

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**SELECCIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO AUTOMÁTICO  
DE VIBRACIONES PARA UNA BOMBA DE RELLENO  
HIDRAULICO; MARCA MITSUBISHI, MODELO MARS L-180**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

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

**LUIS AGUILAR CHIPANE  
PROMOCIÓN 1989-I**

**LIMA – PERÚ**

**2014**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mi gran compañera y esposa Carmen Isabel, a mis hijos Luis y Carmen Rosa Sara, a mis padres y a mis hermanos, a quienes estoy muy agradecido por el apoyo y motivación brindado en el desarrollo y culminación de mis estudios universitarios y en la elaboración de este trabajo.

# ÍNDICE

<b>PRÓLOGO</b> .....	<b>1</b>
<b>GLOSARIO</b> .....	<b>4</b>
<b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN</b>	
1.1. ANTECEDENTES .....	6
1.2. OBJETIVOS.....	10
1.3. JUSTIFICACIÓN .....	11
1.4. ALCANCES.....	12
1.5. RECURSOS.....	13
1.6. LIMITACIONES.....	13
<b>CAPÍTULO 2: GENERALIDADES SOBRE VIBRACIONES Y EQUIPOS Y/O SISTEMAS ACTUALES DE MEDICIÓN Y MONITOREO</b>	
2.1. SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO DE VIBRACIONES .....	14
2.1.1. GESTIÓN DE ALARMAS .....	22
2.1.2. CUADROS SINÓPTICOS ANIMADOS DE LA PLANTA .....	23
2.1.3. FUNCIONES DE SEGURIDAD Y BLOQUEO .....	24
2.1.4. TELECONTROL, TELEVIGILANCIA Y TELEMANTENCIÓN .....	25
2.2. ETAPA TRANSDUCTORA: SENSORES O TRANSDUCTORES.....	26
2.2.1. SENSOR DE DESPLAZAMIENTO RELATIVO SIN CONTACTO .....	29
2.2.2. SENSOR DE DESPLAZAMIENTO CON CONTACTO.....	32
2.2.3. SENSOR O TRANSDUCTOR DE VELOCIDAD O VELOCÍMETRO .....	33
2.2.3.1. SENSOR DE VELOCIDAD SÍSMICO .....	33
2.3. FORMAS DE MONTAJE DE SENSORES. ....	35
2.3.1. MONTAJE POR ESPARRAGO .....	35
2.3.2. MONTAJE APOYADO CON VÁSTAGO.....	36
2.3.3. MONTAJE CON BASE MAGNÉTICA .....	36
2.3.4. MONTAJE CON DISCO DE MONTAJE.....	37

2.4.	SENSOR DE ACELERACIÓN O ACELERÓMETRO .....	40
2.4.1.	MODO DE OPERAR DE ACELERÓMETROS PIEZOELÉCTRICOS .....	41
2.5.	RANGO DE FRECUENCIAS TÍPICAS .....	44
2.6.	ETAPA DE ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL .....	45
2.7.	FILTROS .....	46
2.8.	ANALIZADOR DE VIBRACIONES .....	49
2.9.	RECOLECTOR-ANALIZADOR DIGITAL DE DATOS .....	49
2.10.	ANALIZADOR DE ESPECTROS EN TIEMPO REAL .....	51
2.11.	ANÁLISIS DIGITAL DE VIBRACIONES .....	52
2.12.	FORMAS DE MEJORAR LA RESOLUCIÓN EN FRECUENCIAS .....	58
2.13.	PROCESO DE AJUSTE DEL VALOR DE LA FRECUENCIA .....	58
<b>CAPÍTULO 3: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>		
3.1.	GESTIÓN ACTUAL DE MANTENIMIENTO EN EQUIPOS DE PLANTA CONCENTRADORA .....	59
3.2.	GESTIÓN DE MANTENIMIENTO ESPECÍFICO EN LA BOMBA DE RELLENO HIDRÁULICO .....	60
3.3.	NIVEL DE PORCENTAJE DE DISPONIBILIDAD MECÁNICA .....	61
3.4.	CRITERIOS PARA DEFINIR LA CRITICIDAD DE LA BOMBA MARS .....	65
3.4.1.	CONFIABILIDAD .....	65
3.4.2.	EFECTO SOBRE LA PRODUCCIÓN .....	65
3.4.3.	DAÑOS SECUENCIALES A OTROS EQUIPOS .....	65
3.4.4.	DAÑO A LA CALIDAD .....	66
3.4.6.	DEPENDENCIA LOGÍSTICA .....	66
3.4.7.	DEPENDENCIA DE MANO DE OBRA .....	67
3.4.8.	FLEXIBILIDAD .....	67
3.4.9.	AFECTACIÓN AL MEDIO AMBIENTE .....	67
3.4.10.	FACILIDAD DE MANTENIMIENTO .....	68
3.4.11.	VALOR TÉCNICO ECONÓMICO .....	68
3.5.	PASOS PARA DETERMINAR LA CRITICIDAD DE LOS EQUIPOS .....	70
3.6.	CUMPLIMIENTO DEL DECRETO SUPREMO 055-2010 EM .....	70

## **CAPÍTULO 4: MARCO TEÓRICO**

4.1.	BOMBAS RECIPROCANTES: BOMBEO DE RELLENO HIDRÁULICO.....	71
4.2.	EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO .....	75
4.3.	VIBRACIONES MECÁNICAS .....	79
4.4.	VIBRACIÓN GLOBAL O TOTAL.....	80
4.5.	MEDICIÓN DE VIBRACIONES: TÉCNICAS Y NORMAS .....	92
4.5.1.	COMPOSICIÓN DE UNA CADENA DE MEDICIÓN.....	92
4.6.	REFERENCIAS DE NORMAS PARA MONITOREO Y ANÁLISIS DE VIBRACIONES. ....	94
4.6.1.	NORMAS ISO PARA EVALUACIÓN DE SEVERIDAD DE LA VIBRACIÓN	96
4.6.2.	NORMAS ISO PARA MEDICION DE VIIBRACIONES.....	103
4.6.3.	NORMAS ISO PARA ENTRENAMIENTO Y CERTIFICACIÓN.....	104
4.6.4.	OTRAS NORMAS PARA MONITOREO Y ANÁLISIS DE VIBRACIONES.	105

## **CAPÍTULO 5: DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA**

5.1.	CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA: PROPUESTA DE “ORGANIZACIÓN Y PLAN DE TRABAJO DE IMPLEMENTACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL PROYECTO DE MONITOREO EN LÍNEA”.....	108
5.1.1.	INTRODUCCIÓN.....	108
5.2.	RESUMEN EJECUTIVO .....	109
5.2.1.	ALCANCE DEL SISTEMA DE MONITOREO AUTOMÁTICO DE VIBRACIONES.....	109
5.3.	DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE HARDWARE Y SOFTWARE.....	109
5.4.	ESTIMADOS DE COSTO .....	111
5.4.1.	VAN: VALOR ACTUAL NETO.....	111
5.5.	ESTRUCTURA DE COSTOS .....	111
5.5.1.	COSTOS POR PARADAS DE LA BOMBA MARS .....	111
5.5.2.	COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO BASADO EN UN SISTEMA DE MONITOREO AUTOMÁTICO DE VIBRACIONES (ON-LINE).....	112
5.6.	ANÁLISIS FINANCIERO .....	115
5.6.1.	CÁLCULO DEL RETORNO DE INVERSION (ROI).....	115

5.6.2. CÁLCULO DE LA TASA INTERNA DE RETORNO (TIR).....	116
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>117</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>119</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>120</b>
<b>PLANOS.....</b>	<b>121</b>
<b>APÉNDICE .....</b>	<b>122</b>

## PRÓLOGO

Con este informe se busca brindar un aporte en la mejora del proceso de gestión de mantenimiento respecto al fenómeno físico de las vibraciones que se originan en todos los mecanismos donde hay movimiento relativo entre dos o más componentes. Es importante conocer que es una vibración y cuál es el efecto perjudicial sobre los equipos y las consecuencias sobre el proceso productivo, con cuantiosas pérdidas que muchas veces no son tomadas en cuenta al momento de tomar las decisiones para la implementación del mantenimiento predictivo o mantenimiento basado en las condiciones.

El desarrollo actual de la tecnología en equipos y sistemas integrales para monitoreo de vibraciones a nivel mundial lo hace accesible tanto en costos como en la flexibilidad para todo tipo de industrias, con los beneficios tangibles y a corto plazo, lo que redundará en la mejora de la confiabilidad en los procesos y en la cadena de valor, tanto del proveedor como del cliente.

En el CAPITULO 1 se describen los ANTECEDENTES previo al planteamiento de la propuesta por el nivel de fallas con los perjuicios inherentes a ellas, definiéndose los OBJETIVOS de controlar el fenómeno de las vibraciones para darle el tratamiento correspondiente, limitándose el ALCANCE solo al estudio y proyección de implementación de un sistema de monitoreo automático de las vibraciones. Las LIMITACIONES son de índole económico por la envergadura y la complejidad del sistema a proponerse, por ser una nueva

aplicación en nuestro proceso actual, así como la falta de actualización de conocimiento en los temas de vibraciones por parte de nosotros. Las JUSTIFICACIONES están debidamente sustentadas, tanto desde el punto de vista de la seguridad como desde el punto de vista económico, dado que desarrollamos un proceso continuo para el tipo de aplicación donde utilizamos la bomba de relleno hidráulico.

En el CAPITULO 2 se desarrolla el fundamento teórico de las vibraciones desde su generación en los diversos tipos de mecanismos, para pasar luego a las técnicas de monitoreo con la diversidad de componentes y sistemas integrales desarrollados y utilizados hoy en día. Adicionalmente, se hace una descripción al detalle de los componentes y sistemas integrales sobre vibraciones y sus equipos y los criterios para la selección de los mismos, así como los pasos y criterios para determinar los pasos de montaje / instalación en las partes o puntos de los equipos donde se van a monitorear las vibraciones.

En el CAPITULO 3 se desarrolla el planteamiento del problema, mencionando los tipos de intervenciones de mantenimiento que se desarrollan actualmente en la bomba MARS, así como la determinación del nivel de criticidad y el porcentaje de disponibilidad mecánica con que está operando actualmente.

En el CAPITULO 4 desarrollaremos el fundamento teórico de bombas reciprocantes para bombeo de relleno hidráulico, llamado comúnmente relave o pulpa, así como la selección para las diversas aplicaciones.



En el CAPITULO 5 se expone su oferta actual en el mercado, donde se mencionan los costos de los mismos, así como la implementación misma, que es realizada en mayor parte por los proveedores. Es determinante la evaluación técnico-económica para que las gerencias aprueben la misma, desde que la decisión se centra más cuando se hace la comparación con el beneficio desde el punto de vista del proceso productivo.

El informe ha sido desarrollado como requisito para obtener el Título Profesional de Ingeniero Mecánico. Además, constituye un aporte viable para que se pueda adecuar a todos los equipos críticos y relevantes en procesos industriales, generando beneficios tanto en el proceso de producción mismo como en la reducción de costos.

## GLOSARIO

- 1.- ICP (Intergrated Circuit Piezoelectric): Circuito piezoeléctrico integrado.
  
- 2.- RUN OUT: Inexactitud de los sistemas mecánicos rotativos, lo que origina vibraciones.
  
- 3.- FFT (Fast Fourier Transformer): Transformada de Fourier Rápida.
  
- 4.- RMS (Root Mean Square): Raíz cuadrada del valor promedio de los valores instantáneos de la vibración elevados al cuadrado.
  
- 5.- VPF (Vane Passing Frecuency): Frecuencia de paso de alabes o paletas en turbomáquinas centrifugas.
  
- 6.- BPF (Blade Passing Frecuency): Frecuencia de paso de alabes o paletas en turbomáquinas axiales.
  
- 7.-  $N_1$  : Velocidad angular en vueltas/segundo.
  
- 8.-  $N_2$  : Velocidad angular en vueltas/segundo.
  
- 9.-  $\omega_1$  : Velocidad angular de entrada.

10.-  $\omega_2$  : Velocidad angular de salida.

11.-  $z_1$  : Número de dientes del engranaje de entrada.

12.-  $z_2$  : Número de dientes del engranaje de salida.

13.- GMF (Gear Mesh Frequency): Frecuencia de entrelazado de los dientes.

14.- HTF (Hunting Tooth Frequency): Frecuencia de coincidencia de los dientes  
de los engranajes.

15.- ISO (International Organization for Standardization): Organización Internacional de Normas.

16.- NAFTA (North American Free Trade Agreement): Tratado de Libre Comercio de América del Norte.

17.- WTO (World Trade Organization): Organización Mundial del Comercio.

18.- ROI (Return On Investment): Retorno sobre la inversión.

19.- PID (Proportional Integral Derivate): Lazo de control de mecanismo de retroalimentación.

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. ANTECEDENTES

La Compañía Minera RAURA S.A. inicia sus actividades en 1960, año en que es constituida. Por otro lado, su programa de explotación actual es de 60 000 TMS mensuales con un valor de 120 \$/TM. Como empresa minera polimetálica, es antes que nada productora de concentrados de cobre, plomo y zinc. La empresa se halla ubicada en la Región de Huánuco, tal como se muestra en la Fig. 1.1 y Fig.1.2.



Fig.1.1. Vista panorámica de Compañía Minera Raura



Fig.1.2. Ubicación geográfica de Compañía Minera Raura

El relleno hidráulico es una alternativa para rellenar los tajos explotados por el método de corte y relleno. Este método de explotación se introdujo con la finalidad de incrementar la productividad, mas no con fines ecológicos. El relleno hidráulico, que es más eficiente que el relleno neumático, el relleno hidroneumático y el relleno en pasta, fue el que en muchos casos reemplazó al relleno detrítico o relleno sólido transportado en carros mineros o en camiones desde las canteras hasta los tajos y a un costo mucho más elevado que los otros métodos de relleno que se efectúan transportando los sólidos en medios fluidos por tubería e impulsados por bombas.

El relleno hidráulico, así como cualquier método de relleno, tiene dos fines primordiales: el primero es servir como piso de trabajo para efectuar la perforación, el disparo y el acarreo de mineral, y el segundo es servir de sostenimiento para que la mina no colapse debido al incremento de áreas abiertas.

La preparación para relleno y el relleno son parte de las etapas de minado dentro del ciclo de explotación por el método de corte y relleno ascendente. Estas actividades ocupan del 30% al 40% de tiempo empleado dentro del ciclo. Debido a la premura con que se deben ejecutar las actividades del ciclo de minado, el relleno debe cumplir ciertos requisitos de granulometría y velocidad de percolación o índice de permeabilidad.

En el relleno hidráulico se utiliza el relave desechado por la planta concentradora para su clasificación y para pasar las arenillas del relave (superiores a la malla 200), las que caen a un tanque de agua donde es mezclado mediante un agitador. Esta mezcla de la arenilla del relave con el agua es el relleno hidráulico, el que es lanzado por una bomba a fin de ser transportado mediante una tubería de alta presión de doble capa con la pared interior de acero de alta aleación. Los finos de relave resultantes de la clasificación serán enviados a un depósito (silo) de relaves.

En la Compañía Minera RAURA se realiza el relleno hidráulico clasificando el relave con dos ciclones D20. El relave es almacenado en un silo, luego se pasa al tanque de agitación del cual es bombeado al interior de la mina mediante una

bomba MARS por tubería de Fe de 4" diámetro, que sale de la bomba para continuar por tubería de polietileno de clase 10, que llega hasta el tajo a rellenar.

Los ciclones cuentan con un ápice de 2", el cual está clasificando en la descarga una densidad de 2 220 a 2 240 g/cm<sup>3</sup> y en el rebalse 1 120 a 1 240 g/cm<sup>3</sup>, bombeando al interior de la mina con una densidad aproximada de 1 650 g/cm<sup>3</sup>. En la actualidad estamos clasificando un promedio de 23 h/día, bombeando al interior de la mina en promedio de 20 h /día.



Fig. 1.3. Zona de preparación del relleno hidráulico en superficie.



Fig. 1.4. Tajos donde finalmente es depositada el relleno hidráulico.

## 1.2. OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

Lograr el incremento sostenido y confiable de las horas de operación para lograr elevación de la disponibilidad mecánica, la misma que debe alcanzarse luego de implementarse un sistema de monitoreo permanente de las vibraciones, reduciendo las horas de intervención innecesarias en el equipo por parte de mantenimiento, logrando incrementar las horas de bombeo del slurry al interior de la mina.



## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Monitorear los niveles de vibraciones con la incorporación de dispositivos de alarmas y paradas del equipo.
2. Reducir los niveles de vibraciones hasta los límites permisibles una vez detectadas las causas tales como desalineamiento, desbalance, fallas de rodamientos, etc.
3. Eliminar totalmente las intervenciones innecesarias en el equipo por parte de mantenimiento, disminuyendo los costos de mano de obra y repuestos hasta en 50%.
4. Incrementar la disponibilidad mecánica.

### **1.3. JUSTIFICACIÓN**

La bomba MARS registrar en su placa la fecha de fabricación el mes de Agosto del año 1 978. La Compañía Minera Raura viene operando desde el año 1960, por lo que esta bomba empezó a operar en el año 1979, dado el tiempo que tomó la construcción de la infraestructura correspondiente para la instalación y puesta en operación. Solo se cuenta con sistemas de protección del motor eléctrico, el cual es puesto fuera de operación cuando la presión de bombeo del slurry se eleva más allá de lo regulado.

Se desea mejorar la performance, confiabilidad y disponibilidad mecánica del equipo, dada su criticidad por ser el único equipo con que se cuenta para el bombeo de relleno hidráulico (relave grueso procedente del proceso de planta concentradora), dado que los tajos de producción de mineral que producen el 80% de la producción se explota con el método de minado de corte y relleno ascendente.

Adicionalmente, los ahorros que se obtendrán con respecto a los mantenimientos serán inmediatos, dada la dependencia en cuanto a los suministros de repuestos así como la mano obra en intervenciones para reparaciones mayores por parte de proveedores locales.

**Justificación académica:** Aplicación de análisis vibracional en equipos para poder monitorear la vibración permanentemente, así como establecer los niveles permisibles con las respectivas alarmas y paradas del equipo como medidas de protección.

**Justificación tecnológica:** Uso de equipos y/o sistemas de monitoreo de vibraciones en forma permanente y automática (on-line).

**Justificación productiva:** Asegurar una buena performance y confiabilidad del equipo, así como incrementar la disponibilidad mecánica.

#### **1.4. ALCANCES**

El trabajo concluye cuando se demuestra que se dan los fenómenos físicos de las vibraciones en el equipo. Estas vibraciones son medibles y tratadas con equipos y/o sistemas de monitoreo permanente (on-line), que hará posible eliminar las intervenciones innecesarias por parte de mantenimiento, que conllevará a disponer de más horas de operación para el bombeo de relleno hidráulico al interior de la mina.

## **1.5. RECURSOS**

Los recursos empleados para el desarrollo de este trabajo son los siguientes:

- 1.- Hardware: sistema eléctrico y electrónico integrado.
- 2.- Software: sistema de control automático de medición e interpretación.
- 3.- Comunicaciones: telefónica e internet para coordinaciones.
5. Transporte: movilidad de proveedores y propia para desplazamiento.
6. Mediciones: equipos y sistemas off-line.
7. Recursos humanos: personal técnico de proveedores y personal propio.
8. Normas técnicas: vibraciones, equipos y sistemas de medición.
9. Manuales de equipos e instrumentos de medición de vibraciones: SKF y FAG.
10. Capacitaciones en vibraciones, selección de equipos y sistemas de control.

## **1.6. LIMITACIONES**

Actualmente no se cuenta con un sistema de monitoreo manual para poder determinar el estado actual de las vibraciones que se están dando en la bomba MARS.

A esto se suma el riesgo de accidente del personal que realizaría las mediciones en los puntos necesarios, dada la configuración actual del equipo, y porque las mediciones deben hacerse en plena operación.

## **CAPÍTULO 2**

### **GENERALIDADES SOBRE VIBRACIONES Y EQUIPOS Y/O SISTEMAS ACTUALES DE MEDICIÓN Y MONITOREO**

#### **2.1. SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO DE VIBRACIONES**

Bajo la terminología de controlador automático se pueden agrupar componentes y dispositivos con características muy diferentes, pero capaces de desempeñar una función común, basada esencialmente en la posibilidad de reemplazar procedimientos automáticos realizados mediante lógica cableada con procedimientos programables. La ventaja principal consiste en la flexibilidad de la organización de las secuencias automáticas de operación: en lugar de tener conexiones permanentes entre el controlador y el proceso, es posible programar y modificar por software las secuencias automáticas correspondientes que correlacionan los estados actuales de las entradas (definidas por las señales provenientes de los sensores y/o transductores) con las salidas del controlador mismo (que corresponden por lo general, a accionamientos de potencia que rigen las operaciones a realizar en campo), según la lógica funcional requerida por el proceso en cuestión.

Desde el punto de vista de la tipología de los controladores programables, se acostumbra distinguir entre:

- ❖ Controladores de tipo general capaces de manejar señales digitales y análogas de distinta índole. Generalmente se les denomina con el

acrónimo PLC (Programmable Logic Controller), y se pueden programar a través de un teclado dedicado o de una PC.

- ❖ Tarjetas o módulos electrónicos de entrada/salida con convertidores análogos/digitales y digitales/análogos, programables a través de una PC, que se pueden conectar al proceso mediante interfaces de potencia;
- ❖ Tarjetas electrónicas completamente dedicadas al control automático de componentes específicos (como por ejemplo, servomecanismos de motores eléctricos, válvulas proporcionales y servoválvulas). En este caso el dispositivo de control automático permite programar funciones dedicadas (por ejemplo, rampas de aceleración y desaceleración), según modalidades orientadas a las prestaciones que puede desempeñar el componente controlado.

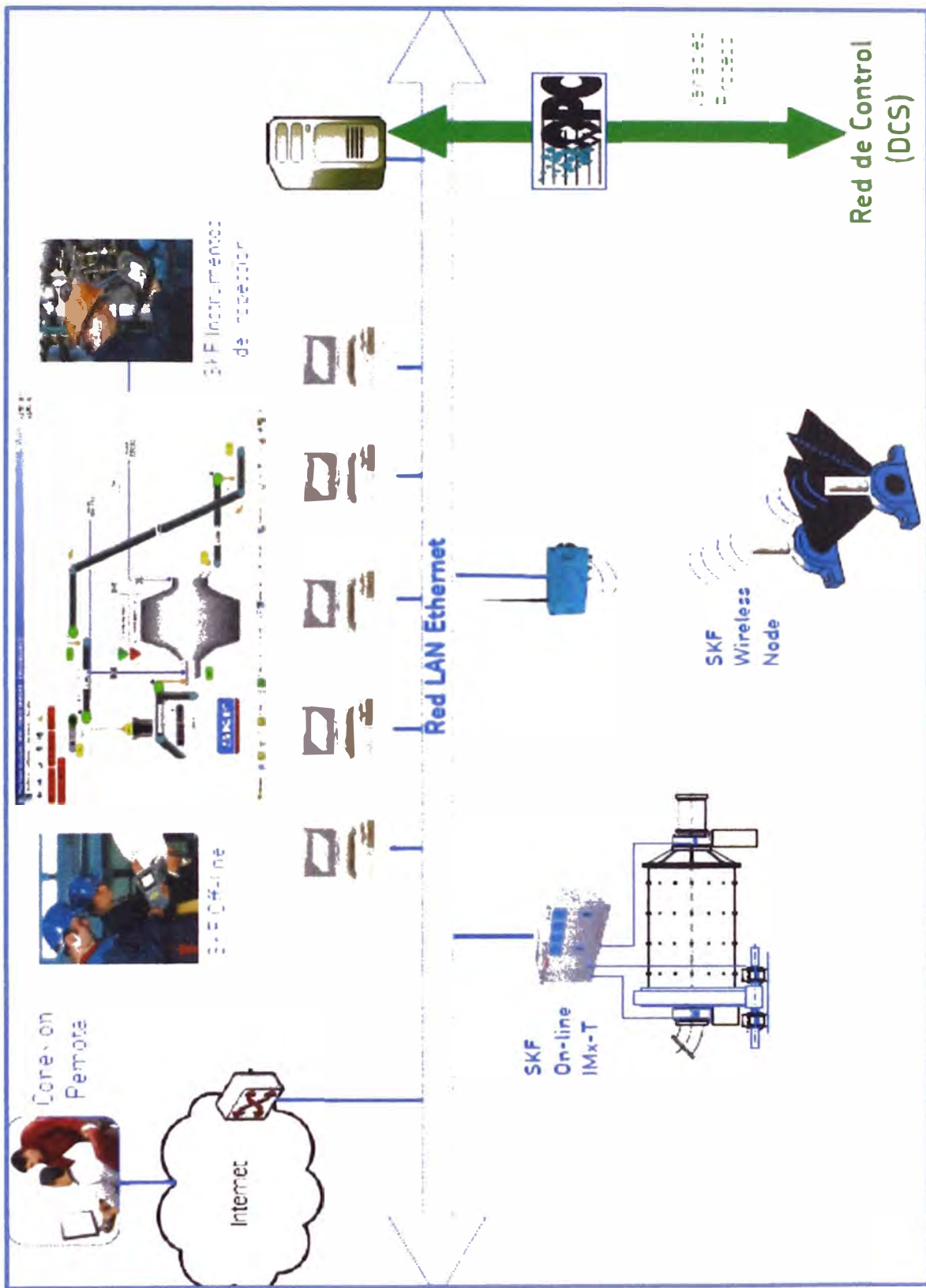


Fig. 2.1. Lógica del control automático

Desde el punto de vista de las lógicas de control automático es necesario distinguir, en general, entre:

- ✳ **Control centralizado**, caracterizado por una conexión “punto a punto” entre el controlador y las entradas y salidas físicas del proceso que se desea controlar. En este caso el número de conexiones eléctricas necesarias corresponde a la suma de las señales de entrada y las señales de salida involucradas en el proceso.
  
