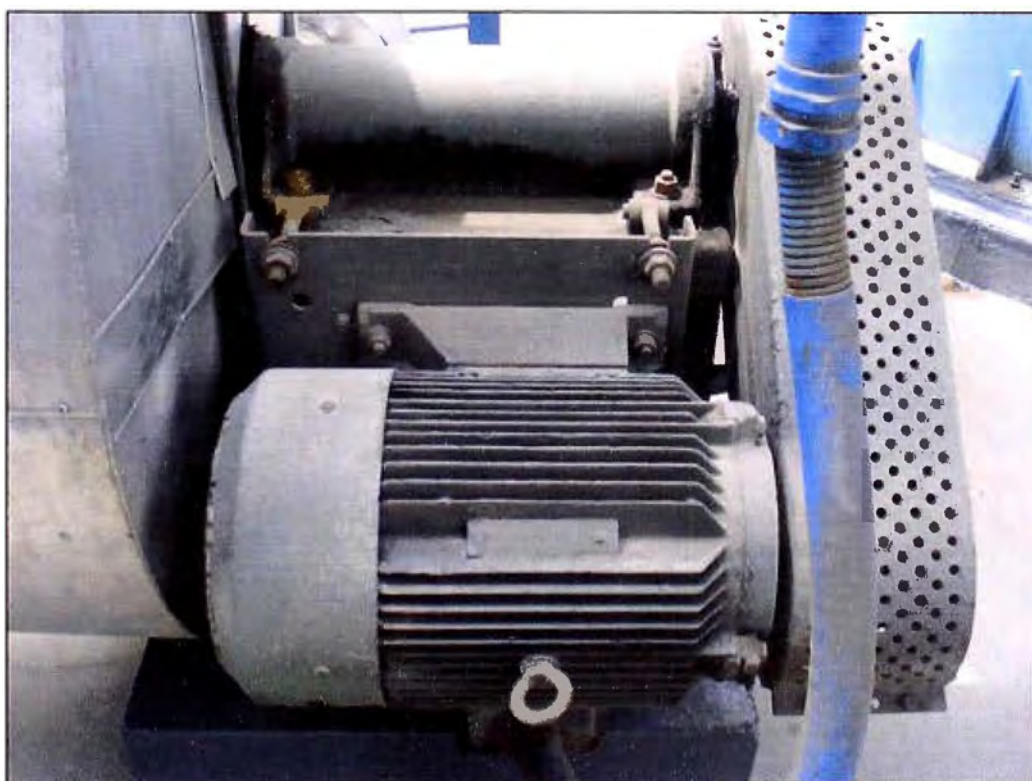


Figura 3.47 Motor del ventilador de Regeneración 11K2

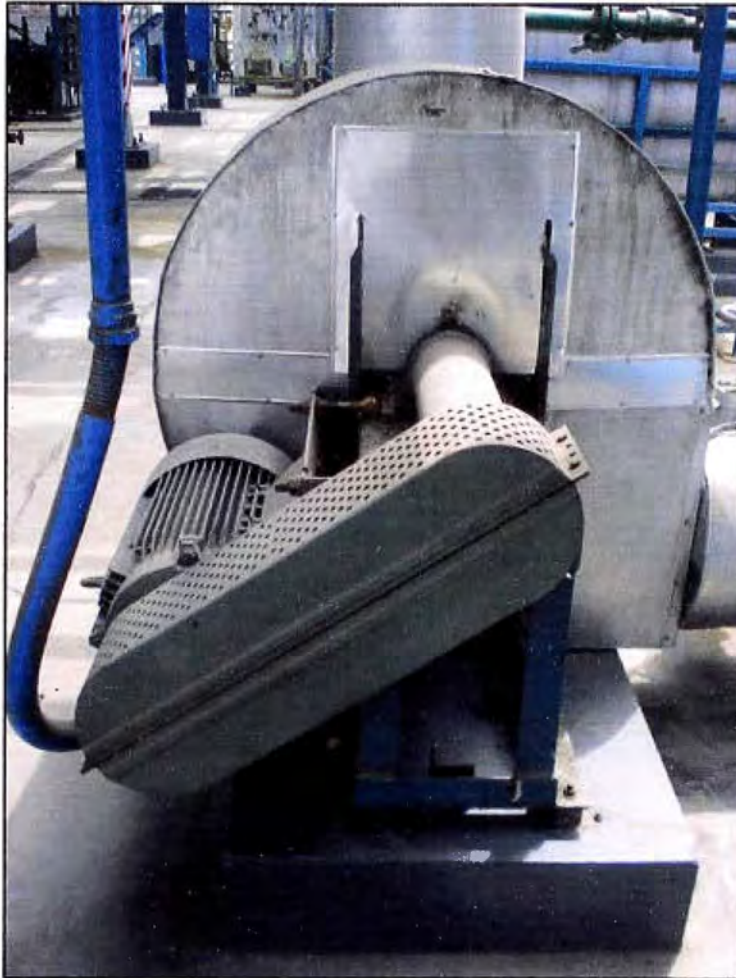


Figura 3.48 Motor del ventilador de Regeneración 11K2



Figura 3.49 Motor del ventilador de Regeneración 11K2

Equipo 5046: Ventilador del Convertidor 12K1



Figura 3.50 Ventilador del convertidor 12K1