- ✳ **Control distribuido**, en el cual se transfiere al campo algunas funciones de control, a través de unidades descentralizadas y microprocesadores conectados entre sí en forma serial. La existencia de sistemas descentralizados de codificación y de decodificación permite transportar la información mediante un cable bipolar, limitando el nivel local de las conexiones con los dispositivos controlados, que en este caso se configuran en forma de “islas”.

La programación de las unidades de control se lleva a cabo habitualmente mediante una interfaz con una PC o con un teclado o un terminal dedicado. Se emplean lenguajes de programación de bajo nivel (de contacto o Ladder, funcional, booleano,..) y de alto nivel (Basic, Pascal; C/C++,.....). Algunos controladores de tipo general pueden ser programados utilizando distintos lenguajes.

En relación a las características funcionales de las PC mencionaremos aquí algunos aspectos y potencialidades generales con el fin de analizar su posible

uso en mantención. El controlador lógico programable, en el sentido de un procesador especial capaz de administrar operaciones automáticas, está constituido esencialmente como un microcomputador, por un microprocesador, memorias y circuitos para manejar las señales de entrada y de salida (Fig. 2.2.).

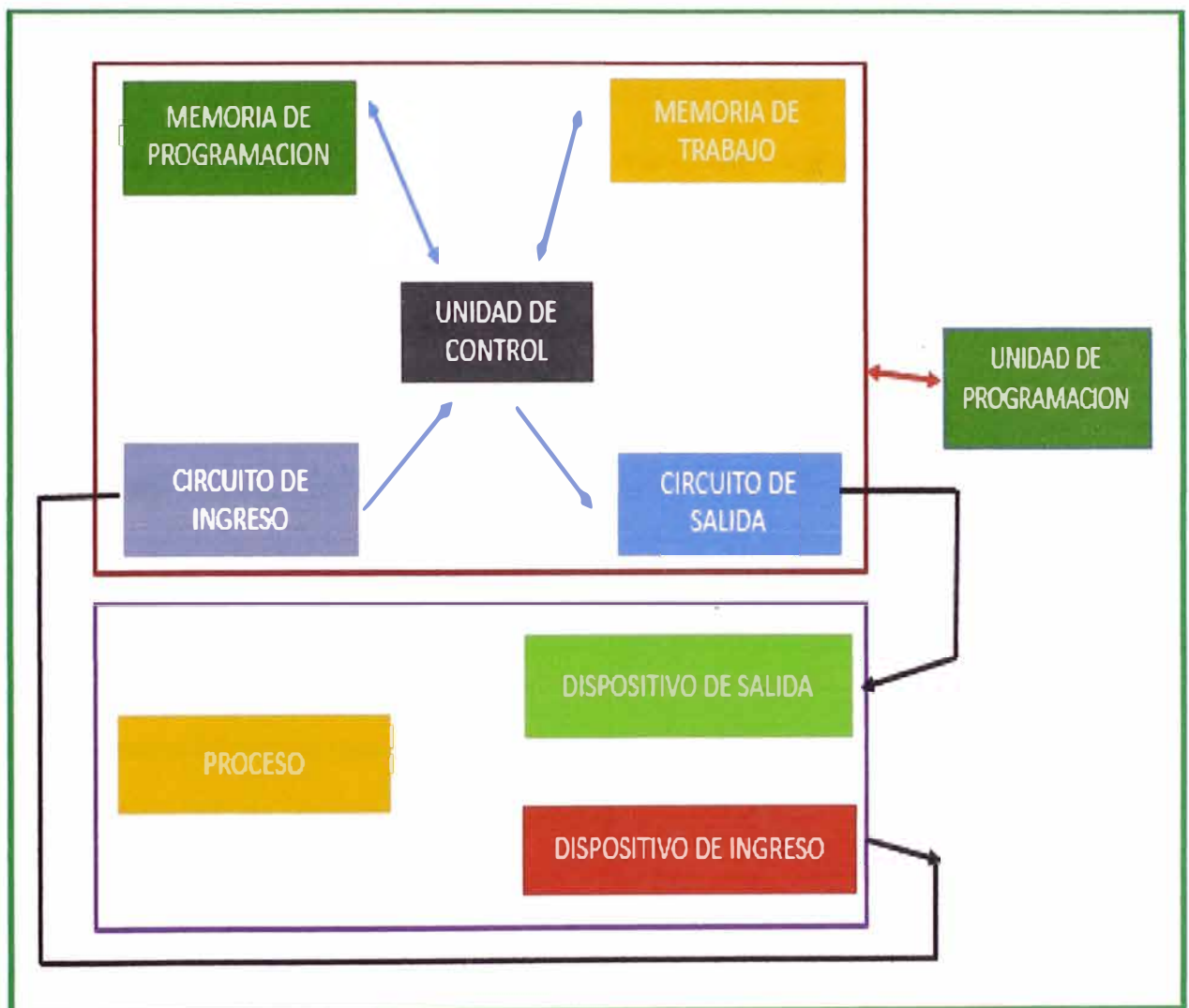


Fig. 2.2. Estructura funcional de un PLC

El controlador elabora cíclicamente las instrucciones en memoria, haciendo operativas las salidas en el campo en función del estado actual de



las señales de entrada, según la lógica especificada por el programa de control. Este último recorre en tiempos muy breves (cuantificables en microsegundos por instrucción). Una vez completado el primer paso del programa, se vuelve cíclicamente al primero, según la lógica operativa del sistema automatizado concebido para ejecutar en forma repetitiva y continua un ciclo funcional.

Dicha lógica no sólo se aplica a entradas y salidas eléctricas de tipo digital (es decir, caracterizadas por tener sólo dos estados ON y OFF, que generalmente corresponden a niveles de tensión de 0 y 24 VCC), sino también de tipo análogo (y por lo tanto continuamente variables en un cierto rango, definido generalmente en términos de tensión o de corriente) o de tipo "especial" (por ejemplo, señales constituidas por "trenes" de ondas de alta frecuencia).

El análisis de comparación entre controladores se suele basar en:

1. Características mecánicas (tipo de montaje, dimensiones,...).
2. Características de memoria (cantidad, tipo posibilidad de expansión,...).
3. Capacidad de procesamiento (velocidad de lectura, número de bits por palabra, número de temporizadores y contadores, rutinas de interrupción, posibilidades de procesadores adicionales).
4. Tarjetas disponibles, número de entradas y de salidas digitales y análogas, posibilidad de enlace a redes, lenguaje de programación (de bajo y alto nivel)

La clasificación de los controladores por tamaño en función del número máximo de entradas y salidas no es en la actualidad muy significativa: en efecto,

por un lado se tiende a evolucionar hacia unidades de gran tamaño, capaces de establecer interfaces y comunicaciones en red, y por otro privilegiar micro-PLC's (o nano-PLC's) para aplicaciones en las cuales sea prioritario el tamaño reducido, con un número limitado de entradas/salida.

Debemos mencionar también el parámetro de la modularidad como elemento discriminante. Un controlador no modular se caracteriza por entradas y salidas fijas en cuanto a número, tipo y código de direccionamiento, con posibilidad de expansión limitada en el mejor de los casos. En cambio, un controlador modular se ensambla según los requisitos de los usuarios, en el sentido que consiste en una estructura inicial basada en una unidad de alimentación eléctrica, una unidad de proceso y memorias, y en un rack capaz de albergar módulos de distintas funciones cuya configuración, número, tipo y direccionamiento pueden ser definidos por el mismo usuario.

En todo caso debemos observar que en la actualidad las líneas divisorias entre los distintos controladores automáticos tienden a difuminarse cada vez más, tanto en lo que respecta a las funciones asociadas como en relación a las modalidades de control.

Refiriéndonos específicamente a las PLC's, nos hallamos en presencia de una evolución que nos ha traído:

1. Funciones sofisticadas (como controladores PID, por ejemplo).
2. Microunidades capaces de comunicarse en red y ser apostadas en el campo de manera descentralizada.

por un lado se tiende a evolucionar hacia unidades de gran tamaño, capaces de establecer interfaces y comunicaciones en red, y por otro privilegiar micro-PLC's (o nano-PLC's) para aplicaciones en las cuales sea prioritario el tamaño reducido, con un número limitado de entradas/salida.

Debemos mencionar también el parámetro de la modularidad como elemento discriminante. Un controlador no modular se caracteriza por entradas y salidas fijas en cuanto a número, tipo y código de direccionamiento, con posibilidad de expansión limitada en el mejor de los casos. En cambio, un controlador modular se ensambla según los requisitos de los usuarios, en el sentido que consiste en una estructura inicial basada en una unidad de alimentación eléctrica, una unidad de proceso y memorias, y en un rack capaz de albergar módulos de distintas funciones cuya configuración, número, tipo y direccionamiento pueden ser definidos por el mismo usuario.

En todo caso debemos observar que en la actualidad las líneas divisorias entre los distintos controladores automáticos tienden a difuminarse cada vez más, tanto en lo que respecta a las funciones asociadas como en relación a las modalidades de control.

Refiriéndonos específicamente a las PLC's, nos hallamos en presencia de una evolución que nos ha traído:

1. Funciones sofisticadas (como controladores PID, por ejemplo).
2. Microunidades capaces de comunicarse en red y ser apostadas en el campo de manera descentralizada.

3. Controladores capaces de operar conectados mediante interfaz a estaciones de supervisión en ambiente WINDOWS (administrando anillos de control tanto digital como análogo).
4. Elevada modularidad con un gran número de estaciones conectadas mediante un bus de campo.
5. Velocidades de procesamiento extremadamente altas.
6. Gestión de módulos especiales (tarjetas para termocuplas, termorresistencias, seriales ASCII, para conexión a fibra óptica o a redes locales, para conteos rápidos, etc.).
7. Unidades centrales con multiprocesadores de 32 bits de última generación.

Finalmente, muchos de los PLC's disponibles en el mercado son en general capaces no solo de realizar funciones de control y gestión de las entradas y salidas, sino además de añadir funciones de procesamiento y cálculo. Estas características junto a aquéllas más propias del controlador en sí, pueden ser utilizadas con provecho para fines de mantención.

Las potencialidades de utilización de controladores programables como apoyo para la mantención se correlacionan con la capacidad de inserción en el ambiente industrial y de diálogo con el proceso por controlar. En este sentido es positiva la tendencia que está consolidándose hacia la distribución del control y por lo tanto hacia microunidades con funciones de alto nivel administradas a través de redes cada vez más estandarizadas.

La capacidad de inserción ambiental significa una menor sensibilidad a las perturbaciones y una mayor confiabilidad de las informaciones transmitidas a alta

velocidad, además de una fabricación robusta y protección contra los agentes contaminantes de diversa naturaleza (electromagnética, química, etc.).

Diálogo con el proceso significa capacidad de monitoreo. Evidentemente, esto dependerá del nivel de instrumentación del proceso mismo, pero desde el punto de vista del controlador, implica la capacidad de procesar la información obtenida para formular diagnósticos asociados a defectos o a condiciones anómalas y la posibilidad de asociar diagnósticos a medidas recomendadas o implementadas en forma automática.

El controlador programable, en cuanto a unidad polivalente de conducción, control, monitoreo y procesamiento puede contribuir de manera significativa a la conservación de la eficiencia, de la duración y de las prestaciones del sistema automático controlado.

Los enfoques operativos que en este ámbito puede manejar un controlador están bien diferenciados y corresponden a distintos niveles de sofisticación del software y hardware.

### **2.1.1. GESTIÓN DE ALARMAS**

Es quizás la función más básica que puede realizar cualquier controlador, con activación de señales sonoras, acústicas o de mensajes reproducibles en el terminal de campo cuando se producen condiciones o eventos preestablecidos.

Desde el punto de vista de la mantención, éste es el nivel más elemental cuando se vincula con daños irreversibles o con condiciones tales que obligan a detener las máquinas, pero adquiere una mayor relevancia si se lo asocia a anomalías o al surgimiento de condiciones críticas.

### **2.1.2. CUADROS SINÓPTICOS ANIMADOS DE LA PLANTA**

Se trata de un enfoque bastante consolidado que aprovecha la posibilidad de combinar software gráfico y de programación. El usuario puede asociar en forma autónoma el estado lógico de variables ON/OFF. Esto es, el valor actual de variables que se modifican continuamente con representaciones tales como como gráficos, tablas dinámicas, gráficos de barras, animaciones de imágenes que representan componentes de un circuito. También se da la posibilidad de asociar varias páginas gráficas a un mismo sistema controlado. En la Fig. 2.3. se muestra un ejemplo de un cuadro sinóptico.

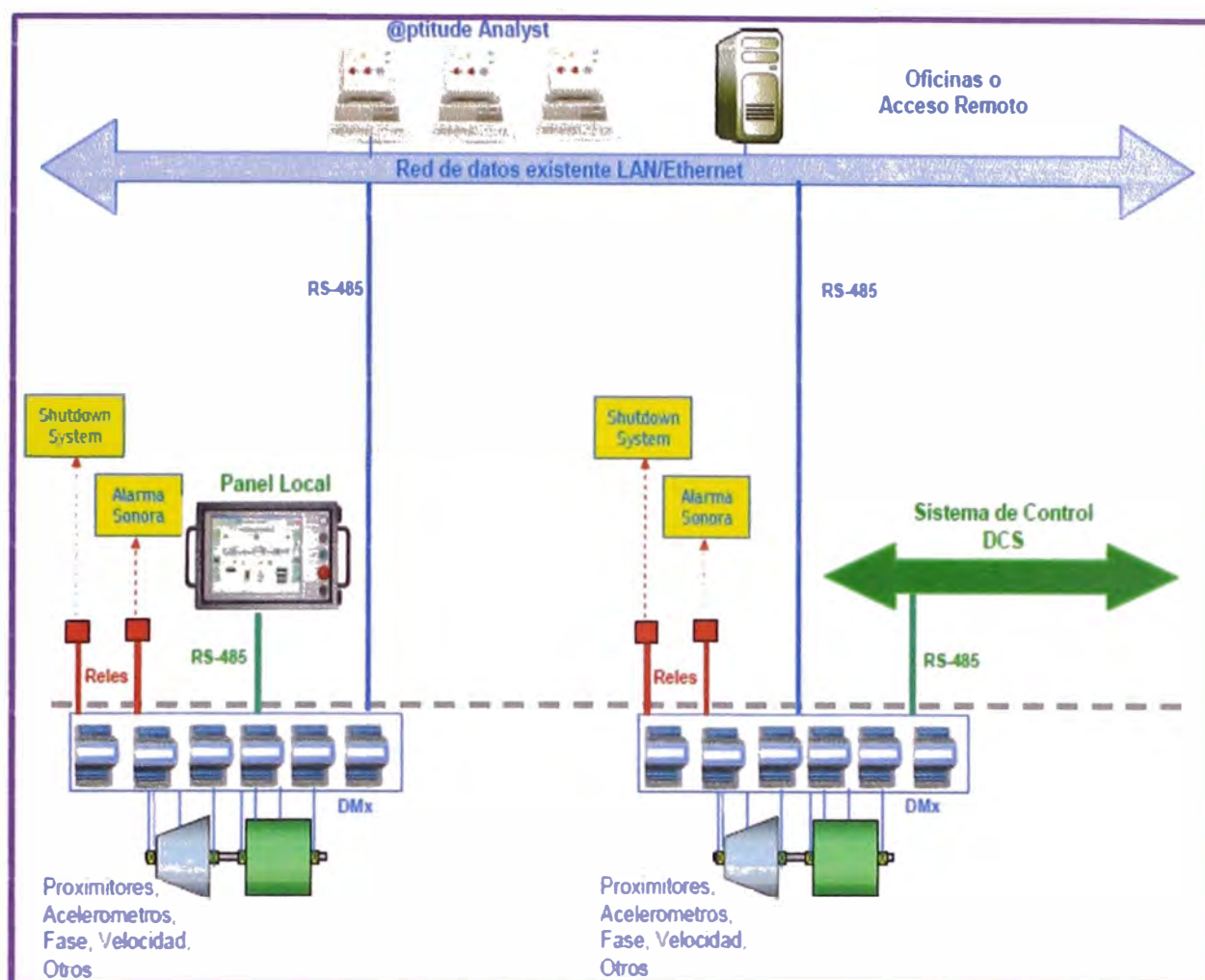


Fig.2.3. Cuadro sinóptico correspondiente a una central de generación eléctrica.

Es muy útil la visualización en pantalla (de una PC) situado en una ubicación remota con respecto al proceso y conectado al controlador (por ejemplo, a través de un módem) con comunicación en red a través de una línea telefónica no dedicada.

### 2.1.3. FUNCIONES DE SEGURIDAD Y BLOQUEO

Existen tipos especiales de controladores orientados a este problema que se pueden emplear para efectuar análisis cualitativos que, a partir del examen crítico de desviaciones con respecto a las condiciones normales de funcionamiento, identifiquen las anomalías de la planta, y sobre todo los riesgos que éstas implican.

#### **2.1.4. TELECONTROL, TELEVIGILANCIA Y TELEMANTENCIÓN**

Son funciones que revisten especial interés en sistemas que procesan una gran cantidad de información adquirida a distancia, y donde sea prioritario lograr una alta velocidad y precisión en las transmisiones de red (por ejemplo, mediante fibra óptica o incluso módems). Así, los equipos y máquinas pueden ser controlados a distancia por el mismo fabricante, asegurando así intervenciones acertadas, decididas y especializadas

Los datos que maneja el controlador provienen de una gran diversidad de instrumentos de medición, y el procesamiento se lleva a cabo tanto en forma directa como a través de la transmisión de los datos a computadores de supervisión que manejan el programa de mantenimiento. El controlador permite efectuar análisis en distintos niveles en base a tendencias históricas, análisis de "firma", estadísticas de averías e investigación de criticidad identificando las condiciones anormales más recurrentes.

El controlador desempeña una función importante como apoyo para las estrategias de mantenimiento preventivo, a través de interfaces con software dedicado para entregar datos en línea que puedan resultar de gran utilidad para el cronograma de actividades, la gestión de repuestos, el control de los costos de operación, materiales y mano de obra, averías recurrentes y archivos de las operaciones realizadas.

El PLC puede jugar un rol decisivo en lo que respecta a las estrategias de mantenimiento basado en condiciones, ayudando a evaluar los intervalos óptimos para las intervenciones en relación con las causas de averías emergentes, sobre



todo tratándose de máquinas que sólo pueden detenerse por paradas programadas.

Es evidente que el nivel de eficiencia de la operación depende de la configuración y de las características del controlador así como de la instrumentación de diagnóstico instalada en la planta que se conecta a él.

Por último, no debemos subestimar la posibilidad de efectuar operaciones de mantenimiento automatizadas, desactivando el componente averiado o en mal estado de funcionamiento y activando automáticamente el componente de reserva: Esta lógica se puede implementar exitosamente en las plantas diseñadas con redundancia incorporada, por lo menos para aquellos dispositivos que se consideran más críticos para fines operativos.

## 2.2. ETAPA TRANSDUCTORA: SENSORES O TRANSDUCTORES

Un transductor o sensor es un dispositivo electrónico que capta una cantidad física tal como vibración, temperatura o presión, y la convierte en una señal eléctrica (voltaje) que es proporcional a la magnitud medida, como se ilustra en la Fig.2.3. La relación entre la señal eléctrica de salida y la magnitud física de entrada se define como la sensibilidad del transductor.

$$\text{Sensibilidad del sensor} = \frac{\text{señal eléctrica de salida del sensor}}{\text{magnitud física de entrada}}$$

Una sensibilidad típica de un sensor de aceleración o acelerómetro es 100 mV/g. Esto significa que si el acelerómetro mide una aceleración de 1 (g), el voltaje de salida de él será 100 mV. La Fig.2.13 muestra en la parte izquierda de ella

una aceleración de valor pico 2(g), que es medida con un acelerómetro de 100 mV/g. La salida del sensor será una señal de valor pico de 200 mV.

Con un "tester" (medidor de voltaje) de corriente se puede medir que la salida del acelerómetro es de 200 mV pico. Para determinar a qué aceleración corresponde ésto, es necesario conocer la sensibilidad del acelerómetro. Si la sensibilidad es 100 mV/g, entonces el valor pico de la aceleración será:

$$A_{\text{pico}} = \frac{200 \text{ mV}}{100 \text{ mV/g}} = 2g$$

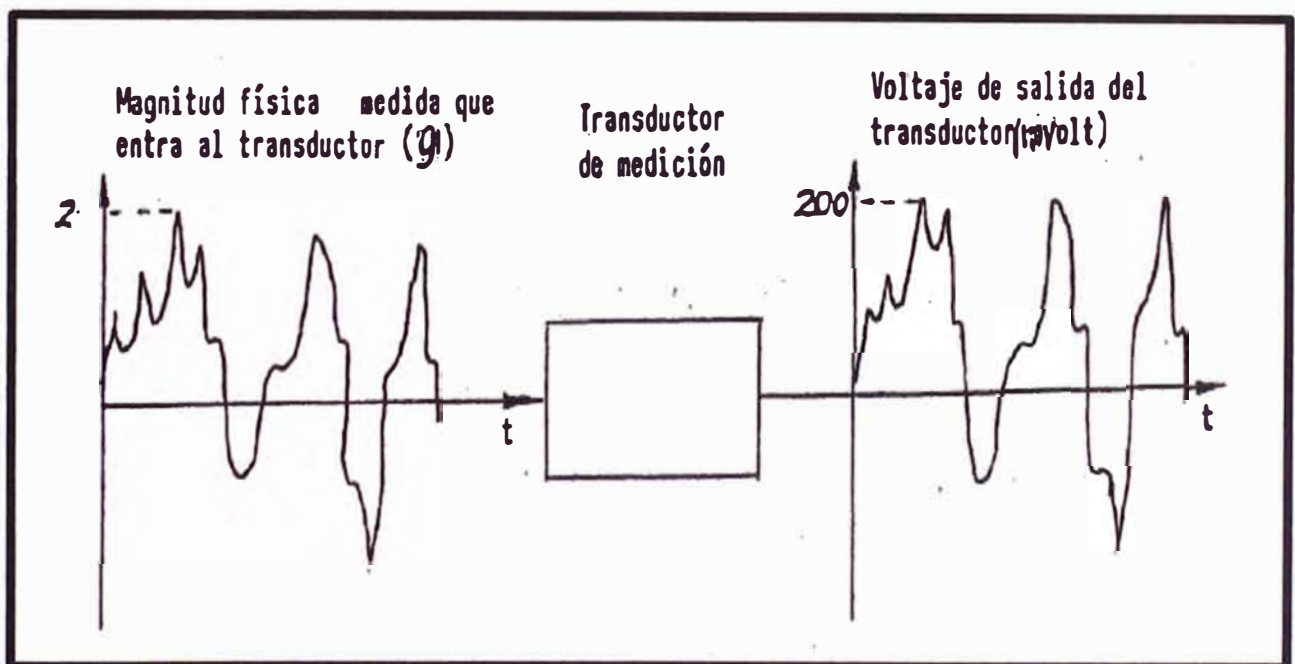


Fig.2.3. Transformación de una aceleración medida en una caja de rodamiento (magnitud física) a una señal eléctrica (voltaje) a la salida del acelerómetro.

Una sensibilidad típica de un transductor de desplazamiento sin contacto es de 200 (mV/mils). Esto significa que si el transductor sensa un desplazamiento de pico a pico de 1(mils), el voltaje de salida pico/pico que entrega es de 200 (mV).

Debe tenerse presente que el transductor o sensor es el primer eslabón en la cadena de medición. Él debería reproducir exactamente las características de la magnitud que se desea medir; de aquí que la selección y el montaje del transductor sea una de las decisiones más importantes en el análisis de vibraciones.

Si la señal que entrega el sensor es inexacta, con ruido, o contiene errores debido a la selección del transductor, al montaje o a deficientes conexiones eléctricas, entonces ni con el mejor equipo de análisis de vibraciones se obtendrá resultados correctos. Simplemente no se puede obtener buenos resultados de malas señales vibratorias medidas.

A continuación se analizan diferentes tipos de transductores, sus ventajas y sus limitaciones, y se ofrecen guías para determinar cuál es el mejor transductor para cada aplicación. Es importante notar sin embargo, que la siguiente información es general; es decir, las características individuales de un transductor pueden variar de un vendedor a otro.

Típicamente hay cuatro tipos de sensores o transductores de vibraciones:

- Sensor de desplazamiento relativo sin contacto.
- Sensor de desplazamiento relativo con contacto.
- Sensor de velocidad o velocímetro.
- Sensor de aceleración o acelerómetro.

El sensor de desplazamiento se utiliza en máquinas que tienen descansos hidrodinámicos o cojinetes con películas de aceite para medir directamente al eje, como lo establece la norma ISO 7919. En máquinas montadas en rodamientos es suficiente medir en la caja de rodamientos y para ello se utiliza hoy en día acelerómetros.

### **2.2.1. SENSOR DE DESPLAZAMIENTO RELATIVO SIN CONTACTO**

Este sensor mide la distancia relativa “d” Fig.2.4.(a) entre la punta del sensor o probe y el blanco a medir (en este caso el eje). Existen diferentes tipos de sensores de desplazamiento, basados en diferentes principios de medición: capacitivos, de corriente parásita, inductivos, etc. Sin embargo, el mayoritariamente utilizado hoy en día en las máquinas rotativas es el segundo mencionado, el cual analizaremos a continuación. Solo en algunas plantas hidroeléctricas se utilizan sensores capacitivos o inductivos.

El sistema de medición de desplazamientos relativos sin contacto usa un sensor de corrientes parásitas o de Foucault o eddy current, y está compuesto por:

- ❖ El sensor propiamente dicho o sonda.
- ❖ Un oscilador demodulador.
- ❖ Un cable de extensión que une el sensor y el oscilador demodulador.
- ❖ Una fuente de poder.

El sensor tal es simplemente una bobina eléctrica cubierta por un material estable, como fibra de vidrio, tal como se muestra en la Fig.2.4 (b). Este sensor se fija en forma atornillada a la caja de descanso, como se

muestra en la Fig.2.4 (a); por lo tanto, es un sensor de medición permanente (no es portátil).

El oscilador demodulador le proporciona al sensor un voltaje alterno de alta frecuencia (típicamente 1.5 MHz). Este voltaje variable produce un campo magnético variable cuando pasa por la bobina (sensor) Fig.2.4(b) el cual induce en la superficie del eje (siempre que este sea un metal conductor) corrientes parásitas o de Foucault; es decir, el eje se comportará como el secundario de un transformador, produciendo una pérdida de energía del campo magnético de la bobina, lo que se traduce en una variación o modulación del voltaje en ella. Modulación significa variación.

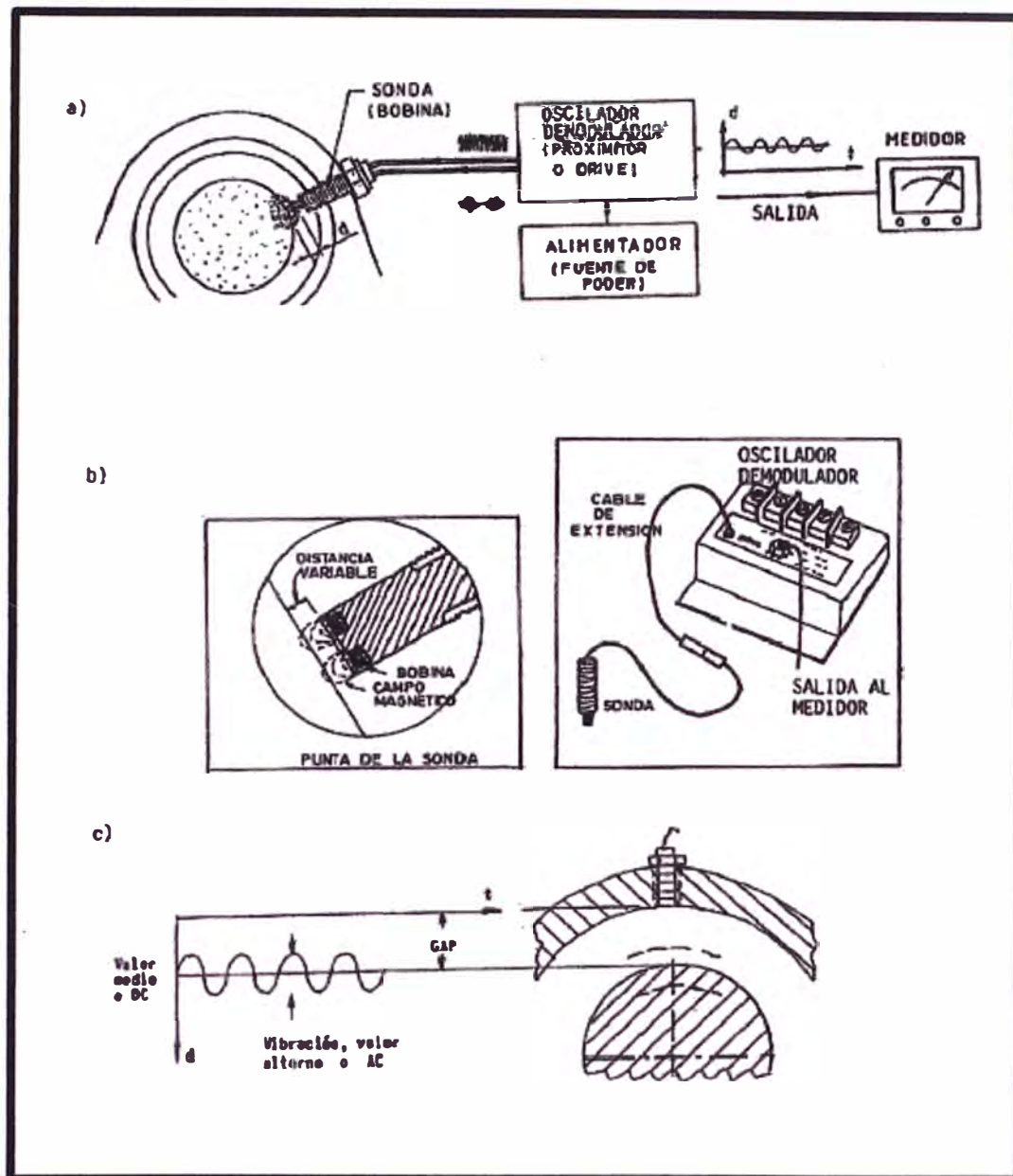


Fig.2.4. Sensor de desplazamiento relativo sin contacto

La Fig.2.5. muestra una curva de respuesta típica de un transductor de desplazamiento sin contacto. Esta curva representa la relación entre la distancia del sensor al eje y el voltaje de salida del sensor. Existe una relación lineal entre ellas, solo en el rango de aproximadamente 10 a 90 (mils), o sea en un total de 80 (mils).

Por consiguiente, el sensor solo debiera trabajar dentro de este rango. Para asegurar esto, es necesario calibrar el sensor cuando la máquina está detenida de manera que el sensor en ese momento indique el punto medio del rango lineal, o sea 50 (mils). Como la sensibilidad del sensor es 200 mV/mils, la medición anterior es equivalente en voltaje a:  $50 \times 200 = 10000 \text{ (mV)} = 10 \text{ (voltios)}$ .

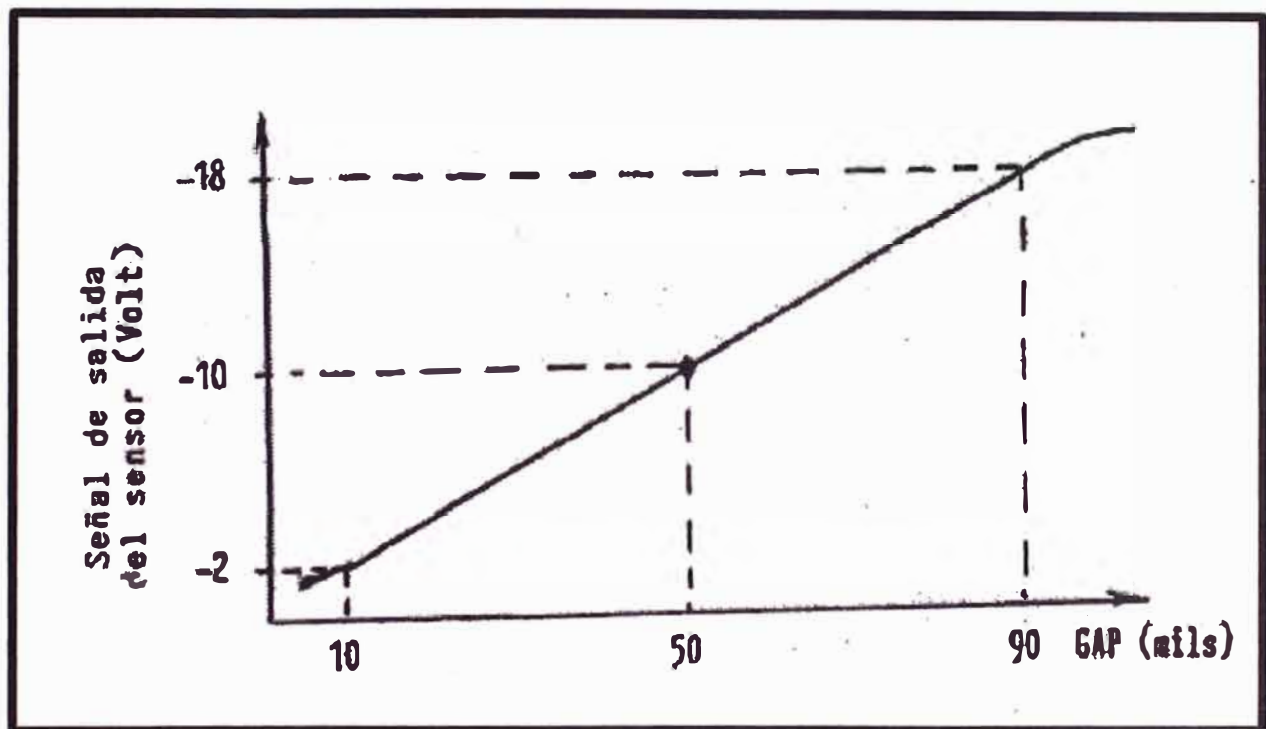


Fig.2.5. Curva de respuesta típica de un sensor de desplazamiento sin contacto

### 2.2.2. SENSOR DE DESPLAZAMIENTO CON CONTACTO

Aunque son una tecnología antigua, estos sensores aún son usados en aplicaciones específicas, tales como:

- a) Mediciones de vibraciones al eje cuando la máquina no tiene instalado sensores de desplazamiento sin contacto.

- b) Mediciones sobre ejes con superficies no conductoras donde los sensores de desplazamiento sin contacto no funcionan. La gran limitación de estos sensores es que no son capaces de medir vibraciones sobre los 12 000 cpm. La edición del desplazamiento por este sensor es como si el realmente cabalgara sobre la superficie del eje.

### **2.2.3. SENSOR O TRANSDUCTOR DE VELOCIDAD O VELOCÍMETRO**

Típicamente existen dos tipos de sensores de velocidad:

- 1.- El sensor de velocidad sísmico.
- 2.- El sensor de velocidad piezoeléctrico.

#### **2.2.3.1. SENSOR DE VELOCIDAD SÍSMICO**

El sensor de velocidad sísmico más usado es del tipo electrodinámico Fig. 2.6(a), donde la bobina que se desplaza junto con la superficie a medir tiene un movimiento relativo a un imán permanente, el cual está fijo a la masa sísmica  $M$ . Cuando la bobina se mueve respecto al imán, se induce en las espiras una fuerza electromotriz  $E(t)$ , la cual es directamente proporcional a la velocidad relativa bobina-imán.

La masa  $M$  actúa como masa sísmica cuando ella permanece estacionaria en el espacio. Esto solo sucede cuando la frecuencia a medir es varias veces la frecuencia natural del sensor, es decir, cuando la frecuencia a medir es superior a unos 600 cpm. Bajo esta frecuencia, la masa  $M$  no permanece estacionaria y se mueve, lo que trae como



consecuencia que el sensor entregue un valor de la amplitud vibratoria menor que el real.

Para obtener el valor real de la medición a bajas frecuencias debe usarse un factor de corrección para la medición. La Fig.2.6. (b) muestra el factor de corrección a usar con un velocímetro IRD 544. Nótese que a medida que disminuye la frecuencia de vibración a medir, es necesario usar un mayor factor de corrección. Para una frecuencia de 200 cpm el factor de corrección a usar es 10; es decir, el valor que entrega el sensor es la décima parte que el real. Por consiguiente, un sensor de velocidad electrodinámico no es adecuado para medir vibraciones de baja frecuencia. Este sensor es autogenerador de la vibración, es decir, no necesita fuente de poder para funcionar, como es el caso del sensor de desplazamiento sin contacto y del acelerómetro que si necesitan energía externa para funcionar.

Este sensor genera, además, una señal de baja impedancia que puede usarse directamente en el análisis o en el sistema de monitoreo sin necesidad de un acondicionamiento de la señal.

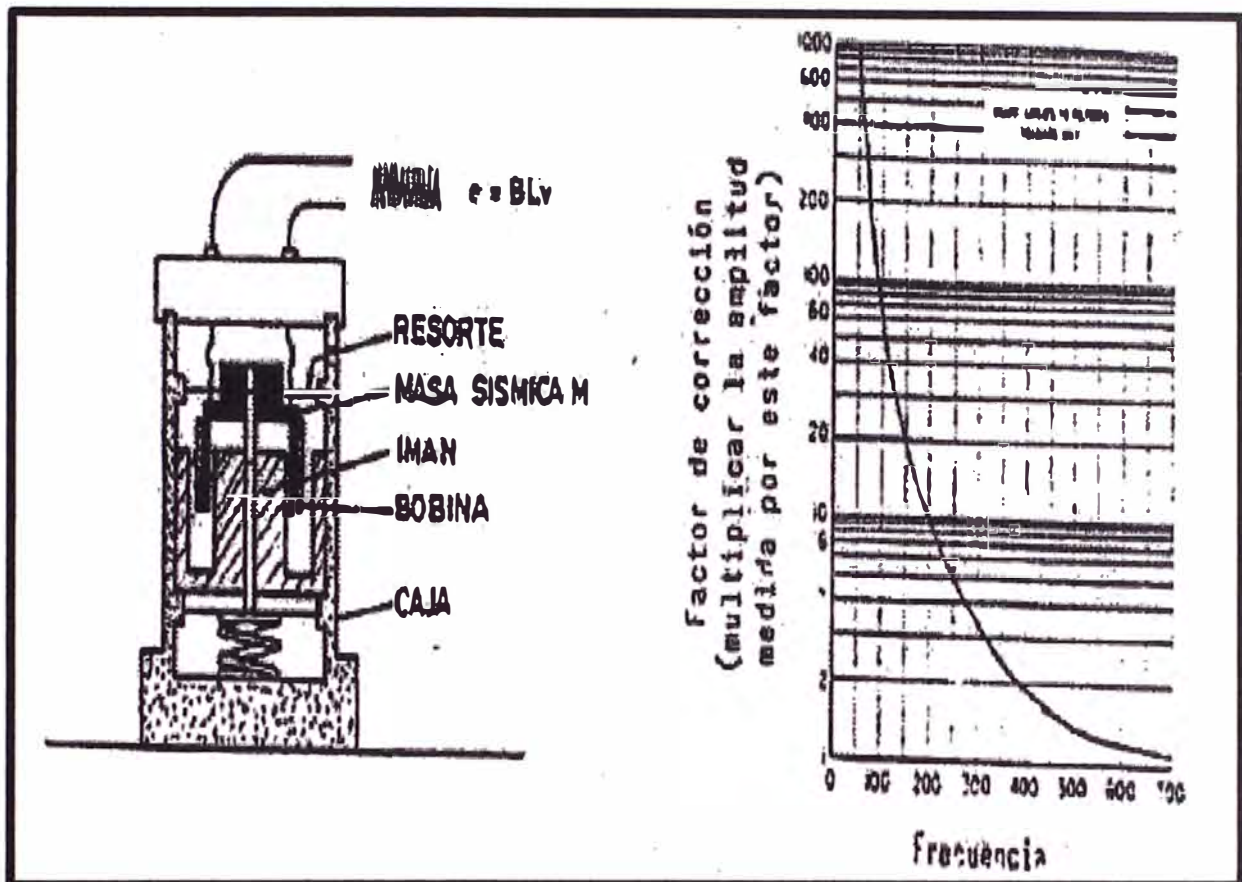


Fig. 2.6. a) Sensor de velocidad o velocímetro electrodinámico.  
b) Gráfico para corregir las mediciones a bajas frecuencias.

### 2.3. FORMAS DE MONTAJE DE SENSORES.

Al igual que el acelerómetro, el velocímetro solamente mide las vibraciones que tienen la dirección del eje del sensor; no deberían medir vibraciones que tienen dirección transversal a perpendicular a su eje. Esto permite medir en un descanso que tiene simultáneamente vibraciones horizontales, verticales y axiales solo aquellas que tienen la dirección del sensor.

Hay varias formas de fijar el sensor a la superficie donde se quiere medir, como se muestra en la Fig.2.7.

#### 2.3.1. MONTAJE POR ESPARRAGO

Los sensores tienen en su base un agujero roscado de dimensiones estándar donde se puede atornillar un espárrago, el cual posteriormente se

atornilla a la superficie a medir. Este es sin duda el mejor método para fijar un sensor, y es la forma donde el sensor mide el mayor rango de frecuencia, como se muestra en la Tabla 2.1.

### 2.3.2. MONTAJE APOYADO CON VÁSTAGO

Consiste en atornillar a la base del sensor un vástago, sonda o punta (se usa de diferentes longitudes). Esto permite medir sobre superficies irregulares o en puntos de difícil acceso, pero no se puede utilizar cuando se quiere medir vibraciones de alta frecuencia.

Tabla 2.1 Frecuencia máxima que puede medir un velocímetro de acuerdo a la forma de fijarlo a la superficie a medir, de acuerdo a IRD.

Método de montaje del sensor	Frecuencia máxima
Método apoyado con vástago de 3"	18 000 cpm
Con base magnética	37 000 cpm
Método apoyado sin vástago	60 000 cpm
Montaje por espárrago	90 000 cpm

### 2.3.3. MONTAJE CON BASE MAGNÉTICA

Consiste en atornillar una base magnética a la base del sensor. La frecuencia máxima que se puede medir depende de lo firme que quede pegada la base magnética a la superficie a medir. La base más utilizada es la de dos rieles (magneto de dos polos), y es adecuado cuando la superficie donde se va a medir no es plana. Si se quiere aumentar la frecuencia máxima de medición se usa el magneto plano, el cual sin embargo solo es adecuado cuando la superficie donde se va a medir es plana. Debe tenerse presente que a medida que disminuye la fuerza sostenedora en el imán se reduce la

frecuencia máxima de captación. Cualquier suciedad, grasa, o falta de apoyo del imán disminuye esta frecuencia máxima.

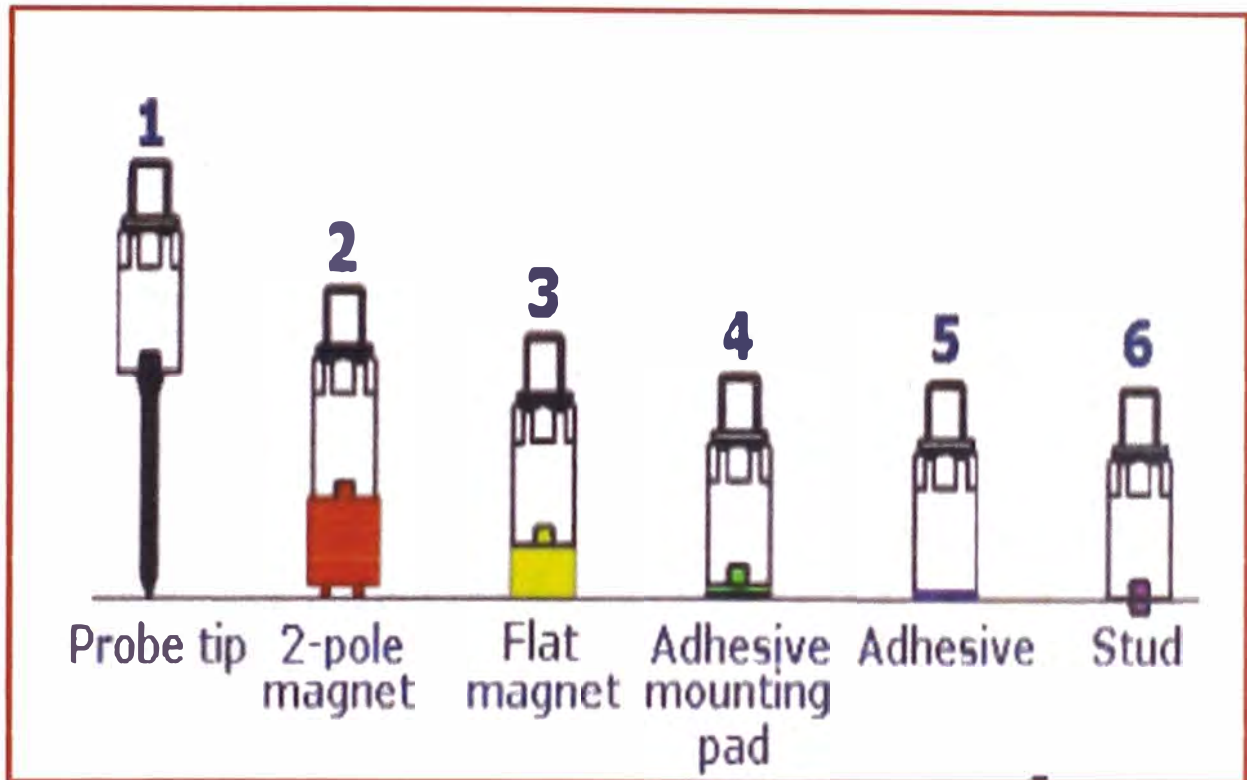


Fig. 2.7. Diferentes formas de montaje de un sensor en el punto de medición.

#### 2.3.4. MONTAJE CON DISCO DE MONTAJE

Consiste en pegar sobre la superficie del descanso un disco que tiene un tornillo donde se atornillará el sensor para las mediciones. Esta es una alternativa a utilizar para medir vibraciones con mayores frecuencias, en los casos en que no se quiere montar un espárrago por temor a perforar el descanso.

Las principales limitaciones de un velocímetro electrodinámico son:

A) Tienen un rango de frecuencias más pequeños que un acelerómetro. Este rango está limitado a las bajas frecuencias por el movimiento de la masa sísmica y a las altas frecuencias, por la necesidad de sobrellevar la inercia del

sistema. Para propósitos prácticos, un sensor de velocidades electrodinámico típico está limitado a frecuencias entre aproximadamente 10 y 1 500 Hz (600 cpm a 9 000 cpm). La Fig. 2.8. muestra la hoja de datos de un sensor de velocidad típico.

B) Tamaño mayor que el de un acelerómetro, por lo que debe tenerse presente que al igual que para los acelerómetros los valores para el rango de frecuencias que se indican en la hoja de datos son para el sensor montado con espárrago. Para otro tipo de montaje, la frecuencia máxima a medir disminuye, como lo ilustra la Tabla 2.1 para el caso de velocímetros IRD.

# SKF Loop-powered Vibration Transmitter

## CMSS 420VT

### Features

- Solid-state reliability
- Integral sensor
- 4-20 mA output
- Dynamic signal output

### Description

The CMSS 420VT is a solid-state, loop-powered vibration transmitter. It provides a 4-20 mA output that is proportional to overall vibration in terms of velocity. The CMSS 420VT continuously monitors machinery health and transmits directly into a PLC or DCS for trending, alarm and machine shutdown. In addition, the CMSS 420VT provides access to the dynamic transducer output. The buffered output is available for temporary connection of portable analyzers for detailed machine fault analysis.

### Simple installation

Simply mount the CMSS 420VT into a 1/4"-28 or M8 tapped hole in the bearing housing or machine case (NPT Mounting Adapters are available, part number CMSS 203), connect two wires into a 4-20 mA loop, and you are ready to interface with a PLC or DCS. Electrical conduit may be connected directly to the top 3/4" NPT fitting. (NPT Mounting Adapters are available, part number CMSS 203).