Figura 3.51 Motor del ventilador del convertidor 12K1



Figura 3.52 Ventilador del convertidor 12K1



Figura 3.53 Convertidor 12K1

Equipo 5047: Ventilador Precipitador 14K1



Figura 3.54 Ventilador Precipitador 14K1

Equipo 5048-5049: Bomba de agua del Reactor 16P1



Figura 3.55 Bomba de agua del Reactor 16P1, Equipo 5048-5049



Figura 3.56 Bomba de agua del Reactor 16P1, Equipo 5048-5049

Equipo 5050: Bomba de agua de retorno

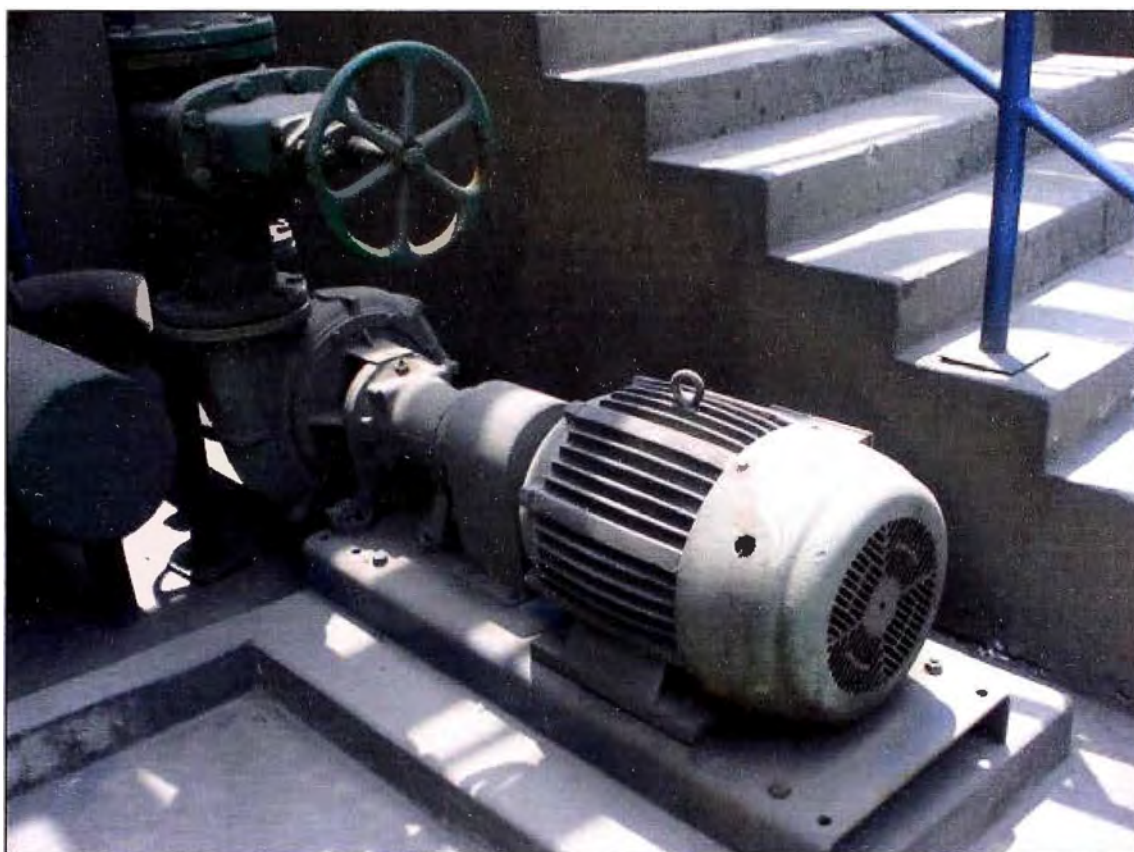


Figura 3.57 Bomba de agua Retorno, Equipo 5050

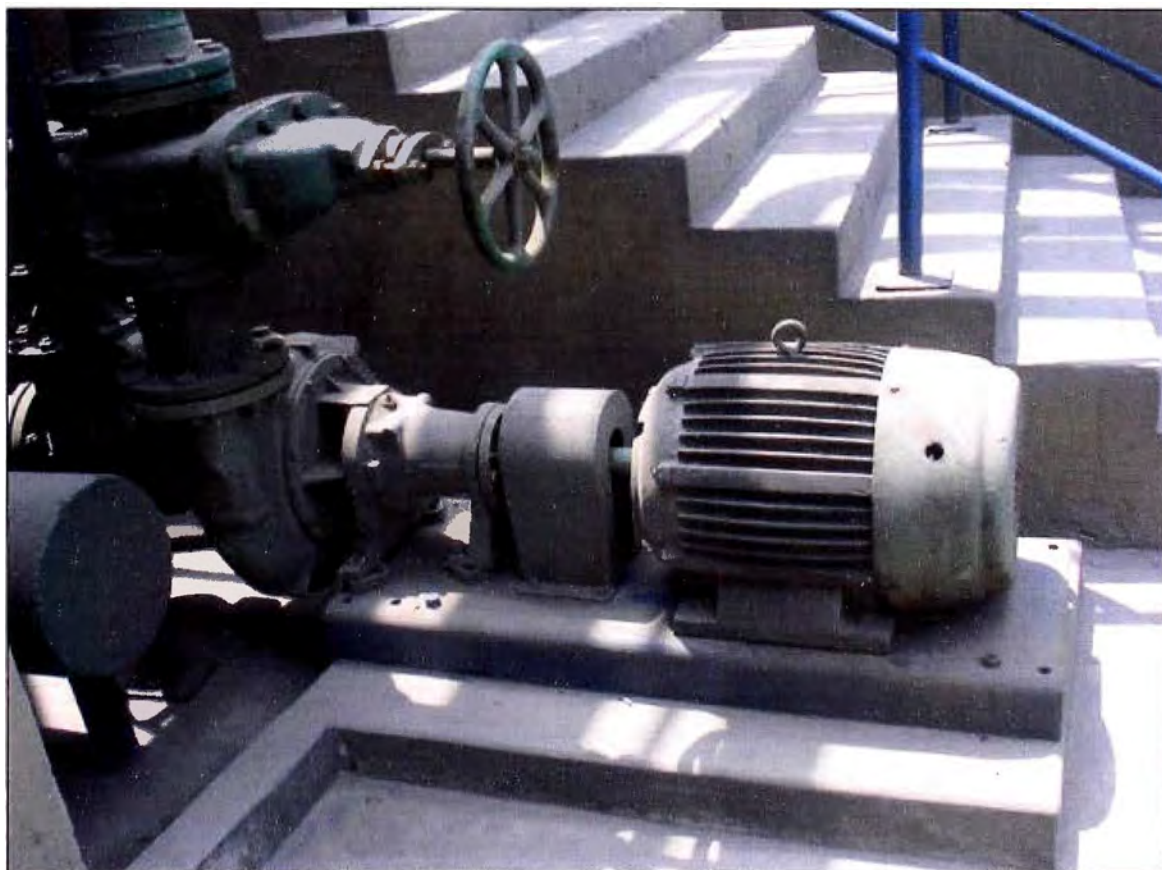


Figura 3.58 Motor de Bomba de agua Retorno, Equipo 5050



Figura 3.59 Bomba de agua Retorno, Equipo 5050

Equipo 5052-5053: Bomba de agua de producción 16 A1

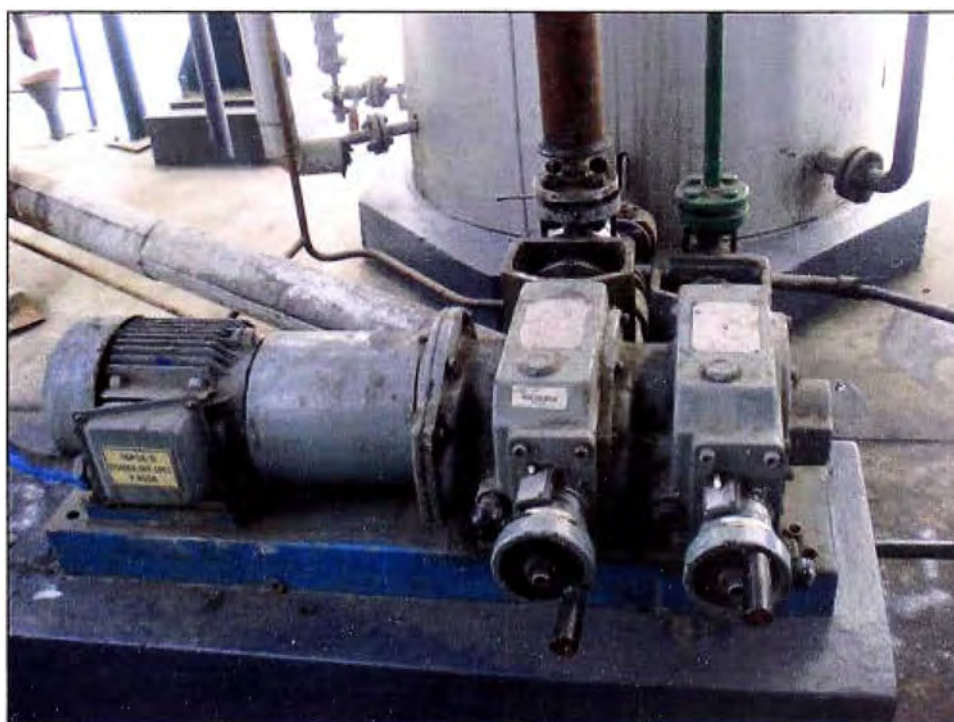


Figura 3.60 Bomba de agua de producción 16 A1, Equipo 5052-5053



Figura 3.61 Bomba de agua de producción 16 A1, Equipo 5052-5053

Equipo 5054-5055: Bomba de agua de Sulfónico

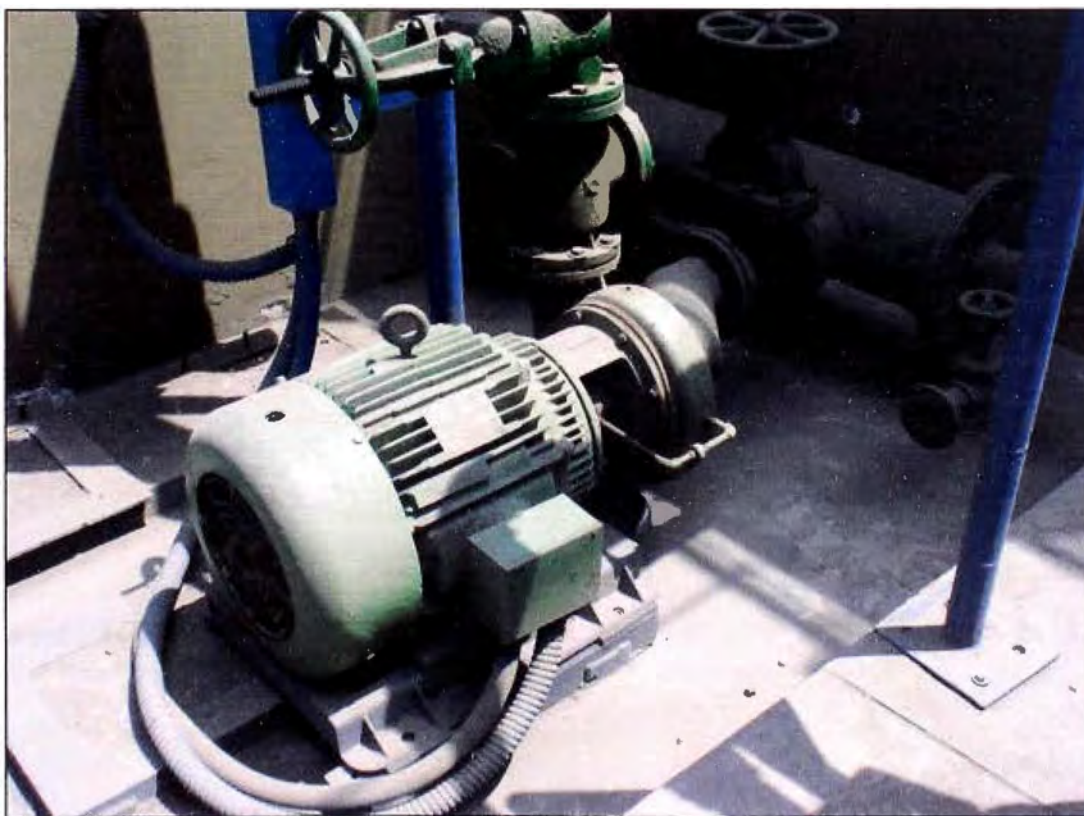


Figura 3.62 Bomba de agua de Sulfónico, instalada en la torre de enfriamiento Marley 1, Equipo 5054-5055