### Specifications

#### DYNAMIC

Output: 4-20 mA proportional to full scale Velocity

Accuracy:  $\pm 5\%$  of full-scale

Frequency response: 2-2,000 Hz

Frequency response accuracy:

-3 db: 2 Hz to 2 kHz

10%: 10 Hz to 1 kHz

5%: 15 Hz to 750 Hz

Buffered output: Acceleration, 100 mV/g

#### ELECTRICAL

Power (Two wire loop power): +22 Vdc to +36 Vdc

Maximum load (see note - maximum load resistance calculations for specific requirements): Up to 600 Ohms resistive

Grounding: Case isolated



#### ENVIRONMENTAL

Operating temperature: -20 °C to +80 °C (-4 °F to +176 °F)

Sealed: Epoxy encapsulated

Enclosure: SS, NEMA 4, 4X, 12

Mounting: Stud mounted

Weight (without display): 227 g (8 oz.)

#### REGULATORY APPROVAL

CE Mark: SKF Loop-Powered Vibration Transmitter CMSS 420VT and displays CMSS 420LCD and CMSS 420LED

Fig.2.8. Hoja de datos de un sensor de velocidad típico

## 2.4. SENSOR DE ACELERACIÓN O ACELERÓMETRO

El sensor de aceleración más usado es el de tipo piezoeléctrico. Estos transductores utilizan las propiedades piezoeléctricas de ciertos materiales cerámicos como el cuarzo. Dichos materiales tienen una distribución asimétrica de carga interna, de manera que al aplicarles una fuerza externa en la dirección de su polarización se desarrolla una carga eléctrica entre sus superficies, generando una diferencia de potencial entre ellas (Fig.2.9.(a)). La carga (y voltaje) es proporcional a la fuerza aplicada, y por lo tanto a la aceleración. El mismo fenómeno ocurre si la fuerza se aplica al material en el modo corte. Así, los acelerómetros son diseñados para trabajar en los dos modos: en el modo de compresión y en el modo de corte mostrado en la Fig.2.9. (b).

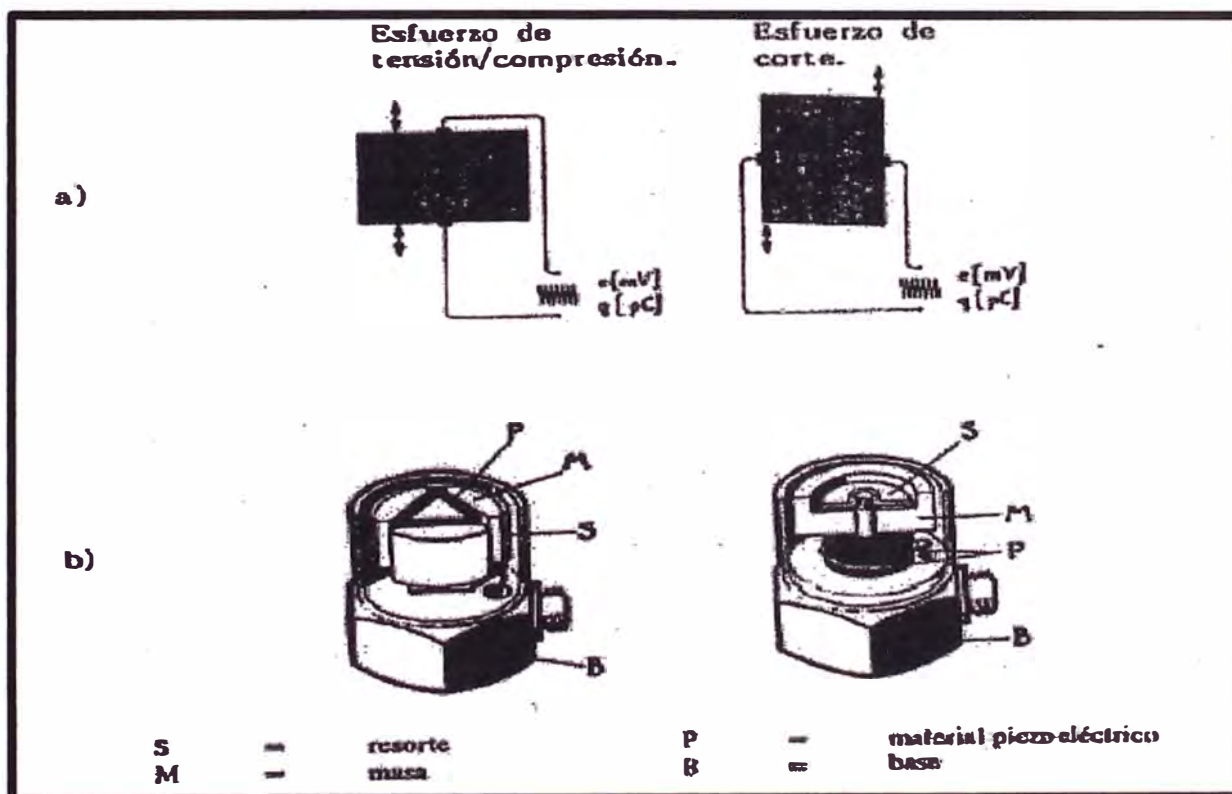


Fig.2.9. a) Carga generada en el material piezoeléctrico. b) Modos de operar de acelerómetros piezoeléctricos.

### 2.4.1. MODO DE OPERAR DE ACELERÓMETROS PIEZOELÉCTRICOS

El tipo más usado es el diseño modo corte, el cual es usado virtualmente en cualquier aplicación debido a su baja sensibilidad a la influencia del medio ambiente.

El diseño basado en el modo compresión son utilizados cuando se requiere medir niveles de choque muy altos y para otros propósitos especiales.

El acelerómetro está compuesto por un cierto número de discos de cuarzo Fig.2.10.(a) sobre las cuales se apoya por un lado una masa **M**, y por otro lado están rígidamente unidas a la base, la cual a la vez se fija a la superficie cuyo movimiento se desea medir. Cuando el acelerómetro está sometido a vibraciones, la masa **M** ejerce fuerza de inercia **Ma** sobre el material piezoeléctrico, el que genera cargas eléctricas proporcionales a la aceleración y a la masa **M**. De aquí se concluye que para obtener una mayor señal de salida se requiere de una mayor masa y por lo tanto a mayor sensibilidad del acelerómetro mayor es su masa y tamaño, como se ilustra en la Fig. 2.10.(c).



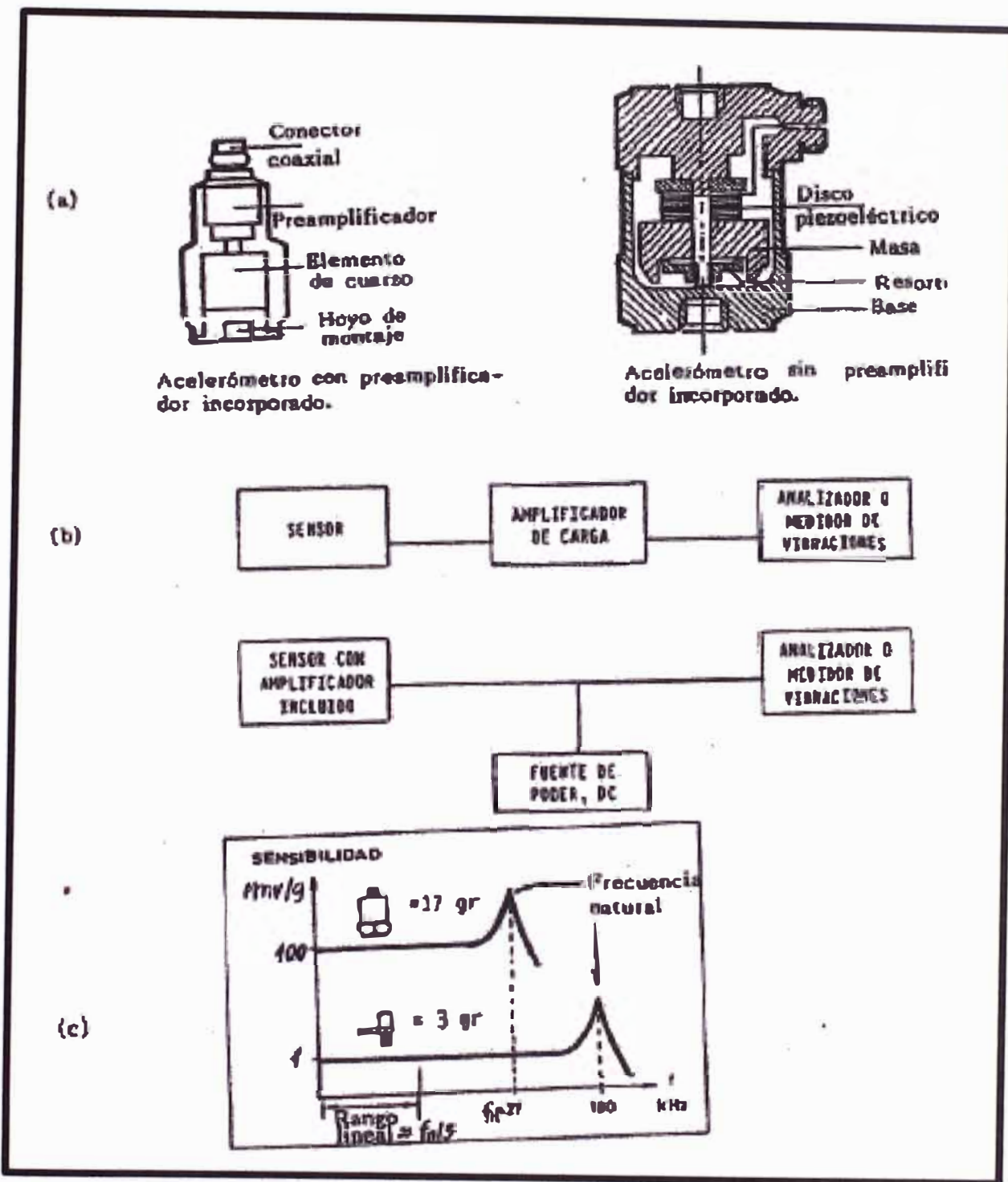


Fig.2.10 a).- Esquema de un acelerómetro con y sin pre-amplificador incorporado.  
 b).- Medición con acelerómetros con y sin pre-amplificador incorporado.  
 c).- Relación entre el tamaño y la masa de un acelerómetro con su sensibilidad.

Un acelerómetro piezoeléctrico es un sensor autogenerador de su señal, pero tiene el inconveniente que la señal de salida tiene una impedancia muy alta y de muy bajo valor. Por consiguiente, no es adecuada para utilizarla directamente con la mayoría de instrumentos usados en la medición, análisis o monitoreo de las vibraciones. Para ser utilizada es necesario bajarle la impedancia y transformar la señal de la carga(coulomb) a voltaje (volt) a través de un pre-amplificador.

El pre-amplificador utilizado es el del tipo ICP (Integrated Circuit Piezoelectric), el cual entrega una señal de voltaje de baja impedancia. Este puede ser ubicado dentro del acelerómetro o fuera de él, como se indica en la Fig.2.10.(b). Por lo tanto, se tiene dos tipos de acelerómetros:

1).- Acelerómetro con preamplificador dentro de la misma carcasa del acelerómetro.

Debe tenerse presente que para que funcione el preamplificador que tiene incorporado, es necesario darle energía a través de una fuente de poder. La mayoría de los analizadores de vibraciones y recolectores de datos proporcionan directamente energía al preamplificador incorporado en el acelerómetro a través del cable de conexión.

2).- Acelerómetros con preamplificador en una unidad separada y unida entre ellos través de cables.

La forma mayoritariamente usada es por comodidad, la primera. La segunda forma debe ser utilizada en acelerómetros que van a trabajar a más de 250 °F, de acuerdo a API 678, debido a que es la máxima temperatura admisible para preamplificador incorporado que tiene el acelerómetro.

## **2.5. RANGO DE FRECUENCIAS TÍPICAS**

El rango de frecuencias del sensor es el rango entre la menor y la mayor frecuencia de la vibración que puede medir sin atenuarlas considerablemente. Cada transductor tiene su propio rango de frecuencias, y es fundamental que sea conocido por el analista de vibraciones. El límite de las bajas frecuencias es una de las características del sensor, mientras que el límite de las altas frecuencias depende además del tipo de sensor, para el caso de los velocímetros y acelerómetros, de su forma de montaje. La Tabla 2.2 muestra un resumen de los rangos de frecuencias y sensibilidades típicas de diferentes sensores de vibraciones.

El montaje del acelerómetro mediante un espárrago provee el mayor rango de frecuencias. Sin embargo, este montaje no es práctico a usar en un programa de mantenimiento predictivo, debido al tiempo requerido para atornillar y destornillar el sensor. Sin embargo, esta es la única forma de fijar el acelerómetro cuando se requiere medir frecuencias muy altas, tales como frecuencias de paso de álabes de una turbina de vapor o frecuencias de engrane y sus armónicos en máquinas que giran a altas velocidades.

El montaje a través de una base magnética es el más usado en los programas de mantenimiento predictivo; sin embargo, debe considerarse que

con este montaje se disminuye el rango de frecuencias del sensor respecto al montaje del espárrago.

Otro punto importante a tomar en cuenta es que en la hoja de datos del sensor, el fabricante entrega como rango de frecuencia del aquel correspondiente al sensor montado con espárragos. Por tanto, debe tenerse presente, cuando se usa con una base magnética, que el rango de frecuencia útil del sensor disminuye.

En el caso de los sensores de desplazamiento sin contacto, el rango útil práctico de medición es de 0 a 1 000 Hz aproximadamente, aunque teóricamente en la hoja de datos del sensor aparezca de 0 a 1 000 Hz. Esto se debe a que sobre las 1 000 Hz los desplazamientos vibratorios de los sistemas mecánicos son muy pequeños y las componentes del run-out de la medición toman importancia al ser mayores que los valores medidos.

## **2.6. ETAPA DE ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL**

Todos los instrumentos usados en el monitoreo de la condición mecánica de las máquinas rotatorias contienen algún tipo de acondicionamiento de la señal. Para entender para entender el comportamiento y características de esta instrumentación, es importante que el analista de vibraciones se familiarice con los términos básicos comúnmente encontrados en el acondicionamiento de la señal.

Tabla 2.2. Rango de frecuencias y sensibilidades típicas de diferentes sensores de vibraciones

Tipo de sensor o transductor	Rango de frecuencias típico	Sensibilidad típica	Precio US\$
Sensor de desplazamiento sin contacto	0 -1 000 Hz Práctico 0 -1 000 Hz Teórico	200 mV/mils	50
Sensor de desplazamiento con contacto	0 - 150Hz (0 - 9 000 cpm)	----	----
Velocímetro sísmico	10 -1 000 Hz (600 - 60 000 cpm)	500 mV/plg/s	300 - 600
Velocímetro piezoeléctrico (velometer)	2 - 5 000 Hz (120 - 30 0000 cpm)	100-500 mV/g	350 - 600
Acelerómetro piezoeléctrico de uso general	2 - 5 000 Hz (120 - 30 0000 cpm)	100 mV/g	200 - 400
Acelerómetro piezoeléctrico de baja frecuencia	0.2 - 1 000 Hz (12 - 60 000 cpm)	500-1000 mV/g	600 - 1 500
Acelerómetro resistivo	0 - 1 500 Hz (0 - 90 000 cpm)	0.5 mV/g	-----

## 2.7. FILTROS

Los filtros son ampliamente usados en el monitoreo y análisis de las vibraciones. Los filtros son circuitos electrónicos que eliminan o filtran algunas componentes vibratorias de la vibración medida. Desde este punto de vista los filtros pueden ser clasificados como:

- Filtros pasa bajo
- Filtros pasa alto
- Filtros pasa banda

Así como su nombre lo indican, un **filtro pasa bajo** es un filtro que elimina o filtra todas las componentes que tienen frecuencias sobre una frecuencia especificada, llamada frecuencia de corte del filtro, y deja pasar todas las componentes de frecuencias que estén bajo dicha frecuencia.

Por ejemplo, si usted especifica una frecuencia de corte  $f_c = 60\,000$  cpm al hacer pasar la señal por el filtro, el filtrará o eliminará todas las componentes que estén sobre  $60\,000$  cpm, y dejará pasar todas las componentes que estén bajo  $60\,000$  cpm. Esta característica del filtro queda especificada por su función respuesta en frecuencias, la cual está definida por:

$$\text{Función respuesta}_{\text{filtro}} = \frac{\text{Valor vibración de entrada}}{\text{valor de la vibración de salida}}$$

La Fig. 2.11. muestra la respuesta en frecuencia de un filtro pasa bajo. Se observa que ella tiene un valor 1 para todas las frecuencias bajo la frecuencia de corte  $f_c$  del filtro, es decir, todas las componentes bajo  $f_c$  el filtro las multiplica por 1 (las deja pasar) y tiene un valor 0 para todas las componentes sobre  $f_c$ , es decir, todas las componentes sobre  $f_c$  el filtro las multiplica por 0 (no las deja pasar).

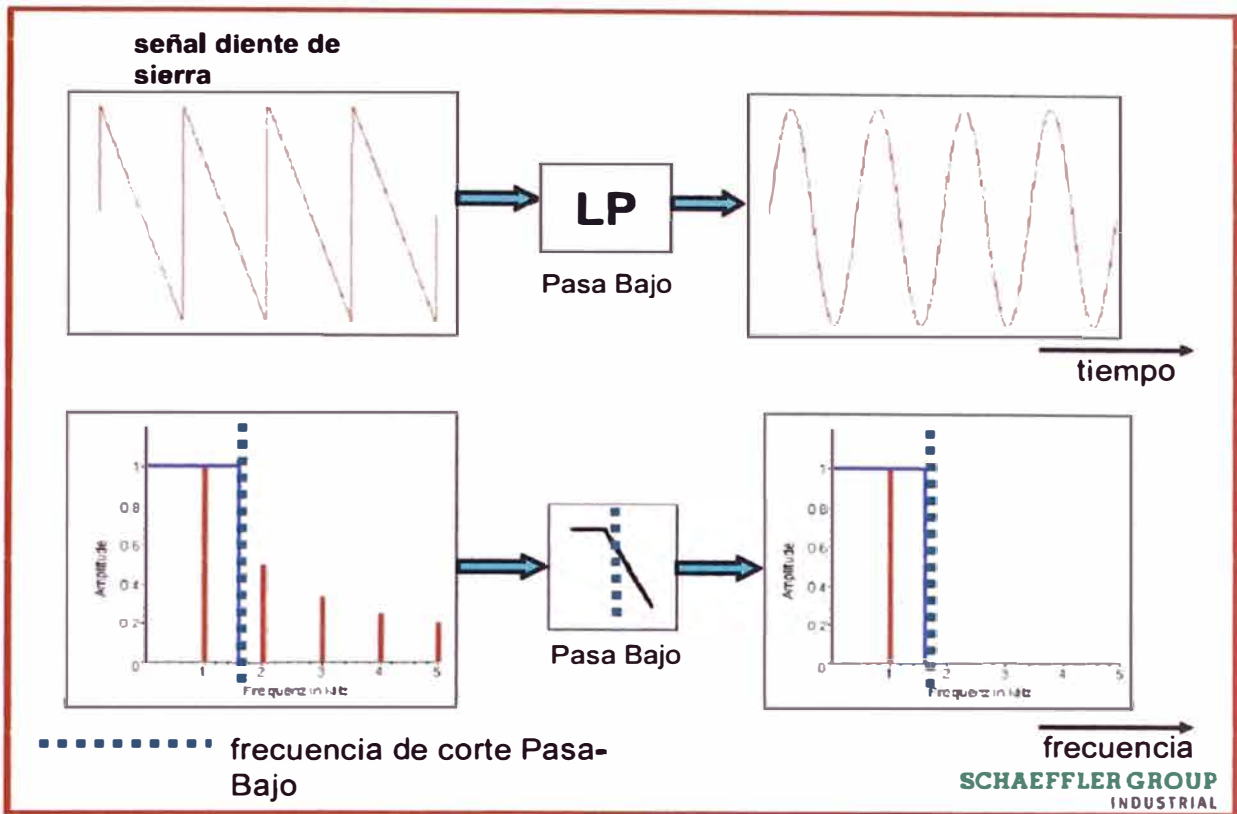


Fig.2.11. Característica de los filtro pasa bajo

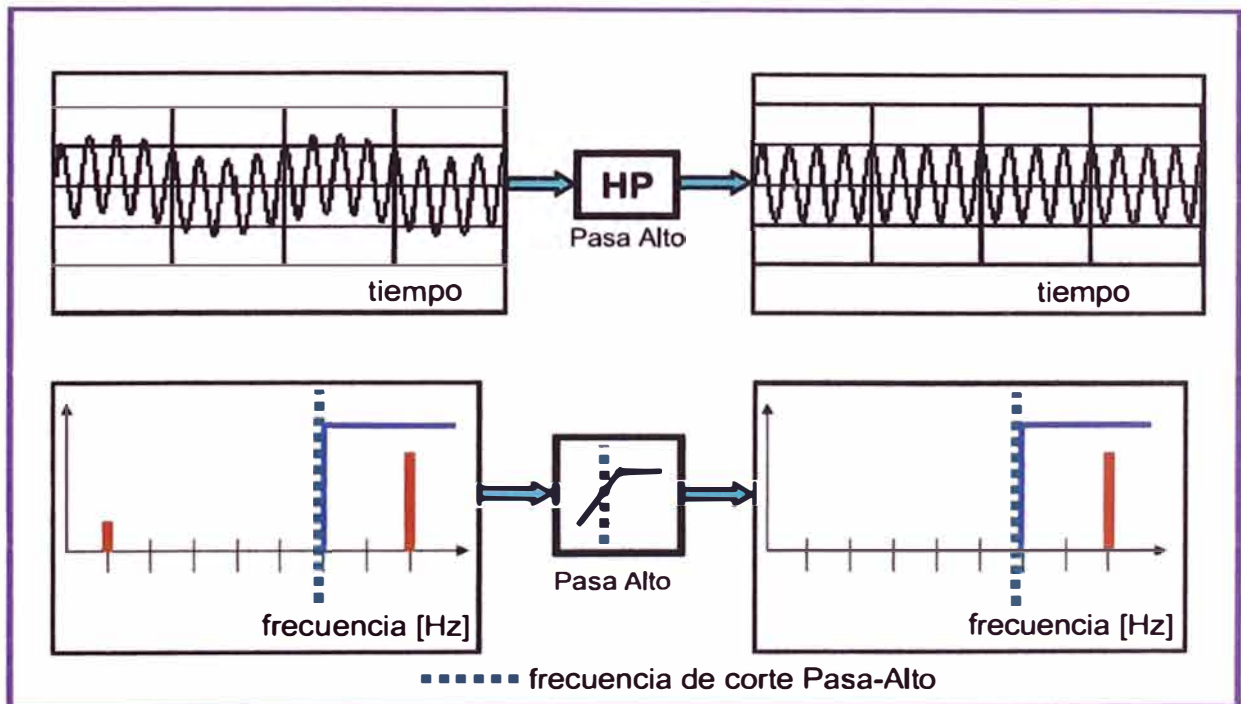


Fig.2.12. Características de los filtros pasa alto

Inversamente, un **filtro pasa alto** es un filtro que elimina o filtra todas las componentes que tienen frecuencias bajo la frecuencia de corte del filtro especificada, y deja pasar todas las componentes de frecuencia que estén sobre dicha frecuencia, tal como se muestra en la Fig.2.12. Un filtro pasa alto, el cual es importante configurar adecuadamente, es el que se configura cada vez que se quiere tener un espectro de velocidad vibratoria a partir de la medición realizada con un acelerómetro.

Un **filtro pasa banda** es un filtro que solo deja pasar las frecuencias que están dentro de un rango de frecuencias  $f_1$  y  $f_2$  especificadas, llamado el ancho de banda del filtro.

## 2.8. ANALIZADOR DE VIBRACIONES

La función principal de un analizador de vibraciones es determinar el contenido frecuencial (espectro) de una señal en el dominio tiempo que entra a él. Los tipos de analizadores más utilizados son:

- Δ Recolector-analizador digital de datos.
- Δ Analizador de espectros en tiempo real.

## 2.9. RECOLECTOR-ANALIZADOR DIGITAL DE DATOS

El recolector de datos fue diseñado para recolectar datos de muchas máquinas cuando se efectúa una ruta de medición. Es portátil y tiene la capacidad de guardar datos para un posterior análisis en la oficina.



La Fig.2.13. muestra un esquema de un sistema de recolección y manejo de datos típicos. Este sistema consta de un recolector-analizador digital de datos, un computador personal, una impresora y un programa computacional de manejo de datos.