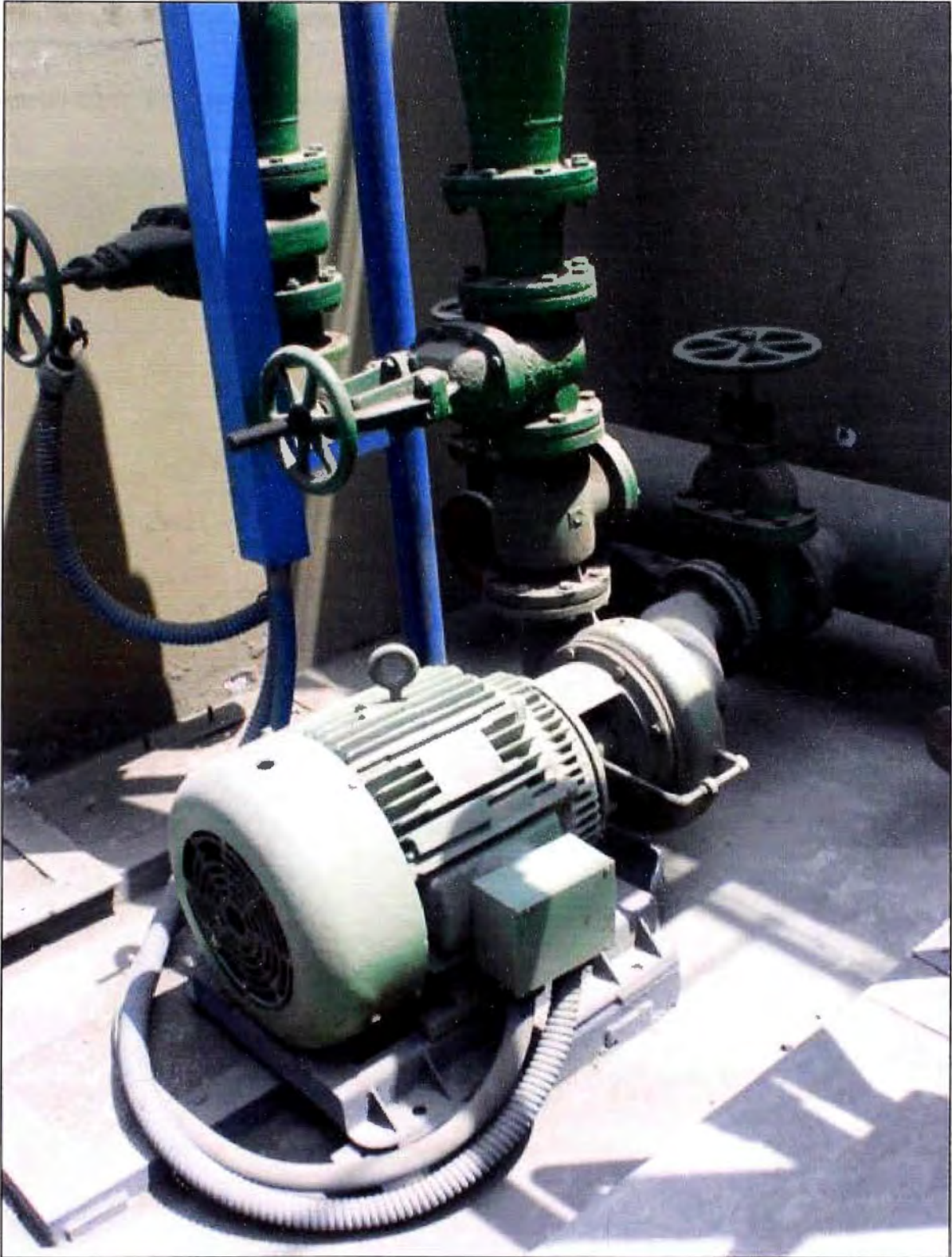


Figura 3.63 Motor y bomba de la Bomba de agua de Sulfónico, instalada en la torre de enfriamiento Marley 1, Equipo 5054-5055

Planta de Sulfato de Aluminio**Equipo 5059: Torre de enfriamiento Marley 2****Figura 3.64 Torre de enfriamiento Marley 2, Equipo 5059**

Equipo 5060: Ventilador de recuperación de polvo

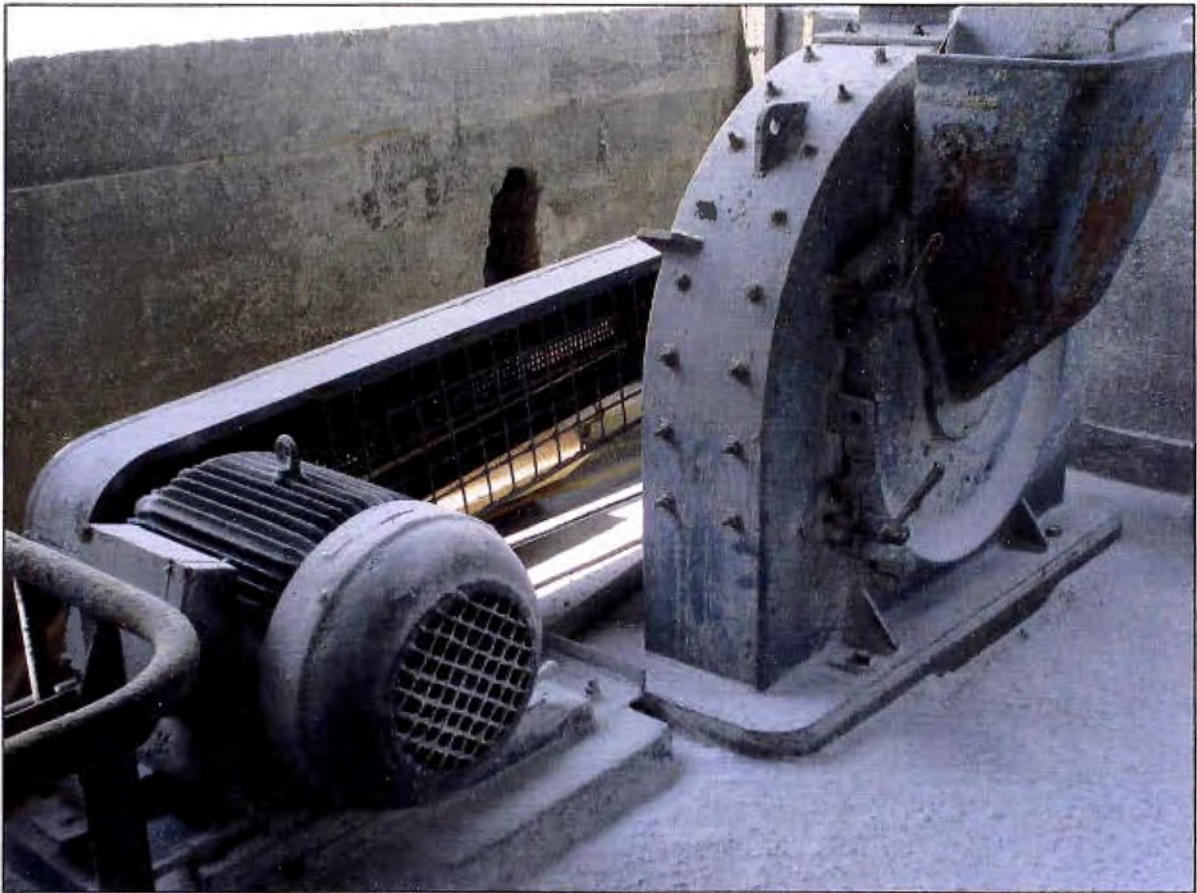


Figura 3.65 Ventilador de recuperación de polvo, Equipo 5060



Figura 3.66 Tolva de recuperación de polvo, el Equipo 5060 está ubicado en el segundo nivel

Planta de Molienda de Azufre

Equipo 5056: Ventilador de Sílica 11K2



Figura 3.67 Motor del Ventilador de Sílica 11K2, Equipo 5056

Equipo 5057: Ventilador de Sílica 12K1



Figura 3.68 Motor del Ventilador de Sílica 12K1, Equipo 5057

Equipo 5058: Ventilador de Sílica 14K1



Figura 3.69 Motor del Ventilador de Sílica 14K1, el Equipo 5058



Figura 3.70 Motor del Ventilador de Sílica 14K1, el Equipo

BIBLIOGRAFÍA

1. Ronald L. Eshleman, "Análisis de Vibraciones", Vibration Institute – Clarendon Hills, Illinois, 1999.
2. Crawford, A.R. and Crawford, S., "The Simplified Handbook of Vibration Analysis, Volume 1", Computational Systems, Inc., 1992.
3. API 670, "Vibration, Axial Position, and bearing Temperatura Monitoring System, 2nd edition", American Petroleum Institute - Washington, D.C., 1986.
4. API 678, "Accelerometer-Based Vibration Monitoring System, API" - Washington, D.C., 1981.
5. Hewlet Packard, 1501 Page, "The Fundamentals of Signal Analysis", Application Note 243- Mill Road, Palo Alto, CA 94304, 1982.
6. Doug MacMillan, "The Basics Average & Windows types" – Entek IRD, 1985.
7. Luisa Uculmana V., "Procedimientos Estándares para la Implementación del Mantenimiento Predictivo de San Miguel Industrial S.A., Capitulo de la Unidad de Negocios Químicos" (estos documentos pertenece a San Miguel Industrial S.A., fueron elaborados por la suscrita previo a la implementación) – Gerencia de Mantenimiento de San Miguel Industrial S.A., 2005.