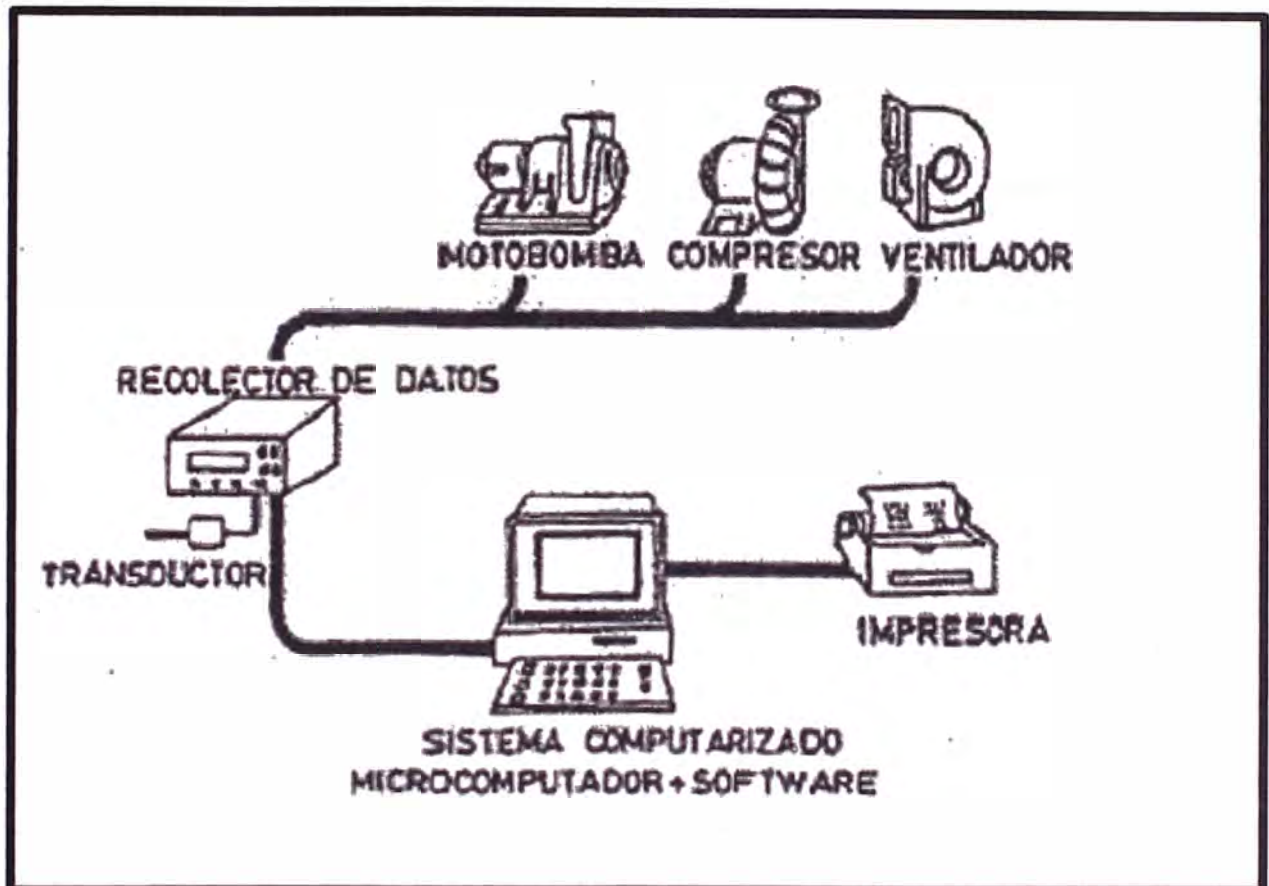


Fig.2.13. Esquema de un sistema de recolección y análisis de datos

La Fig. 2.14 muestra algunos tipos de recolectores y analizadores digitales de datos. Cada vez que se va a realizar una recolección de datos, el computador carga al recolector de datos con la ruta de medición que debe realizar. Terminado el recorrido, se transfieren los datos recolectados al computador personal para procesar la información. También, el recolector de datos puede ser usado como un analizador digital de vibraciones en el terreno. Además, en

la mayoría de los recolectores se puede medir la fase de la vibración agregándole un sensor que entregue el pulso de referencia.



Fig. 2.14. Diferentes tipos de recolectores de datos

## 2.10. ANALIZADOR DE ESPECTROS EN TIEMPO REAL

Este tipo de analizadores son las herramientas de diagnóstico más poderosas que existen en el mercado. Este analizador, al igual que el anterior, es un analizador digital o FFT. Es digital, pues para calcular el espectro digitaliza la señal. Se llama FFT (Fast Fourier Transform), pues usa un algoritmo llamado la Transformada Rápida de Fourier. El término “en tiempo real” significa que él va realizando y mostrando el espectro vibratorio simultáneamente como va llegando la señal.

Estos analizadores requieren un fuerte entrenamiento del usuario para sacar provecho de sus capacidades. No son portátiles, por lo que son usados para diagnosticar problemas y no para recolectar datos en programas de mantenimiento predictivo. Una de sus principales características es que su rango de frecuencias va casi de 0 cpm hasta unos 40 000 a 100 000 Hz. El rango de frecuencia típico de los recolectores y datos es desde 0.1 – 1Hz, hasta 20 000 – 40 000 Hz.

## 2.11. ANÁLISIS DIGITAL DE VIBRACIONES

La señal que sale de un sensor de vibraciones, por ejemplo un acelerómetro, es una señal **continua** o **analógica**, como se muestra en la Fig.2.15. El primer paso que efectúa el recolector/analizador digital de vibraciones es capturarla y guardarla en su memoria. Como un computador o un microprocesador (como el recolector de datos) no puede guardar una señal continua en su memoria, lo primero que hace entonces es digitalizar la señal analógica a través de la tarjeta análogo/digital que él tiene. Es decir, transforma la señal analógica o continua en una serie de puntos discretos como se indica en la Fig.2.15.; luego calcula el espectro en frecuencia utilizando el algoritmo FFT. El número de puntos o valores discretos  $N$  que se toman de la señal analógica son una potencia de 2, por ejemplo  $2^{10} = 1024$  puntos. Esto permite hacer el cálculo más simple y rápido.

Los  $N$  puntos o valores discretos tomados de la señal vibratoria en el dominio tiempo son introducidos al procesador FFT, el cual calcula el espectro de frecuencias. El espectro de frecuencia calculado consiste de  $N/2.56$  valores discretos. Si en la forma de la onda el recolector toma  $N = 1024$  puntos, entrega

en el espectro  $N_1 = 1\ 024 / 2.56 = 400$  líneas. Para evitar confusión respecto a cuál dominio se está hablando, los valores discretos en el dominio de las frecuencias se llaman líneas.

Para configurar un espectro es necesario entrar al recolector de datos:

- ❖  $f_{\max}$  de análisis.
- ❖ Número de líneas =  $N_l$

La frecuencia máxima de análisis usada en los espectros de velocidad generalmente es 60 000 cpm, debido a que para evaluar la severidad de las vibraciones nos atenemos a las normas ISO como veremos más adelante. Este valor puede ser variado dependiendo del tipo de máquina que se está analizando. Si la máquina a analizar es de muy baja velocidad (debajo 100 cpm), será necesario disminuir este rango de frecuencias para mejorar la resolución en frecuencias, como veremos a continuación.

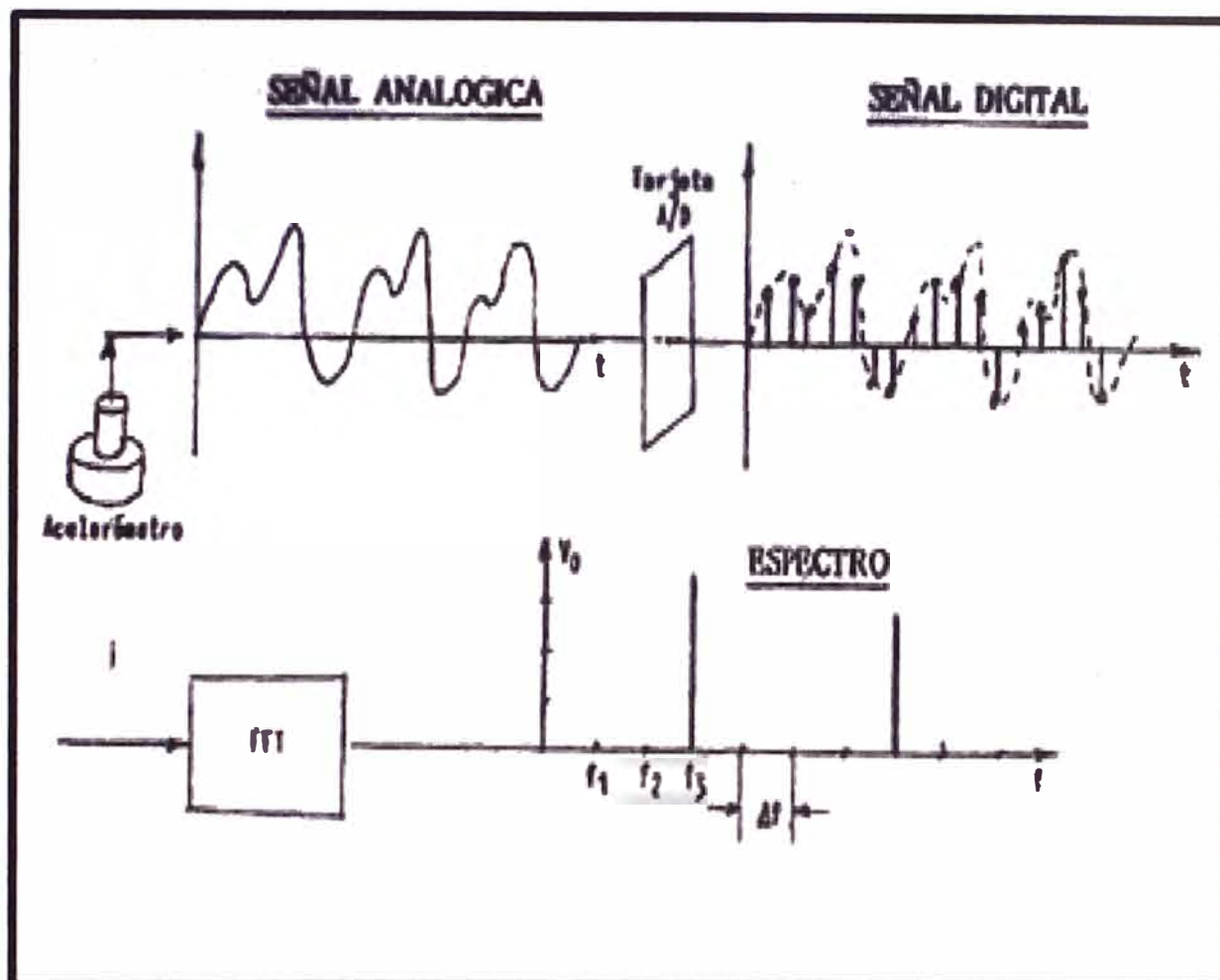


Fig. 2.15. Cálculo digital del espectro en un recolector de datos/analizador de vibraciones.

Por otro lado, si las vibraciones que se generan en la máquina son de muy alta frecuencia, será necesario aumentar el valor de  $f_{\text{máx}}$  (por ejemplo, en una caja de engranajes donde la frecuencia de engrane es 80 000 cpm, es necesario realizar el análisis de espectros hasta 3 veces la frecuencia de engranaje, en este caso sobre 240 000 cpm).

Configurada la  $f_{\text{máx}}$  de análisis, por ejemplo 40 000 cpm, el próximo paso es definir el número de líneas con que se quiere que el recolector calcule el espectro. El número de líneas que traen los recolectores normalmente son: 120, 200, 400,

800, 1 600, 3 200 y 6 400. Al seleccionarse el número de líneas, por ejemplo,  $N_l = 400$ , se le indica al recolector de datos, que el rango de frecuencias seleccionado (en el ejemplo de 0 a 40 000 cpm) lo divida en 400 valores discretos o líneas. Es decir,  $40\ 000/400 = 100\ \text{cpm} = \Delta f$ , llamado resoluciones en frecuencias. Esto significa que el analizador solo va a entregar valores de frecuencias a estos valores discretos, es decir, en este caso, Puede entregar valores en frecuencias a 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1 000, 1 100,....., 40 000.

$$\Delta f = \frac{f_{\text{máx}}}{N_l}$$

$\Delta f$  = Resolución en frecuencias (el analizador sólo entrega valores discretos a múltiplos de  $\Delta f$ ).

$f_{\text{máx}}$  = Frecuencia máxima en el espectro =  $N_l \cdot \Delta f$

$N_l$  = Número de líneas

El problema práctico de trabajar con una mala resolución en frecuencia, en este caso,  $\Delta f = 100\ \text{cpm}$  es lo indicado en la Fig.2.16. Esta figura muestra el espectro medido en un motor eléctrico que gira a 980 cpm. Como veremos más adelante, una vibración normal que se genera en todo tipo de máquinas es la generada por el desbalance residual del rotor. Esta vibración es reconocida porque tiene una frecuencia igual a los RPM de giro de la máquina, en este caso 980 cpm. Sin embargo, por la resolución  $\Delta f = 100\ \text{cpm}$  con que se calculó el espectro, el analizador solo da valores cada 100 cpm, por lo tanto no se puede dar valor a 980 cpm, y va a indicar como la frecuencia 1 000 cpm, como lo marca el cursor de la Fig.2.16.

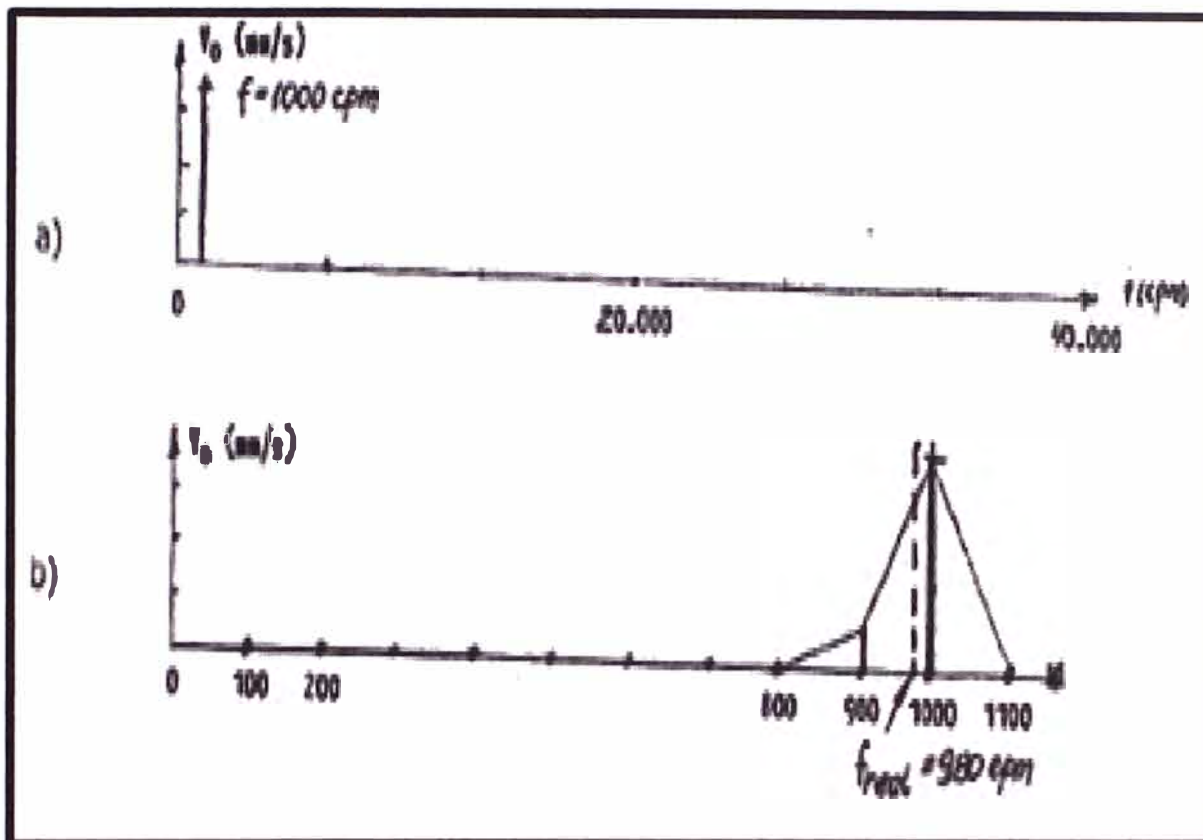


Fig. 2.16 a) Espectro con resolución en frecuencia,  $\Delta f = 100$  cpm. Componente cuya frecuencia es 980 cpm es indicada en el espectro a 1 000 cpm. b) Expansión de la escala de las frecuencias hasta 1 200 cpm.

Si se hubiese configurado el espectro con  $f_{m\acute{a}x} = 6\,400$  cpm y 6400 líneas, es decir, con una resolución en frecuencia  $\Delta f = 6\,400/6\,400 = 1$  cpm, el analizador en este caso puede dar valor a 980 cpm, y en este caso se obtendrá la frecuencia verdadera de la verdadera vibración.

La pregunta es entonces, ¿por qué no se trabaja siempre con el mayor número de líneas para obtener la mejor resolución en frecuencia posible? La respuesta es que a medida que se trabaja con mejor resolución, se requiere más tiempo de adquisición de la vibración. El tiempo de adquisición para realizar un espectro es el inverso de su resolución en frecuencias.

$T_{\text{adquisición}} = \text{Tiempo de toma de señal o tiempo de adquisición} = \frac{1}{\Delta f}$

Así:

-  $T_{\text{adquisición}}$ , para una resolución  $\Delta f = 100 \text{ cpm}$  es :  $1 / 100 \text{ cpm} = 0.01 \text{ min} = 0.6 \text{ seg.}$

-  $T_{\text{adquisición}}$ , para una resolución  $\Delta f = 1 \text{ cpm}$  es :  $1 / 1 \text{ cpm} = 1 \text{ min} = 60 \text{ seg.}$

Si se considera que para tener un valor representativo de la medición se requiere promediar un cierto número de espectros, por ejemplo 6. Realizar 6 espectros con  $\Delta f = 1 \text{ cpm}$ , requeriría demorarse 6 minutos por punto de medición, lo que es excesivo.

Entonces el criterio a utilizar es:

- ❖ Cuando se está haciendo el estudio inicial de una máquina o cuando se requiere buscar la causa que generó un aumento en sus vibraciones, se requiere determinar con exactitud la frecuencia de las componentes, valor clave para el diagnóstico. En ese caso será necesario trabajar con buena resolución en frecuencia de espectros.
- ❖ Para el proceso de vigilancia periódico, si se quiere medir varias máquinas en el día, se trabaja con menor resolución. En el ejemplo de la Fig.2.16., ya en el estudio inicial con buena resolución se determinó que la frecuencia de la componente era a  $\text{RPM} = 980 \text{ cpm}$ . Después, en la vigilancia periódica sabiendo la anterior, no es molesto que al poner el cursor sobre ella el equipo marque  $1\ 000 \text{ cpm}$ .



## 2.12. FORMAS DE MEJORAR LA RESOLUCIÓN EN FRECUENCIAS

Para mejorar la resolución en frecuencia  $\Delta f$  se puede:

- \* Disminuir  $f_{\text{máx}}$ .
- \* Aumentar el número de líneas.
- \* Efectuar un zoom, es decir, concentrar todas las líneas en un rango de frecuencias determinadas.

## 2.13. PROCESO DE AJUSTE DEL VALOR DE LA FRECUENCIA

Actualmente los colectores de datos a través de software interno que ellos poseen permiten ajustar el valor de frecuencia que inicialmente le indica el cursor. Para el ejemplo de la Fig.4.15, inicialmente el cursor indicará que la frecuencia es 1 000 cpm, pero apretando una tecla en recolector el automáticamente ajustará el valor a un valor cercano a 980 cpm.

La exactitud de este ajuste depende de lo cerca que estén otros componentes espectrales y del nivel de ruido existente en la medición.

## **CAPÍTULO 3**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **3.1. GESTIÓN ACTUAL DE MANTENIMIENTO EN EQUIPOS DE PLANTA CONCENTRADORA.**

El mantenimiento a los equipos de la planta concentradora se realiza mensualmente y al inicio de cada mes, tomándose desde 01 a 03 días como máximo cuando las condiciones lo requieren. La paralización total de la planta concentradora obliga a que se haga el repulpado del relave (slurry) que se halla depositado en el lecho de la laguna Caballicochoa.



Fig. 3.1. Planta concentradora al pie de la laguna Caballicochoa

Por lo tanto, la bomba MARS; Fig. 3.2., continua con el bombeo del slurry hacia el interior de mina durante la paralización de los equipos de planta concentradora por el mantenimiento mencionado para no ocasionar problemas con la producción de mineral programado.



Fig. 3.2 Ubicación de la bomba Mars en el circuito de relleno hidráulico

### 3.2. GESTIÓN DE MANTENIMIENTO ESPECÍFICO EN LA BOMBA DE RELLENO HIDRÁULICO

La bomba MARS, a pesar de ser un equipo crítico, requiere de mantenimiento preventivo y predictivo alguno, dado que no cuenta con equipo en stand by; solo se le realiza mantenimientos correctivo y programado, siendo las partes más frecuentes de fallos los sistemas de impulsión hidráulica, así como de succión y descarga del slurry que es tomado del tanque agitador y luego bombeado

a través de la red de tuberías al interior de la mina, específicamente a los tajos de producción.

### 3.3. NIVEL DE PORCENTAJE DE DISPONIBILIDAD MECÁNICA

Pasamos a mostrar cómo se determina 03 indicadores con que se controla la performance de la bomba MARS:

D: Disponibilidad mecánica (%). Porcentaje del tiempo en que un equipo está disponible para ser operado, en relación a las horas calendario. A la diferencia entre tiempo calendario y el tiempo en mantenimiento podemos denominarlo también tiempo disponible.

$$D = \frac{TC - TM}{TC}$$

UD: Uso de la disponibilidad mecánica (%). Porcentaje del tiempo utilizado en la operación con relación al tiempo disponible.

$$UD = \frac{TO}{TC - TM}$$

U: Utilización (%). Porcentaje del tiempo en operación con respecto a tiempo calendario.

$$U = \frac{TO}{TC}$$

Para los tres indicadores mencionados arriba:

TC: Tiempo calendario. Corresponde a las horas calendario resultante del periodo que desea calcular el indicador. Para el caso de a bomba MARS es 24 h/día.

TM: Tiempo de mantenimiento. No se incluye paradas que no sean exclusivamente por mantenimientos del equipo.

TO: Tiempo de operación. Tiempo que el equipo operó para realizar su trabajo.

La Fig. 3.3 muestra los valores de los tres indicadores mencionados, los que corresponden al periodo 2 013 y 2 014 para la bomba MARS.

La Fig. 3.4 muestra las horas de operación y el volumen de slurry que se ha bombeado al interior de la mina.

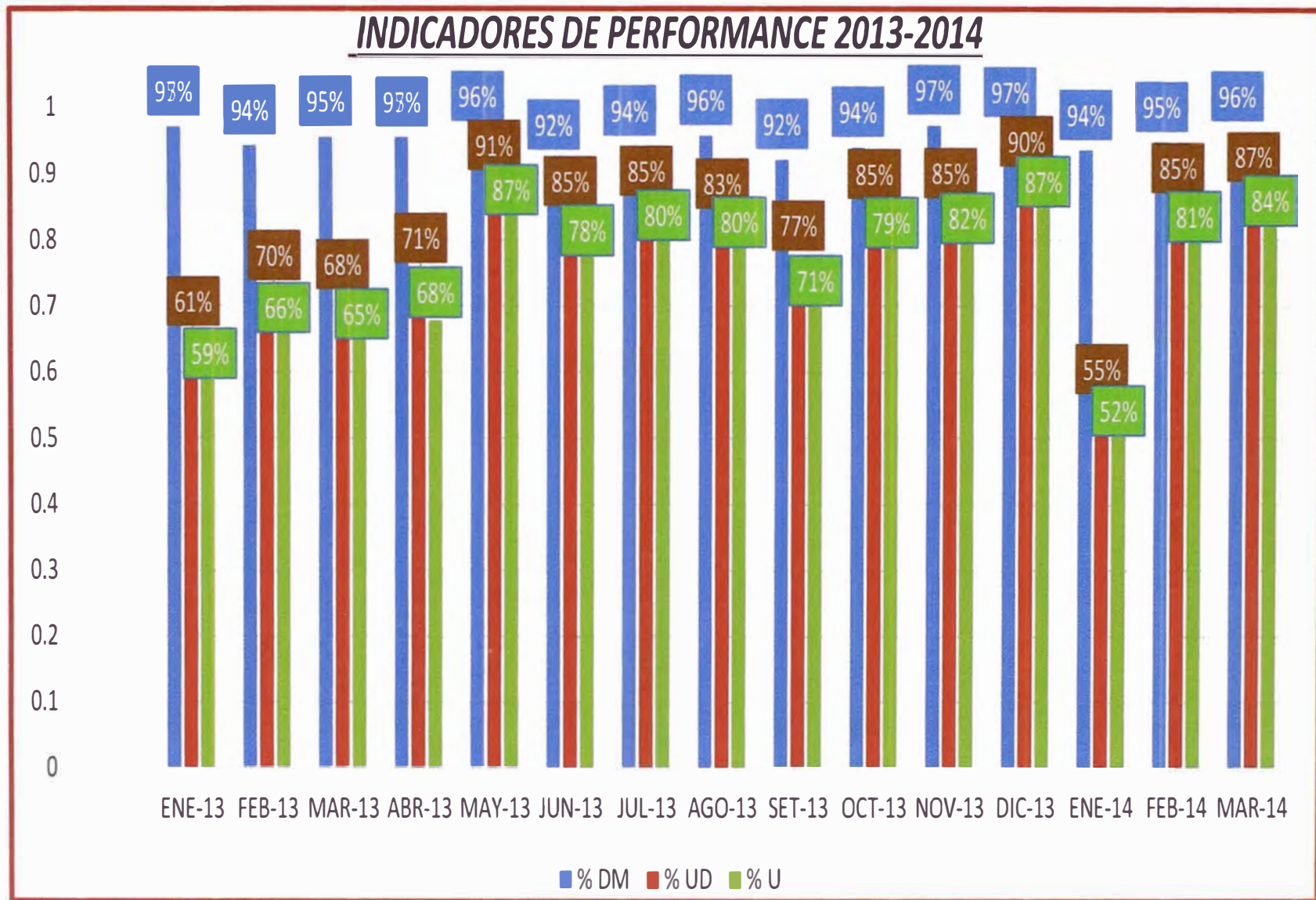


Fig. 3.3. % Disponibilidad Mecánica mensual (2013-2014)

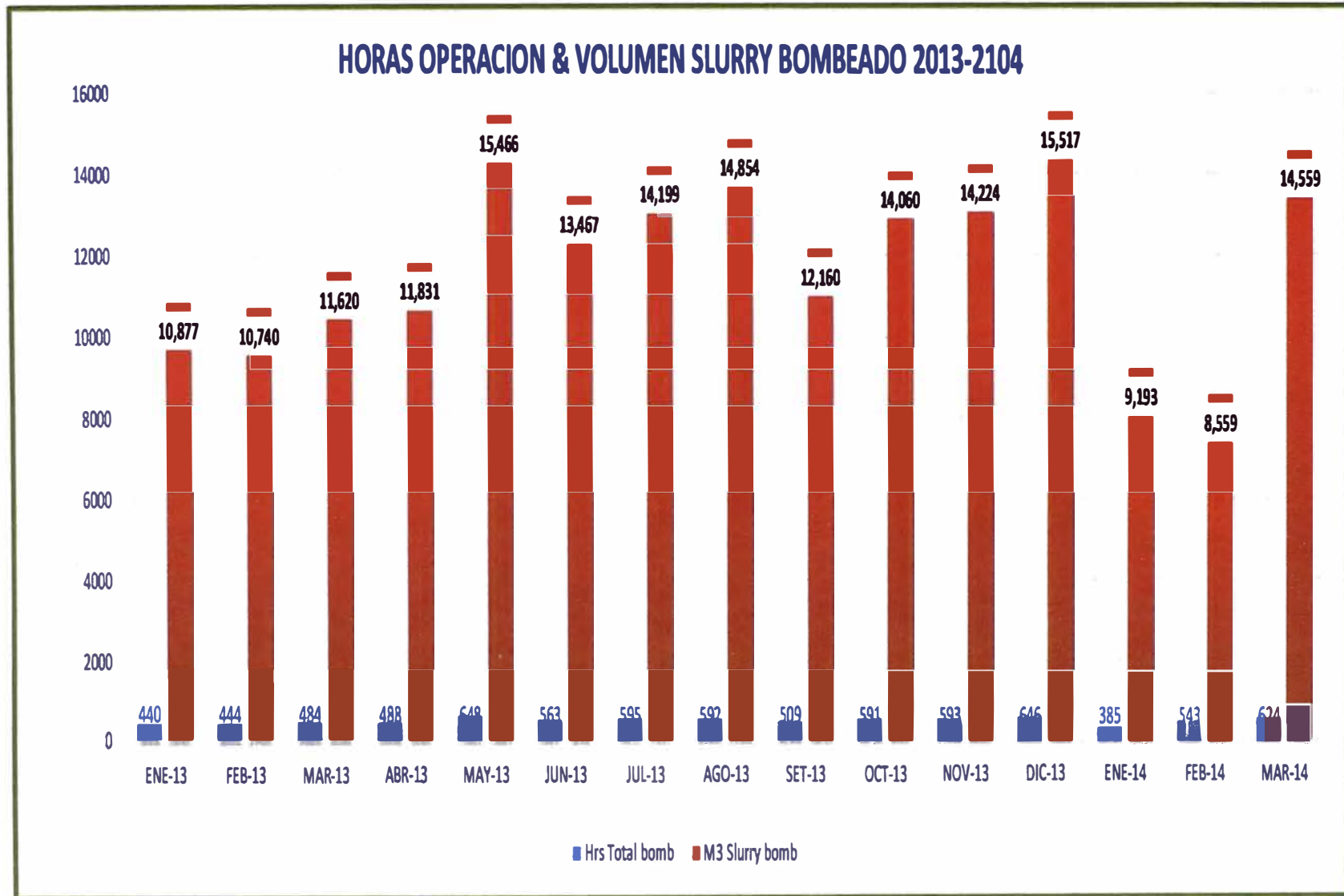


Fig. 3.4. Horas de operación y volumen de bombeo de SLURRY

### **3.4. CRITERIOS PARA DEFINIR LA CRITICIDAD DE LA BOMBA MARS**

#### **3.4.1. CONFIABILIDAD**

No todos los equipos tienen baja confiabilidad. En general los equipos más complejos que integran más sistemas, por ejemplo hidráulico, electrónico, mecánico, eléctrico y controlado por un programa que además tiene comunicación con otros equipos mediante una red, pueden tener baja confiabilidad. No olvidemos que la confiabilidad total del equipo es el producto de las confiabilidades de cada uno de los elementos que lo conforman.

#### **3.4.2. EFECTO SOBRE LA PRODUCCIÓN**

Este criterio evalúa el efecto que causa la falla en el equipo. Es importante considerar que para no traslapar el análisis debemos pensar en toda la planta cuando evaluamos lo que ocurre cuando el equipo evaluado falla. Por ejemplo, si tenemos dos chancadoras trabajando en paralelo y una para por una falla, ¿qué ocurre con la producción? Si lo vemos solo por el lado del equipo afectado, la producción se detiene por completo, lo que significa que el valor considerado tendría que ser 10; sin embargo, si pensamos en toda la planta la producción se reduciría la 50% y en ese caso el valor considerado sería 5.

#### **3.4.3. DAÑOS SECUENCIALES A OTROS EQUIPOS**

Existen equipos que están aguas abajo en la línea de producción, y cuando fallan existe la posibilidad que esto acarree problemas en otros equipos, iguales o más importantes que el equipo considerado. Por ejemplo, si un separador de metales que ha sido instalado antes del ingreso a un molino fallase, podría



generar fallas graves en el molino; por lo tanto, éste equipo, aparentemente sin importancia desde el punto de vista de la producción, adquiere una criticidad alta por la función que desempeña.

#### **3.4.4. DAÑO A LA CALIDAD**

Existen equipos en el proceso que cuando fallan se afecta en alguna medida la calidad del producto final. Por ejemplo, una falla en un separador de impurezas afecta la calidad del producto resultante cuando falle. Ese efecto se evalúa en este punto.

#### **3.4.5. DAÑOS AL OPERADOR Y/O INSTALACIONES**

Es muy importante tomar en cuenta este criterio, que evalúa lo peligroso que puede ser la falla de algunos equipos para la seguridad de los operadores e instalaciones. Por ejemplo, si un caldero presenta fallas en algunos sistemas de seguridad, puede representar un grave riesgo para operadores e instalación.

#### **3.4.6. DEPENDENCIA LOGÍSTICA**

En este punto se evalúa el componente logístico dentro de la evaluación de criticidad de un equipo. Se entiende que un equipo que no tiene repuestos en stock y que además es importado, será potencialmente más crítico de otro nacional que tenga repuestos de stock y/o tenga buen soporte de partes y piezas de manera local.

### **3.4.7. DEPENDENCIA DE MANO DE OBRA**

Es indispensable tomar en cuenta este criterio si queremos evaluar bien la criticidad de un equipo. Con la complejidad y modernidad de los equipos, generalmente viene aparejado una dependencia de mano de obra muy calificada que no siempre está a disposición de la planta.

### **3.4.8. FLEXIBILIDAD**

El diseño de la planta, y precisamente atendiendo temas de criticidad, algunas veces ya se tiene instalados equipos en stand by y/o se suele fraccionar la capacidad de producción en más de un equipo, lo que permite no afectarse o reducir las consecuencias de las fallas. En este mismo sentido también existen contingencias que reducen el riesgo de la paralización de un equipo.

### **3.4.9. AFECTACIÓN AL MEDIO AMBIENTE**

Es imposible en nuestros tiempos crear un negocio sustentable en el tiempo si no tomamos en cuenta la afectación al medio ambiente que la actividad puede originar. En minería hay muchos equipos y procesos que son potenciales agresores del medio ambiente. La contaminación física o acústica que se originan por las vibraciones y ruidos a partir de las mismas, se ha hecho patente en los últimos años por problemas fisiológicos y psicológicos que sufren los operarios y mantenedores de esta bomba, siendo el estrés y la hipoacusia los más representativos.

#### **3.4.10. FACILIDAD DE MANTENIMIENTO**

El grado de mantenibilidad de un equipo se mide en este punto. Evidentemente, si un equipo es inaccesible y toma mucho tiempo y esfuerzo sacarlo de un estado de falla, tendrá un alto calificativo en este punto.

#### **3.4.11. VALOR TÉCNICO ECONÓMICO**

Es necesario tomar en cuenta en nuestro análisis el valor técnico económico de un equipo; es decir cuanto más sofisticado y costoso es un equipo, hay que cuidarlo bien, por qué de seguro será muy caro volverlo a poner en servicio.

A continuación se muestra la Tabla 3.1. donde están los 11 criterios mencionados arriba así como los respectivos valores a asignarse para cada uno en base a al análisis correspondiente.

Efecto sobre la producción	Efecto sobre la producción	Efecto sobre la producción	Efecto sobre la producción	Efecto sobre la producción	Efecto sobre la producción	Efecto sobre la producción	Efecto sobre la producción	Efecto sobre la producción	Efecto sobre la producción	Flexibilidad	Afecta al Medio Ambiente	Facilidad de Mantenimiento	Valor Técnico Económico
Para la producción	Afecta a muchos equipos de la planta	Afecta de manera grave a la calidad de todos los productos	Puede afectar gravemente la integridad de toda la planta y del personal que labore en ella	Gran dependencia logística internacional	10	Se requiere el apoyo de personal especializado en tipo específico de maquina y para la marca considerada, con residencia muy lejanas	10	Maquina compleja, baja confiabilidad, probabilidad de falla: en el orden de días u horas	10	El equipo no tiene ninguna posibilidad de reemplazo	Afecta considerablemente al medio ambiente	El equipo se repara con muchos contratiempos, por: - La complejidad del equipo - Dificil acceso - Su MTRR es uno de los mas altos de la empresa	El equipo es muy complejo y costoso
La reduce 30%	Afecta a muchos equipos de la planta	Afecta de manera grave a la calidad de todos los productos	Puede afectar gravemente la integridad de los operadores y a las instalaciones		9	Se requiere el apoyo de personal especializado en tipo específico de maquina y para la marca considerada con residencia fuera del país (Europa)	9	Poco confiable, probabilidad de falla: 1 en un intervalo de meses	9				
La reduce 50%	Afecta a muchos equipos de la planta	Afecta a la calidad de todos los productos	Puede afectar gravemente la integridad de los trabajadores		8	Se requiere el apoyo de personal especializado en tipo específico de maquina y para la marca considerada con residencia fuera del país dentro de America	8	Poco confiable, probabilidad de falla: 1 cada trimestre	8				
La reduce 70%	Afecta a muchos equipos de la planta	Afecta parcialmente la calidad de todos los productos	Puede afectar gravemente a las instalaciones		7	Se requiere el apoyo de personal especializado en tipo específico de maquina y para la marca considerada con residencia fuera del país dentro de Sudamerica	7	Mediamente confiable, probabilidad de falla: 1 cada 6 meses	7				
La reduce 60%	Afecta a muchos equipos de la planta	Afecta de manera grave a la calidad un producto	Puede afectar la integridad de los trabajadores e instalaciones		6	Se requiere el apoyo de personal especializado en tipo específico de maquina y para la marca considerada con residencia fuera de la ciudad	6	Mediamente confiable, probabilidad de falla: 1 cada 2 años	6				
La reduce 50%	Afecta a algunos equipos	Afecta de manera importante a la calidad un producto	Puede afectar la integridad de los trabajadores	Dependencia logística nacional e internacional	5	Se requiere el apoyo de personal especializado en tipo específico de maquina y para marca considerada	5	Mediamente confiable, probabilidad de falla: 1 por año	5	El equipo puede ser reemplazado con algunas dificultades obteniendose un 50% de efectividad	Afecta al medio ambiente de manera moderada	El equipo se repara con contratiempos, por: - La complejidad mediana del equipo - Dificil acceso en algunas de sus partes - Su MTRR esta en el promedio de la empresa	El equipo es medianamente complejo y costoso
La reduce 40%	Afecta a algunos equipos	Afecta a la calidad de un producto	Puede afectar a las instalaciones		4	Se requiere el apoyo de personal especializado en tipo específico de maquina	4	Maquina confiable probabilidad de 1 falla en un periodo de 1 a 3 años	4				
La reduce 30%	Afecta a algunos equipos	Afecta parcialmente la calidad de un producto	Puede afectar levemente la integridad de los trabajadores y las instalaciones		3	Se requiere el apoyo de personal contratista	3	Maquina muy sencilla y confiable probabilidad de 1 falla en un periodo de 4 a 7 años	3				
La reduce 20%	Afecta a algunos equipos	Afecta en alguna medida la calidad de un producto	Puede afectar levemente la integridad de los trabajadores		2	Se requiere el concurso de varios tecnicos de la empresa	2	Maquina muy sencilla, muy confiable probabilidad de falla 1 por cada 7 años	2				
La reduce 10%	Afecta a algunos equipos	Puede afectar la calidad del producto	Puede afectar levemente a las instalaciones	Dependencia nacional	1	Se requiere el concurso del especialista del area de mantenimiento	1	Maquina muy sencilla, muy confiable probabilidad de falla 1 cada 10 años o mas	1				
No reduce la producción	No afecta a otros equipos	No afecta a la calidad	No afecta a los operadores ni a las instalaciones	Muy poca dependencia logística	0	Solo se requiere el personal de turno	0	Maquina muy sencilla, muy confiable probabilidad de falla: no se tienen registros	0	El equipo tiene stand by y/o puede ser reemplazado sin problemas	No afecta al medio ambiente	El equipo se repara sin mayor contratiempo, por: - La simplicidad del equipo - Facilidad de acceso - Su MTRR es muy bajo	El equipo es sencillo y no muy costoso

Tabla 3.1. Los 11 criterios para determinar el valor de la criticidad de equipos y/o máquinas.

### 3.5. PASOS PARA DETERMINAR LA CRITICIDAD DE LOS EQUIPOS

Al final, sumando todos los puntajes de una fila obtendremos el puntaje general de la máquina evaluada sobre los criterios mencionados.

Evidentemente la máquina que obtenga el puntaje más alto (que en este caso no puede exceder de 110 puntos) será la más crítica, colocando cada una en orden descendente tendremos todo el ranking hasta llegar a la de más bajo puntaje que en éste caso será la menos importante.

Para que el resultado sea consensuado se recomienda que cada una de las personas más representativas del área de producción y mantenimiento llenen este formato de manera individual, luego se hará el ranking con los

FORMULARIO DE EVALUACION DE CRITICIDAD DE EQUIPOS													
MAQUINA O EQUIPO	Efecto sobre la Produccion	Daños Consecuenciales a los Equipos	Daño a la calidad	Daño al operador (Riesgo Seguridad)	Dependencia Logistica	Dependencia Mano Obra	Confiabilidad (Probabilidad de Falla)	Flexibilidad	Afecta al Medio Ambiente	Facilidad de Mantenimiento	Valor Tecnico Económico	Total	Criticidad
1 BOMBA MARS	8	0	10	5	8	8	10	10	7	3	8	77	Predictivo

promedios.

Fig. 3.5. Determinación de criticidad de la bomba MARS por los 11 criterios.

### 3.6. CUMPLIMIENTO DEL DECRETO SUPREMO 055-2010 EM

En el Capítulo IX, Salud Ocupacional, Subcapítulo II, Agentes Físicos y en los artículos 95 y 102, así como la Guía N° 3, están establecidas las responsabilidades del titular minero con respecto a los monitoreos, límites las vibraciones que no deben excederse así como la forma de realizar las mediciones (ver apéndice).

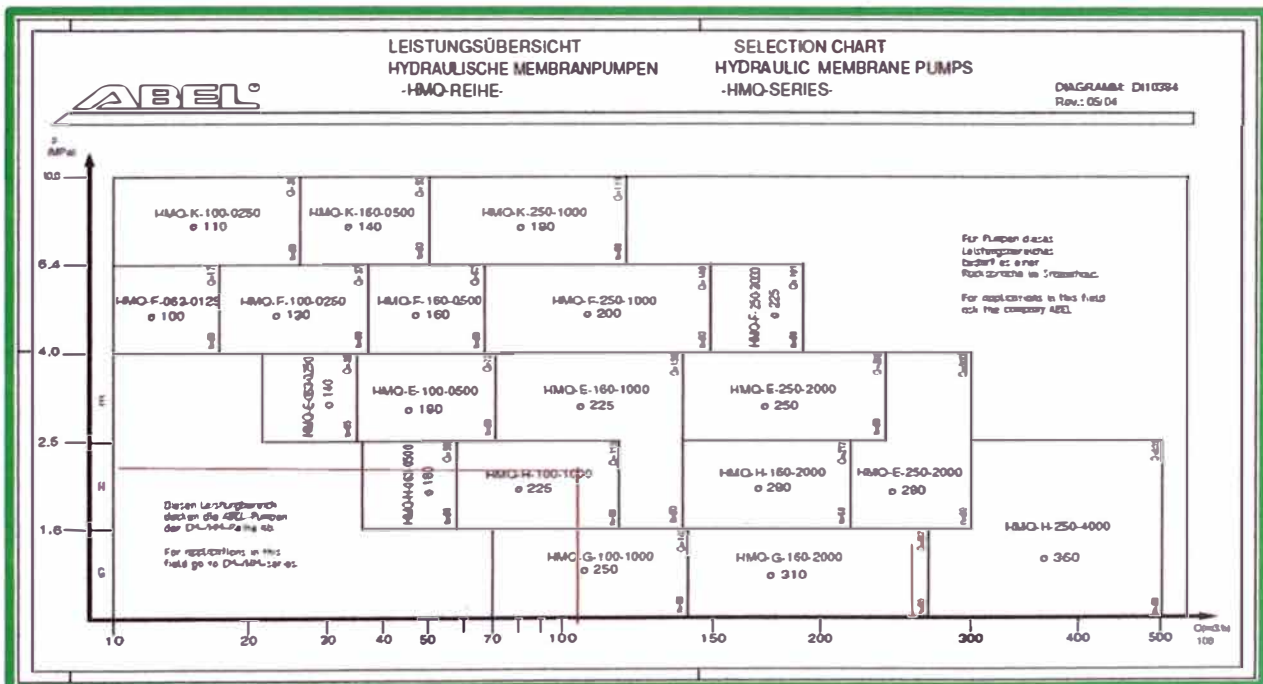
# CAPÍTULO 4

## MARCO TEÓRICO

### 4.1. BOMBAS RECIPROCANTES: BOMBEO DE RELLENO HIDRÁULICO

Las bombas reciprocantes son unidades de desplazamiento positivo que descargan una cantidad definida de líquido durante el movimiento del pistón o émbolo a través de la distancia de carrera. Sin embargo, no todo el líquido llega necesariamente al tubo de descarga debido a escapes o arreglo de pasos de alivio que puedan evitarlo. Despreciando estos, el volumen de líquido desplazado en una carrera de pistón o émbolo es igual al producto del área del pistón por la longitud de la carrera.

TABLA 4.1 Selección de bombas de relleno hidráulico (SLURRY)



Los slurry de alta concentración, no pueden ser bombeados efectivamente. Por consiguiente, pistones o émbolos son usados en tales situaciones.

Estas bombas convencionales permiten el ingreso del slurry a los cilindros de trabajo, causando desgaste extremadamente fuerte, sin hacer caso de los materiales usados.

Como resultado del trabajo de los pistones y émbolos de las bombas con slurry abrasivo, estos requieren atención frecuente, mantenimiento y reemplazos, algunas veces causando paradas de planta no programadas y costosas.

Las bombas con diafragma tienen la ventaja de ser menos propensas a desgaste excesivo, pero por virtud de su construcción, no pueden ser usadas en aplicaciones de alta presión.

La bomba MARS Mitsubishi está basada en un nuevo diseño, el cual supera completamente las limitaciones de ambas bombas pistón/cilindro y bombas de diafragma.

Las bombas MARS están diseñadas para resistir altas elevaciones y altas concentraciones. Con excepción de las válvulas, todas las partes de trabajo están libres de contacto del slurry. Consecuentemente, los costos de operación son marcadamente reducidos.

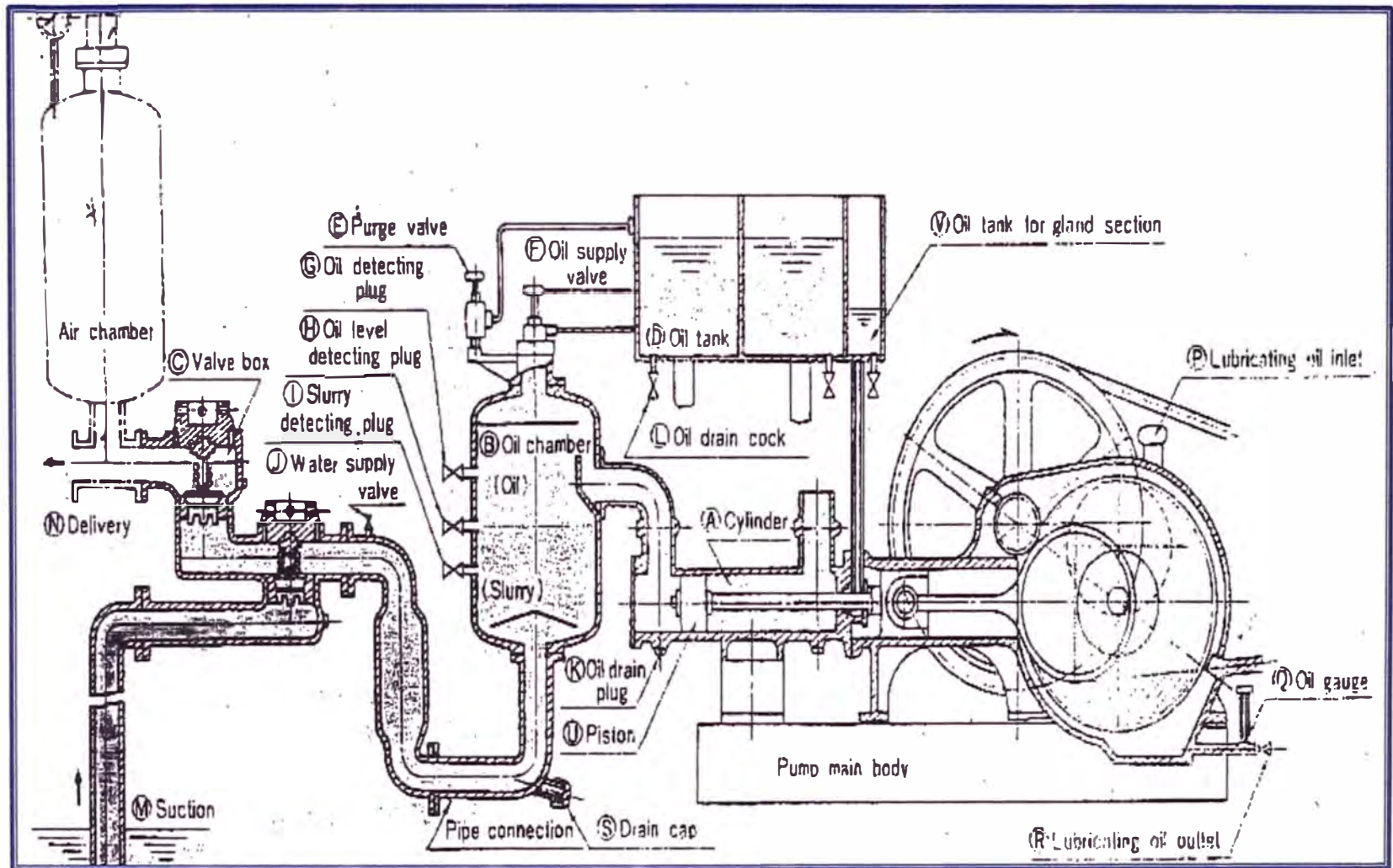


Fig. 4.1. Diagrama explicación de BOMBA MARS MITSUBISHI



Las bombas MARS tienen establecidos altos estándares de eficiencia y confiabilidad en pruebas comparativas contra bombas convencionales. Ellas también permiten intervalos más largos entre rutinas de inspección en programas de mantenimiento.