8. Taylor, James I., "The Vibration Handbook", Vibration Consultants, Inc. - Tampa, FL, 1994.
9. Shigley, Joseph E., "Mechanical Engineering Design", McGraw-Hill Book Co. – NY, 1963.
10. Campbell, W.R., "Alternating Current Electric Motor Problems: Part 2. Electromagnetic Problems," Vibrations, 1 (3), p 12, 1985.
11. Baxter, Nelson L., "Machinery Vibration Analysis III: Part 2, Vibration Institute" - Willwbrook IL, 1995.
12. Jackson, C., "The Practical Vibration Primer", Gulf Publishing, p 46, 1979.
13. Maedel, P.H., Jr., "Vibration Standards and Test Codes", Shock and Vibration Handbook, 4th edition, C.M. Harris, ed, McGraw-Hill – NY, 1996.
14. ISO 7919, "Mechanical Vibrations of Non - Reciprocating Machines - Measurements on Rotating Shafts and evaluation", International Standards Organization Geneva – Switzerland, 1986.

15. ISO 10816-3, Máquinas industriales con potencia nominal por encima de 15 KW y velocidad nominal ente 120 RPM y 15000 RPM medido in situ, International Standards Organization Geneva – Switzerland, 1990.
16. Maxwell, A.S., "Some Considerations in Adopting Machinery Vibration Standards," pp 97-107, Proceedings, Machinery Vibration Monitoring and Analysis Meeting, Vibration Institute Willwbrook – IL, 1982.
17. ANSI S2.41, "Mechanical Vibration of Large Rotating Machines with Speed Range- from 10 to 200 Rev/s – Measurement and Evaluation of Vibration Severity in Situ" American National Standards Institute - NY, 1985 (R 1990).