Entre el cilindro (A) y la caja de válvula (C) está la cámara vertical de aceite (B) conteniendo una cantidad fija de aceite.

El aceite y el slurry (o agua limpia) en la cámara están separada debido a la diferencia de sus respectivas gravedades específicas; el aceite ocupa la parte más alta de la cámara, la lama permanece en la parte más baja.

La cámara de aceite está construida de modo que la lama no puede penetrar dentro del cilindro de trabajo durante el bombeo o en el descanso. Esta construcción elimina la excesiva abrasión desde que el pistón y el cilindro trabajan en y con aceite. Solamente los elementos desgastables en las bombas MARS son las válvulas, que están diseñados para una fácil y rápida inspección y reemplazos.

Las bombas MARS no usan diafragmas de caucho como en las bombas de tipo diafragma, desde que las bombas para alta presión son prontamente fabricadas.

Desde que el diseño MARS interpuso una cámara de aceite entre el cilindro y la caja de válvulas, la bomba está sujeta a una más grande resistencia a la succión que la mayoría de bombas convencionales. Por lo tanto, donde la

capacidad requerida es mayor y el ciclo de bombeo excede los 50 rpm, es recomendable una operación forzada. Donde ésto no es practicable, las bombas MARS deben ser instaladas de tal forma que la resistencia a la succión sea minimizada.

#### **4.2. EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO**

El mantenimiento basado en condiciones (CMB) consiste en el control de los activos industriales a través de monitoreo de parámetros representativos del rendimiento y condiciones de un equipo. Esta estrategia supone la definición de un rango aceptable de operación para cada parámetro observado y el monitoreo de su valor instantáneo o periódico según sea necesario. El mantenimiento se realiza cuando una variable de control presenta valores que exceden los límites aceptables de operación, y no necesariamente en respuesta de una detención o falla verificada en el equipo.

Un aspecto importante es que se puede definir distintos estado de rendimiento dentro del rango aceptable de operación, lo que permite realizar un seguimiento y predecir la condición futura del equipo. En este caso, estaríamos en presencia del Mantenimiento Predictivo, ya que a diferencia de la "según condición", en que la intervención se realiza cuando se alcanza un nivel crítico establecido.

En el predictivo, a través del comportamiento de una variable en el tiempo, es posible moldear y predecir la condición futura y así decidir el tiempo para la intervención.

Esta estrategia es aplicable a modos de falla críticos cuyo costo de falla justifica una inversión efectiva en equipamiento, si está disponible, y personal para el control de los procesos productivos por sobre estrategias de mantenimiento tipo preventivo.

En esta estrategia de mantenimiento se evalúa la condición mecánica de la máquina, y cómo esta condición va evolucionando en el tiempo a través del análisis de diversos síntomas que la máquina emite al exterior mientras ella está operando. En base a esto se programan las necesidades de mantenimiento cuando se detecta un problema en ella. Las ventajas básicas de esta estrategia son:

- i. Solo se detiene la máquina cuando sea estrictamente necesario, evitando las fallas prematuras que se generan en toda puesta en operación.
- ii. Extensión del intervalo entre mantenimientos programados en forma segura. La condición de la máquina se conoce en todo momento, y la máquina se puede detener justo antes que la falla llegue a ser peligrosa.
- iii. La detección incipiente de la falla evita reparaciones de alto costo e inoportuna, y eventuales efectos graves o catastróficos.
- iv. El intervalo de partes de repuestos que es necesario mantener en bodegas es menor que para otras estrategias de mantenimientos, pues al conocerse con anticipación el tipo específico de falla que está desarrollando la unidad se puede planificar con tiempo su adquisición.
- v. Disminuye el valor de las primas de seguro que las empresas contratan para sus máquinas críticas. El seguro cobra menos en una máquina que está protegida por un sistema de monitoreo continuo que en otra que no

lo tenga. Cuando cierto síntoma que va midiendo continuamente son peligrosos para la integridad de la máquina, el sistema de monitoreo la va a detener en forma automática, evitando que se llegue a una falla catastrófica.

El mantenimiento predictivo es análogo a la medicina actual en las personas. Auscultando los síntomas que la máquina emite al exterior, se quiere determinar su condición mecánica (o salud). El mantenimiento predictivo está basado en el análisis de vibraciones más el análisis de aceites usado, de ondas de alta frecuencia (SPM, ultrasonido, emisiones acústicas), corriente eléctrica, ruido, presión dinámica y termografía.

Las metas u objetivos que se espera conseguir con la implementación de una estrategia de mantenimiento predictivo son las siguientes:

## **1. VIGILANCIA DE MÁQUINAS**

La hipótesis básica en la vigilancia de máquinas es suponer que existen magnitudes físicas medibles o calculadas, las cuales definen las condiciones mecánicas de la máquina. La forma básica de vigilancia es llevar un gráfico de tendencias de estas magnitudes. Cuando en estas magnitudes se generan cambios mayores a los que generan las variaciones de las condiciones de operación de la máquina, este cambio se asocia a un cambio en las condiciones de operación de la máquina. De normas de severidad existentes para algunos casos, y/o de la experiencia con otras máquinas similares, se definen valores de alarma o alerta y valores de peligro.

El éxito de un sistema de vigilancia de máquinas, indudablemente, va asociada con la correcta elección de los síntomas que se va a controlar, y con la correcta elección de los valores de alarma y peligro.

Para estructurar un programa de vigilancia de máquinas se debe seleccionar las fallas que se desean controlar en cada máquina específica, y determinar entonces que síntomas monitorear para detectarlas en la forma lo más rigurosa y segura posible.

En muchas industrias aún se usa, erróneamente, el procedimiento inverso, es decir, se compra un sistema de vigilancia y después se interiorizan los síntomas que son capaces de monitorear.

## **2. DIAGNÓSTICO DE FALLAS**

Cuando se produce un problema en una máquina, algunos de los indicadores utilizados en su vigilancia cambian de valor. El paso siguiente es poder diagnosticar cuál es la falla específica que se ha generado. A diferencia de las técnicas de vigilancia de máquinas, las cuales una vez definidas funcionan automáticamente, el uso de las técnicas de diagnóstico requiere expertez del usuario.

## **3. PRONÓSTICO DE ESPERANZA DE VIDA**

Para estimar cuánto tiempo puede seguir trabajando una máquina sin riesgo para ella, una vez detectado un problema, se utilizan dos métodos:

- ❖ Método en base al análisis estadístico de datos. Una vez detectado un problema a través del aumento de una magnitud, se proyecta la tendencia en base al aumento, así como el tiempo en que alcanzará el valor de peligro.
- ❖ Método en base a la física de cada problema en particular. Este método consiste en evaluar el riesgo que se corre una vez diagnosticado el problema específico.

### **4.3. VIBRACIONES MECÁNICAS**

En su forma más simple, una vibración mecánica es un movimiento oscilatorio (de un lado hacia otro) de una máquina, de una estructura, o de una parte de ellas, alrededor de su posición original de reposo (o de equilibrio).

La Fig. 4.2. muestra una caja de rodamientos de una máquina la cual tiene vibraciones mecánicas. En la práctica, para medir las vibraciones se instala un sensor o transductor de vibraciones fijo a la caja del rodamiento. El transductor de vibraciones está rígidamente unido a un punto de la superficie externa del cojinete de la máquina, y por lo tanto, se mueve de la misma forma que él, y mide el movimiento de ese punto. Si la superficie del cojinete se mueve o vibra hacia arriba y hacia abajo significa que el cojinete o su unión a la base es elástica para permitir esos movimientos.

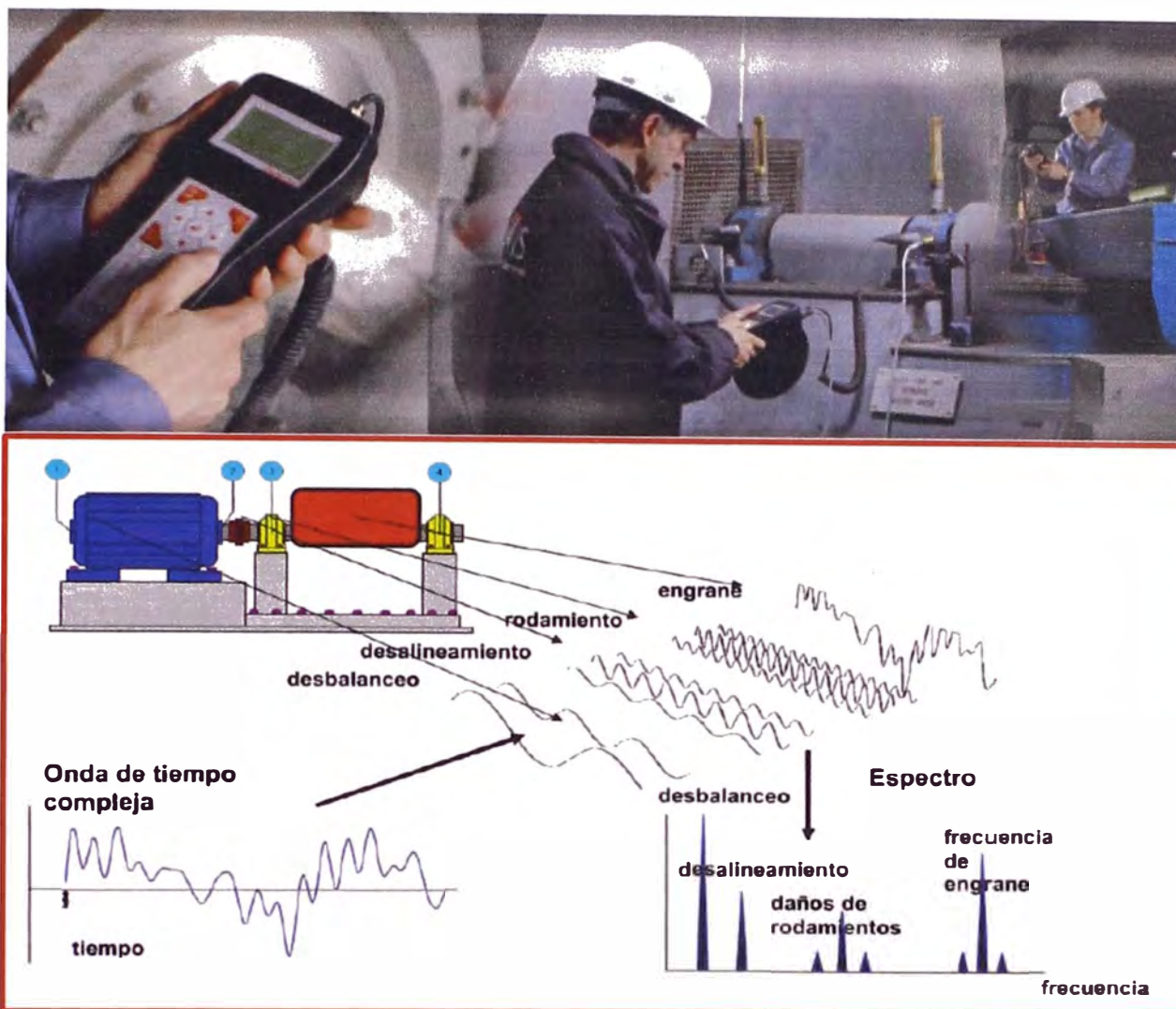


Fig. 4.2. Movimiento vibratorio de las cajas de rodamientos de una máquina

#### 4.4. VIBRACIÓN GLOBAL O TOTAL

Rara vez, la vibración de una máquina es armónica simple (forma de onda senoidal). Lo más probable es que su forma sea compleja, como se ilustra en la Fig.4.2. Esto se debe a que al sensor de vibraciones le llegan simultáneamente vibraciones que provienen de diferentes causas y el sensor capta entonces la suma de ellas. En esta figura se observa que al sensor de vibraciones ubicado en los descansos de la máquina, llegan simultáneamente vibraciones provenientes de cuatro diferentes.

La señal captada por el sensor de vibraciones es la suma de estas vibraciones que llegan a él, y se llama la vibración global (suma) o total, y las vibraciones que la componen se llaman componentes. Esta vibración global sirve para evaluar la severidad vibratoria, como veremos más adelante, pero no sirve para diagnosticar la causa de las vibraciones. Para esto último, se necesita separar las vibraciones que componen la vibración global. Esto es lo que hacen los analizadores de vibraciones cuando calculan el espectro vibratorio.

### **Medición de la vibración global: valor pico, pico a pico y RMS**

Diferentes magnitudes son utilizadas para medir el desplazamiento, velocidad o aceleración vibratoria. La Fig. 4.3. resume y define las magnitudes más utilizadas.

El valor pico es el más adecuado cuando se quiere medir vibraciones de naturaleza impulsiva o cuando se quiere evaluar la sobrecarga que generan las vibraciones del rotor en los descansos hidrodinámicos (ver ISO 7919).

El valor pico a pico es usado cuando medimos desplazamientos relativos, por ejemplo, de un muñón dentro de un descanso hidrodinámico. En este caso, el valor pico a pico representa la excursión del muñón dentro del descanso, y debe compararse directamente con el juego diametral existente. El valor pico mide el valor de la vibración en un solo instante (ocurre cuando el valor es máximo) y el valor pico a pico mide la diferencia de valores entre dos instantes (cuando ocurren los valores máximo positivo negativo). Ambos valores no toman en cuenta el historial de la vibración durante el cual se producen estos valores instantáneos. El valor RMS (Root Mean Square), de acuerdo a su



definición, toma en cuenta todo el historial de la vibración durante el tiempo en que se está realizando mediciones. Como se verá posteriormente, este valor es una medida de la potencia de la vibración, y es usada como para estimar la severidad de las vibraciones.

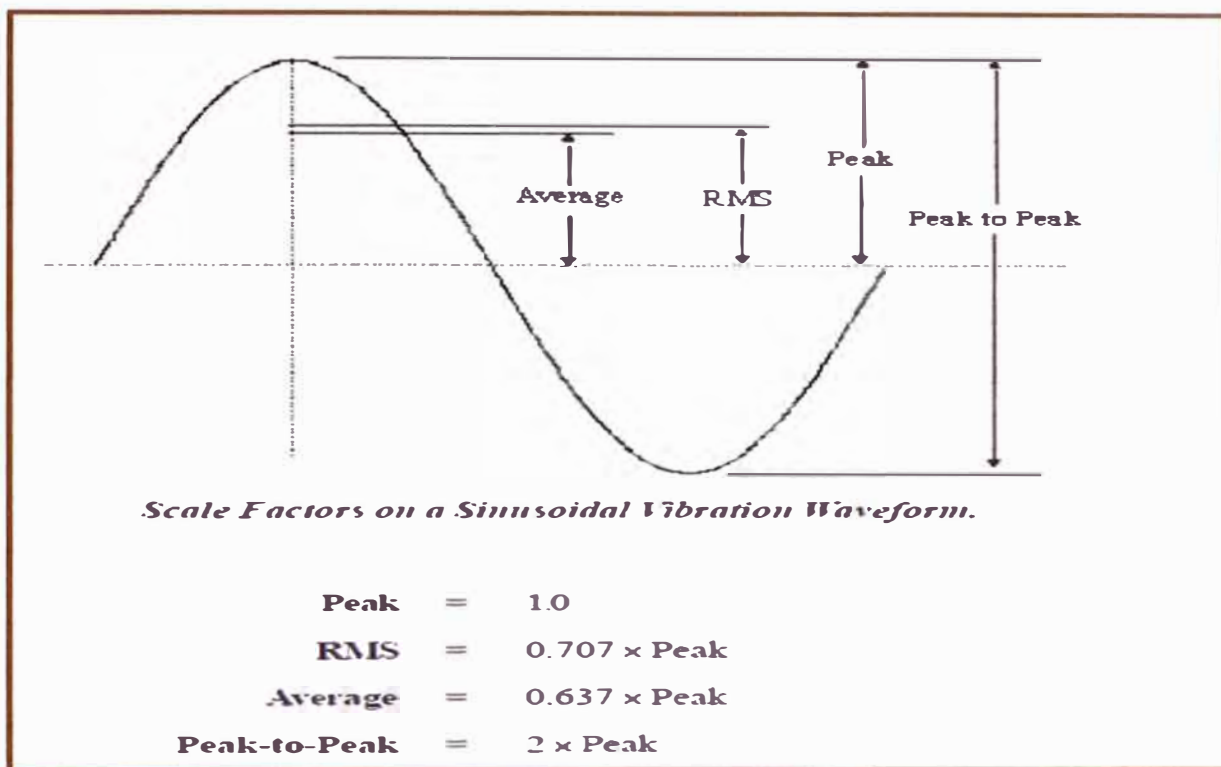


Fig. 4.3. Magnitudes utilizadas para para las vibraciones

La **vibración** es el indicador que mejor caracteriza el estado de salud de la máquina. Si bien la medición de las vibraciones globales constituye un buen punto de partida para la detecciones de defectos, se puede obtener mucha más información mediante un análisis espectral, que permite una identificación precoz del defecto y su diagnóstico.

Los dos defectos más comunes asociados a las máquinas rotativas son el desbalance y la desalineación. El desbalance genera una vibración principalmente radial y axial; esto es, una componente radial al doble de la

velocidad del eje, además de un alto nivel de vibración axial a la velocidad del eje.

Se pueden producir algunos tipos de desalineación a causa de acoples desalineados o por ejes torcidos (curvaturas de eje). Las desalineaciones marcadas pueden producir el fenómeno de inestabilidad subsincrónica a causa de la disminución de la carga en el rodamiento lubricado. Dicha inestabilidad puede ser un síntoma indirecto de la desalineación y su sentido. Los espectros que contienen, además de las frecuencias del eje, las distintas armónicas superiores de la velocidad del eje pueden producirse por:

- Eventos que se producen varias veces en cada vuelta ( giro de las bolas o rodillos en el canal de un rodamiento , contacto entre los dientes de engranajes, paso de las paletas de una hélice frente a un chorro, etc.
- Distorsión de una señal.
- Condiciones no lineales (juego causado por afloje de pernos y deslizamientos).

En el caso de un eje agrietado se aprecia sobre todo un aumento de la vibración para la frecuencia de rotación y para la segunda armónica. Las vibraciones de torsión son muy buenos indicadores de la formación de grietas.

Las frecuencias armónicas de la frecuencia de red indican la presencia de **problemas de origen eléctrico**.

Los múltiplos no enteros de la velocidad del eje pueden originarse, por ejemplo, en las transmisiones de fajas o engranajes.

El desbalance puede ser causado por un balanceo incorrecto, por inflexión del eje a causa de dilataciones térmicas, por deformación del rotor o por fuerzas magnéticas. Genera una componente radial a la velocidad del eje y una componente axial a la misma frecuencia. Considerando que hay dos soportes en los extremos opuestos del eje, los componentes axiales a su velocidad están en fase (suponiendo que el rotor es rígido). Nótese que si la medición de la fase se lleva a cabo con un analizador de un solo canal, es decir con adquisición no simultánea, se presentan problemas porque puede ser que la velocidad del rotor haya cambiado. Se requiere contar con más de una canal; es decir, se deben efectuar dos mediciones comparando las fases de las señales con una referencia (keyphasor) en el eje (una muesca en el eje o una tira con cinta adhesiva reflectante).

La desalineación puede producirse por asentamiento de los cimientos, por dilataciones térmicas, por impulsos transmitidos por tuberías. El nivel de vibraciones producidas no depende tanto de la magnitud de la desalineación como de la tendencia a absorberla de las dos máquinas acopladas; la desalineación varía con la velocidad de eje, con el momento transmitido, y en consecuencia con cualquier causa que haga variar la rigidez del acople. Se pueden usar juntas flexibles para reducir los efectos de la desalineación. La desalineación genera un componente radial al doble de la velocidad del eje y un componente axial a la velocidad del eje.

Considerando dos soportes en los extremos opuestos al eje, las componentes axiales a la velocidad del eje están en oposición de fase (Fig. 4.4.), a diferencia de lo que ocurre en el caso de desbalance. Alteraciones debidas a la dinámica de la máquina podrían conducir a lecturas de valores de fase desplazados en  $20^\circ$  ó  $30^\circ$  respecto del valor teórico de  $180^\circ$ . Nótese que este tipo de comprobación no es válido en dirección radial, porque la fase del desequilibrio puede ser respectivamente  $0$  ó  $\pi$ , según si el desequilibrio es de tipo estático (la fuerza resultante en el centro de gravedad está equilibrada por fuerzas concordantes en los rodamientos) o de tipo torque (el torque está por reacciones discordantes, o sea con la fase  $\pi$  en los rodamientos).

La inestabilidad subsincrónica es típica de los rotores montados en rodamientos lubricados, y genera una vibración principalmente radial a una frecuencia que está comprendida entre el 35% y el 50% de la frecuencia de rotación del eje.

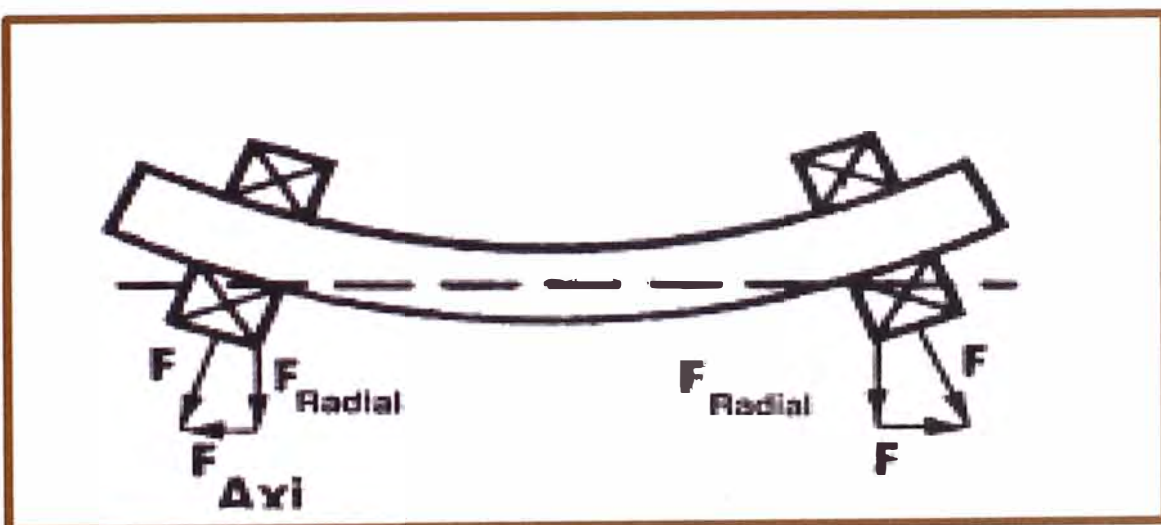


Fig.4.4. Eje desalineado

Se debe a un movimiento vortiginoso del lubricante en el rodamiento, a variaciones en juego entre eje y buje, a contactos entre el eje y el buje, lo que genera un movimiento de precesión en la trayectoria de la espiga (concordante con la rotación de la espiga en el primer y tercer caso, discordante en el segundo). Se puede identificar mediante el análisis de frecuencia o mediante la visualización de la órbita de la espiga. La señal detectada en el dominio del tiempo es generalmente pequeña, modulada en amplitud, a menudo identificable en el dominio de frecuencia por las bandas laterales.

En el caso de vórtices de aceite, la frecuencia de la inestabilidad subsincrónica es de aproximadamente un 48 % de la frecuencia de rotación del eje. Las causas de la inestabilidad son esencialmente una desalineación o un mal montaje del rodamiento; se puede reducir variando la carga o reduciendo la velocidad de rotación de la máquina. Si la causa es un mal diseño, se puede intentar introducir una desalineación que aumente la carga sobre el rodamiento inestable o cambiar el rodamiento.

**Las juntas flojas** producen un comportamiento no lineal, de modo que se producen picos en la frecuencia de eje y en sus armónicas.

**Los restregamientos** entre piezas fijas y móviles producen muchas componentes de alta frecuencia. Las formas de onda en el dominio del tiempo pueden presentar achatamientos.

Las vibraciones de origen electromagnéticos son un elemento muy importante en las máquinas eléctricas. Entre otras cosas, se reconocen porque al

cortar el suministro eléctrico de la máquina los fenómenos electromagnéticos desaparecen de inmediato, mientras que los mecánicos se van atenuando a medida que disminuyen las revoluciones. El campo magnético giratorio genera fuerzas alternas; se produce una vibración a  $p$  veces la frecuencia de red ( $p$  = número de polos) que se denomina frecuencia de paso de los polos. Dicha fuerza es proporcional al cuadrado de la corriente; de ello se desprende que la vibración está estrechamente ligado a la carga.

En el caso de máquinas asíncronas con dos polos, la frecuencia de rotación y la de red están muy próximas, de modo que se producen pulsaciones. En las máquinas sincrónicas no se producen, por supuesto, pulsaciones causadas por el desplazamiento.

Por efectos de las excitaciones mencionadas, puede ser que una pieza de la máquina entre en resonancia. Si ello se produce en una hélice o una rueda de paletas, el problema es muy serio y puede ocasionar daños catastróficos; si en cambio se produce en tuberías, paneles de instrumentos, etc., se puede resolver el problema con más facilidad, por ejemplo, agregando elementos que aumenten la rigidez.

Las turbomáquinas centrífugas (turbinas, bombas, compresores, sopladores, ventiladores) generan componentes:

- A la frecuencia de rotación del eje (desbalance);
- Al doble de la frecuencia rotación del eje (desalineación);
- En las armónicas ( $1/5$ ) de la frecuencia de rotación del eje (juntas flojas);

- A las frecuencias VPF (Vane Passing Frequency), es decir, a la frecuencia de rotación del eje multiplicada por el número de intersticios entre paletas; habrá tantas frecuencias VPF como números de paletas fijas y móviles;
- En las armónicas de las frecuencias VPF (distorsión de la señal debida al estado de las paletas).

Las máquinas hidráulicas presentan espectros bastante simples que no se ven afectados significativamente por las condiciones de funcionamiento. En máquinas a gas sucede todo lo contrario.

Las turbomáquinas axiales (turbinas, compresores, sopladores, ventiladores) generan componentes:

- A la frecuencia de rotación del eje (desbalance);
- Al doble de la frecuencia de rotación del eje (desalineamiento);
- En las armónicas (1/5) de la frecuencia de rotación del eje (juntas flojas);
- En las frecuencias BPF (Blade Passing Frequency), es decir, en la frecuencia de rotación del eje multiplicada por el número teórico de paletas (aquellas que falten por parcialización generan armónicos, y afectan la amplitud de la armónica en la frecuencia BPF como el número de paletas fijas y móviles;
- En las armónicas de la BPF (parcialización, distorsión de la señal);
- En las frecuencias correspondientes a la suma y a la diferencia de la BPF y sus armónicas con la frecuencia de eje (modulaciones vinculadas al estado de las paletas).

El espectro es más complejo que el de las máquinas centrífugas, especialmente en las altas frecuencias. Las máquinas a vapor y a gas presentan también en este caso espectros más complejos que las máquinas hidráulicas, y se ven muy afectadas por las máquinas alternas (motores, bombas y compresores), por la gran cantidad de piezas móviles, originan espectros muy complejos, típicamente con componentes:

- A la frecuencia de rotación del eje;
- Al doble de la frecuencia de rotación del eje;
- En las armónicas (1/5) de la frecuencia rotación del eje (aflojes);
- En las frecuencias correspondientes a fenómenos repetitivos, como la abertura y el cierre de válvulas.

En los reductores de engranajes, en el caso de partes rotantes ordinarias (ejes fijos), siendo  $i$  la razón de transmisión,  $\omega_1$  y  $\omega_2$  las velocidades angulares de entrada y de salida,  $z_1$  y  $z_2$  el número de dientes, se tiene:

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{z_1}{z_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

$N_1$  y  $N_2$  son las velocidades angulares expresadas en vueltas/segundo donde se originan los siguientes componentes:

- A la frecuencia de entrelazado de los dientes GMF (Gear mesh frequency)  $z_1 N_1 = z_2 N_2$ ; en general, es la componente de



máxima amplitud, y está rodeada por bandas laterales. La GMF expresa el número de contactos entre dientes por segundo;

- A las frecuencias armónicas de la GMF;
- A las frecuencias de coincidencia (Tooth repeat o Hunting tooth frequency), aquella para la cual un defecto en un diente se encuentra con un defecto en el diente del otro engranaje. A partir del instante inicial en que los dos defectos se encuentran en contacto, el segundo contacto entre los mismos defectos se producirá cuando los engranajes hayan efectuado un número entero de vueltas, respectivamente  $k_1$  y  $k_2$ , tales que:

$$k_1 = \left[ \frac{Z_1}{Z_2} \right] k_2$$

es decir, la razón entre el número de vueltas por segundo del engranaje lento y el número de dientes del piñón.

Dicha frecuencia es muy baja, pero se vuelve a encontrar en las frecuencias mayores bajo la forma de bandas laterales de la GMF que por efecto de la modulación que se produce:

- A la frecuencia de rotación del eje (desbalance);
- Al doble de la frecuencia rotación del eje (desalineación);
- En las armónicas (1/5) de la frecuencia de rotación del eje (aflojamiento);
- En las frecuencias intermedias entre la frecuencia de rotación del eje y la GMF (resonancia);

- A la frecuencia fantasma, que corresponde a errores en el engranaje guía utilizado en la fabricación del engranaje. Los componentes fantasmas (como otros errores geométricos), a diferencia de las armónicas provocadas por las deformaciones de los dientes, tienden a disminuir a medida que aumenta el desgaste.

Las transmisiones, Fig. 4.5., con correas generan excitaciones:

- Por la presencia de defectos localizados en las correas;
- Por vibraciones transversales de los brazos libres de las correas.

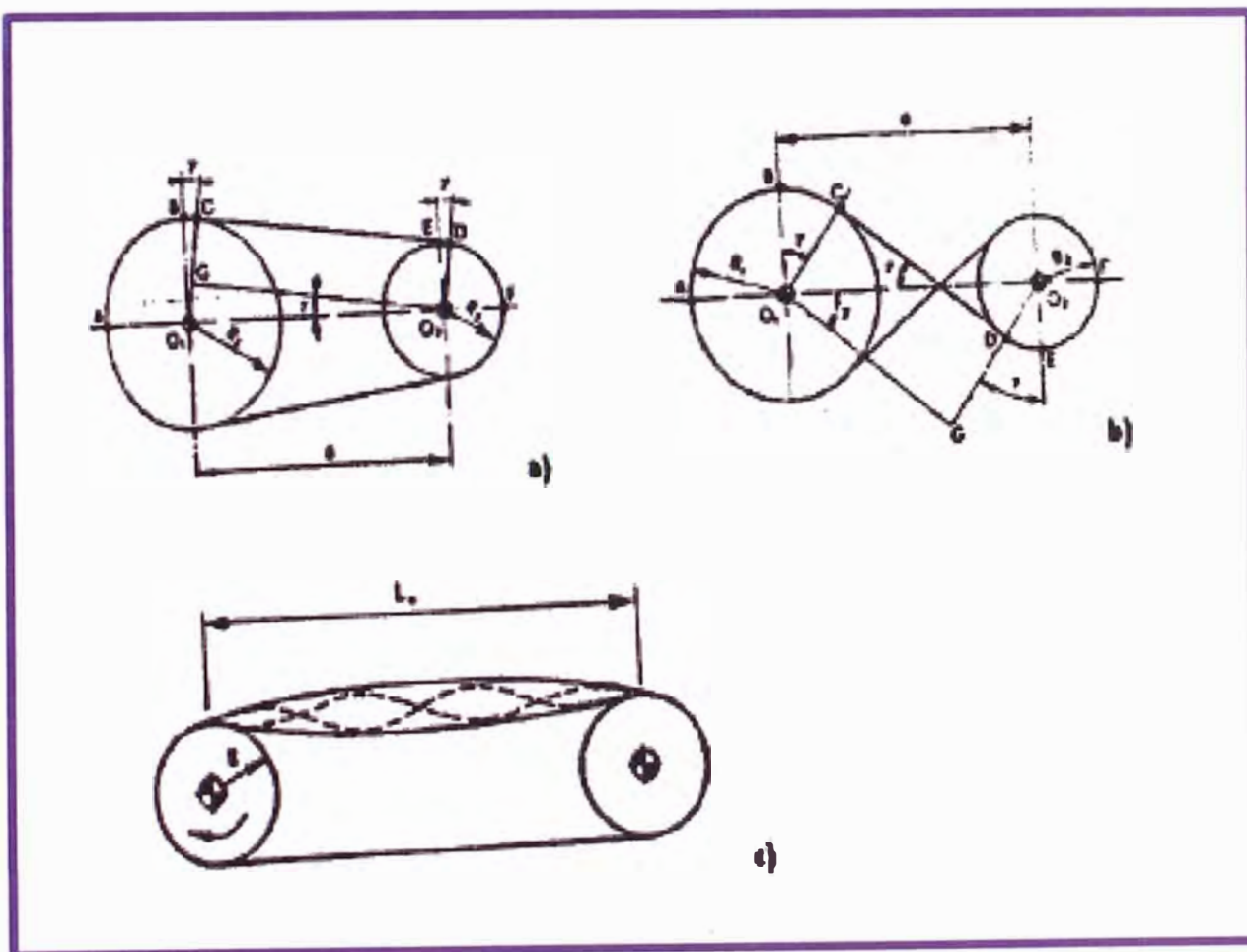


Fig.4.5. Fajas de transmisión

El primer caso se produce cuando en una sección de la correa hay un defecto de elasticidad (una juntura, una irregularidad superficial, un corte, etc.), una correa que haya estado mucho tiempo doblada también puede producir este tipo de vibraciones hasta que no se haya asentado

En el dominio del tiempo el defecto da origen a un tren de impulsos cuya duración aumenta al aumentar la longitud del defecto, y disminuye al aumentar la velocidad de rotación. El espectro está compuesto por  $f_c$  y sus armónicas.

Si la longitud de la correa es exactamente un múltiplo entero de la circunferencia de una polea, un defecto de la correa dará un impulso en un mismo punto a la polea en cada vuelta; la polea se comporta como si estuviera desbalanceada, sin estarlo. La solución es modificar la distancia entre ejes o el diámetro.

#### **4.5. MEDICIÓN DE VIBRACIONES: TÉCNICAS Y NORMAS**

##### **4.5.1. COMPOSICIÓN DE UNA CADENA DE MEDICIÓN**

La Fig.4.6. muestra las etapas seguidas para medir y analizar una vibración. Dependiendo de los instrumentos que se usan para ello, algunas de estas etapas pueden ser refundidas en una sola. La primera etapa es la transducción, donde el sensor o transductor de vibraciones transforma la vibración mecánica a medir (ruido, presión, desplazamiento, velocidad, aceleración, etc.) en una señal eléctrica que es proporcional a la magnitud medida. La siguiente etapa es la de acondicionamiento de la señal

eléctrica. Algunas señales entregadas por los sensores no pueden ser introducidas directamente. Por ejemplo, a un medidor de vibraciones, necesitan primero ser acondicionadas primero. Por ejemplo, la señal de un acelerómetro es necesario amplificarla con el objeto que tenga la potencia suficiente para mover una aguja indicadora y disminuirle su impedancia, de manera que al conectarla al medidor no varíe su valor.

Una vez que la señal está acondicionada se pasa a la etapa de procesamiento de ella. Procesar una señal consiste en sacar de ella el máximo de información posible.

Hoy en día existen decenas de formas de procesar una señal, de acuerdo al informe que se quiera obtener. En este capítulo veremos solo dos procesamientos básicos de ella:

- Medir su valor pico, pico a pico o RMS con un medidor de vibraciones.
- Obtener su contenido frecuencial o espectro a través de un analizador de vibraciones.

Finalmente se tiene la etapa de registro, la cual puede realizarse a través de un computador o en gráficos obtenidos por una impresora o plotter.

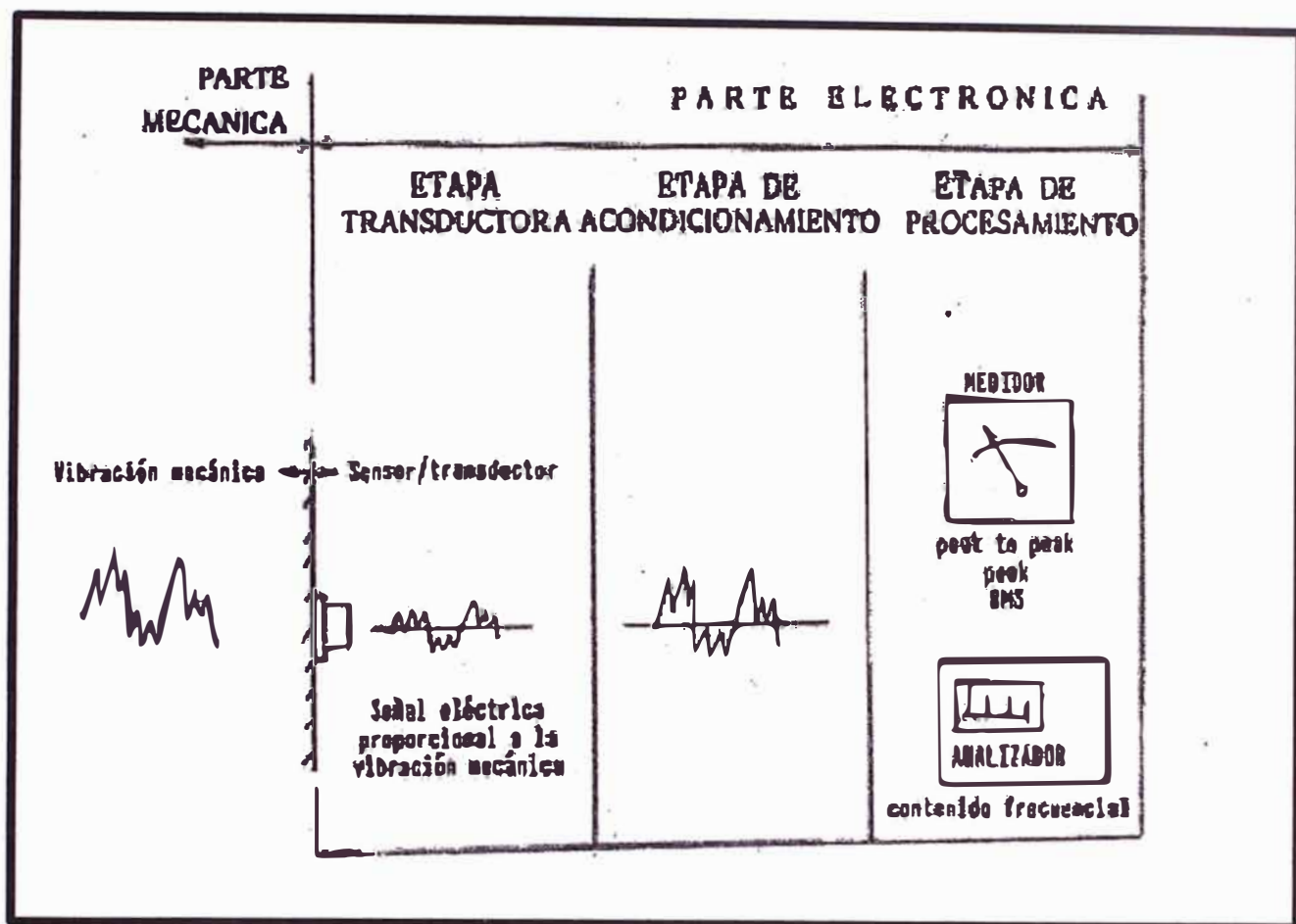


Fig.4.6. Esquema de la composición de una cadena de medición

#### 4.6. REFERENCIAS DE NORMAS PARA MONITOREO Y ANÁLISIS DE VIBRACIONES.

Las normas son criterios establecidos por autoridades, costumbre o consenso general. Una buena referencia de las normas representan un amplio consenso de opiniones entre usuarios, y es por lo tanto ampliamente aceptado y aplicado. Además, las normas deben ser claras, concisas y fácil de entender.

Existen numerosas normas para guiar o gobernar el monitoreo y análisis de vibraciones, incluyendo algunos que establecen clasificaciones para vibraciones de máquinas, cómo deben ser hechas las mediciones y cómo deben ser analizados los datos adquiridos.

Las normas son acuerdos documentados que contienen especificaciones técnicas u otros criterios precisos para ser usados consistentemente como reglas, o definición de características para asegurar que los materiales, productos, procesos y servicios son aptos para sus propósitos. Una buena norma representa consenso de opiniones, fácil de usar, y no contiene ambigüedades o agujeros.

En el campo de monitoreo y análisis de vibración de maquinarias, una variedad de normas relevantes son desarrolladas y publicadas por ISO. La mayoría de las normas ISO para monitoreo y análisis de vibraciones en maquinarias son guiadas por el comité técnico TC108, Vibraciones y Choque Mecánico.

El alcance declarado de TC108 es "NORMAS EN EL CAMPO DE VIBRACIONES Y CHOQUES Y MONITOREO Y DIAGNOSTICOS DE CONDICIONES DE MAQUINAS", incluyendo:

- Terminología.
- Excitación por fuente, tal como máquinas y dispositivos de ensayos de vibraciones y choques.
- Eliminación, reducción y control de vibraciones y choques, especialmente por balanceo, aislamiento y amortiguación.
- Medición y evaluación de la exposición humana a vibraciones y choques.
- Métodos y medios de medición y calibración.
- Métodos de ensayos.

- Métodos de mediciones, manipulación y procesamiento de datos requeridos para desarrollar monitoreo y diagnóstico de condiciones de
- máquinas.

#### **4.6.1. NORMAS ISO PARA EVALUACIÓN DE SEVERIDAD DE LA VIBRACIÓN**

Las normas de evaluación de severidad de la vibración son consideradas una de las más importantes actividades de ISO / TC 108. Desafortunadamente, debido al rango de categorías y clasificaciones de maquinarias, puede ser además lo más confuso. Una amplia variedad de normas publicadas describe límites aceptables de vibración, incluyendo la serie ISO/7919 (5° parte) "*Vibraciones Mecánicas de Máquinas no Reciprocantes - Mediciones en Ejes en Rotación y Criterios de Evaluación*" y la serie ISO/10816 (6° parte) "*Vibraciones Mecánicas – Evaluación de Vibraciones de Máquinas por Medición en Partes no Rotantes*".

Tal como está detallado en la Tabla 4.5, ISO 7919-1 es el documento base de los requerimientos generales para medición y evaluación de vibración de maquinarias usando mediciones en el eje. Similarmente, ISO 10816-1 es el documento base que describe los requerimientos generales para evaluación de vibraciones de maquinarias usando mediciones en fundas/carcazas y/o en las cimentaciones. Las partes subsiguientes de cada serie de documentos aplicados a diferentes clases y tipos de maquinarias, e incluyendo criterios específicos de evaluación usados para medir la severidad de la vibración.

Los procedimientos de evaluación en las series de normas ISO/7919 e ISO/10816 están limitadas a mediciones de banda amplia, sin referencias a los componentes o fases de frecuencias. Los procedimientos de medición están

detallados en la parte 1: normas generales de cada serie, incluyendo mediciones de vibración en eje relativo, eje absoluto y pedestal.

Tabla 4.2 Normas ISO para evaluación de la severidad de la vibración

<b>ISO 7919 Series</b>	<b>Mechanical vibration of non-reciprocating machines - Measurement on rotating shafts and evaluation criteria</b>
7919-1:1996	Part 1: General Guidelines
7919-2: 2001	Part 2: Land-based steam turbines and generators in excess of 50 MW with normal operating speeds of 1500 r/min, 1800 r/min, 3000 r/min and 3600 r/min
7919-3: 1996	Part 3: Coupled industrial machines
7919-4: 1996	Part 4: Gas turbine sets
7919-5: 1997	Part 5: Machines set in hydraulic power generating and pumping plants
<b>ISO 10816 Series</b>	<b>Mechanical vibration - Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts</b>
10816-1: 1995	Part 1: General Guidelines
10816-2: 2001	Part 2: Land-based steam turbines and generators in excess of 50 MW with normal operating speeds of 1500 r/min, 1800 r/min, 3000 r/min and 3600 r/min
10816-3: 1998	Part 3: Industrial machines with normal power above 15kW and nominal speeds between 120 r/min and 15000 r/min when measured in situ
10816-4: 1998	Part 4: Gas turbine sets excluding aircraft derivatives
10816-5: 2000	Part 5: Machines set in hydraulic power generating and pumping plants
10816-6: 1995	Part 6: Reciprocating machines with power ratings above 100 kW
10816-7 <sup>‡</sup>	Part 7: Rotodynamic pumps for industrial application



En reunión del ISO/TC108/SC2, con fecha del 13 al 16 de Mayo del 2003, el profesor japonés Hiroshi Kanki propuso "Normas para la selección del método de evaluación de vibración por medición del eje en rotación y/o partes sin rotación, referidas al "documento paraguas", cuyo alcance es proveer las normas de vibración apropiadas para una clasificación específica de maquinaria. El método propuesto incluye dos criterios de evaluación claves:

- 1) Desplazamiento del eje del centro de líneas de la chumacera.
- 2) Relación de rigidez del pedestal al rodamiento (el cual determina la relación de la vibración relativa del eje respecto a la vibración del pedestal), tal como está detallado en la Fig. 4.7. y Fig.4.8. mostradas más adelante.

Este fue propuesto como un artículo de trabajo, y esencialmente llegó a ser una norma de como seleccionarlas y aplicarlas (propuesto por ISO/TC108/WG2 como parte 0 de ISO/7919 y/o ISO 10816).

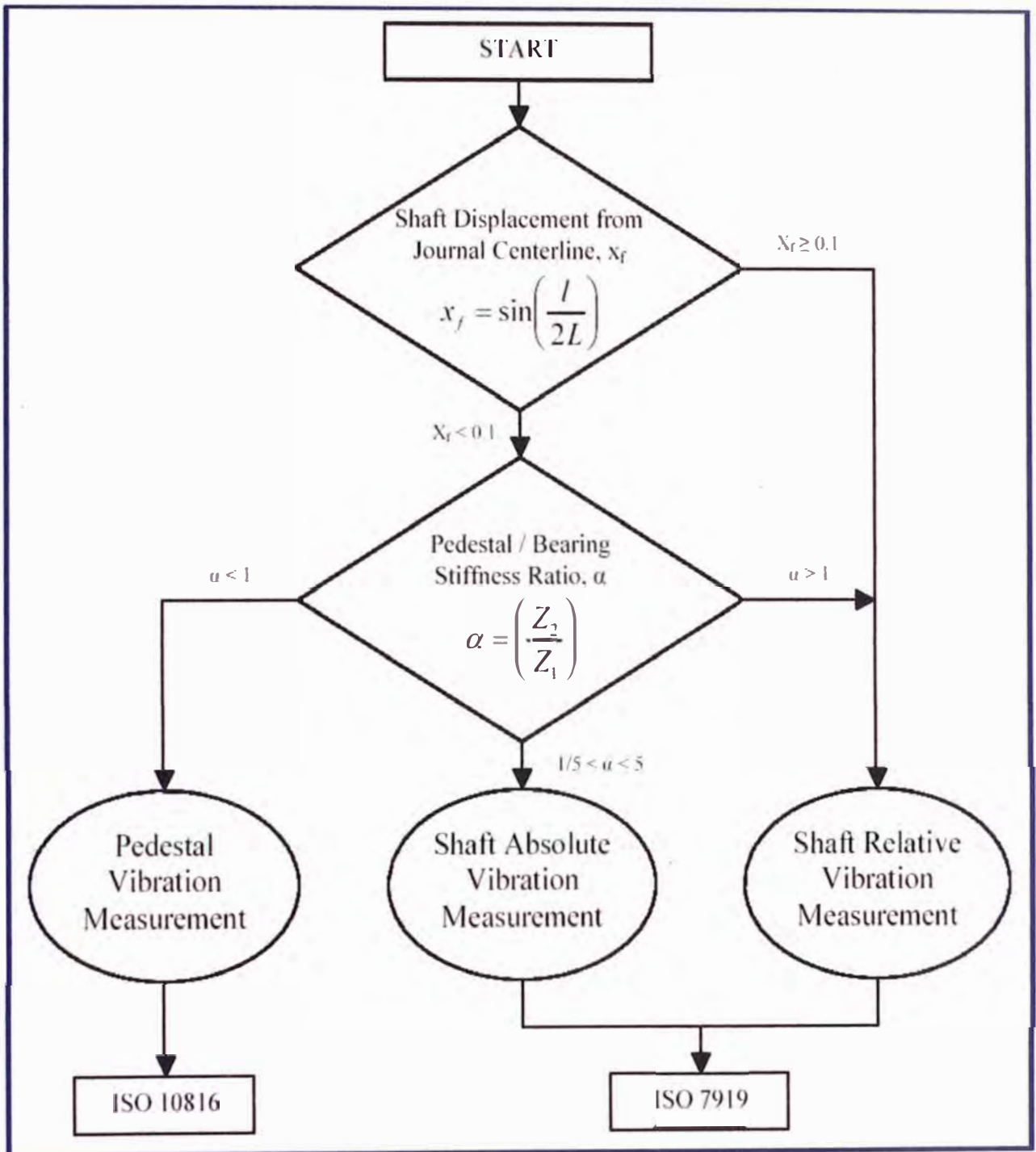


Fig. 4.7. Diagrama de flujo para selección de medición y evaluación de severidad de vibración

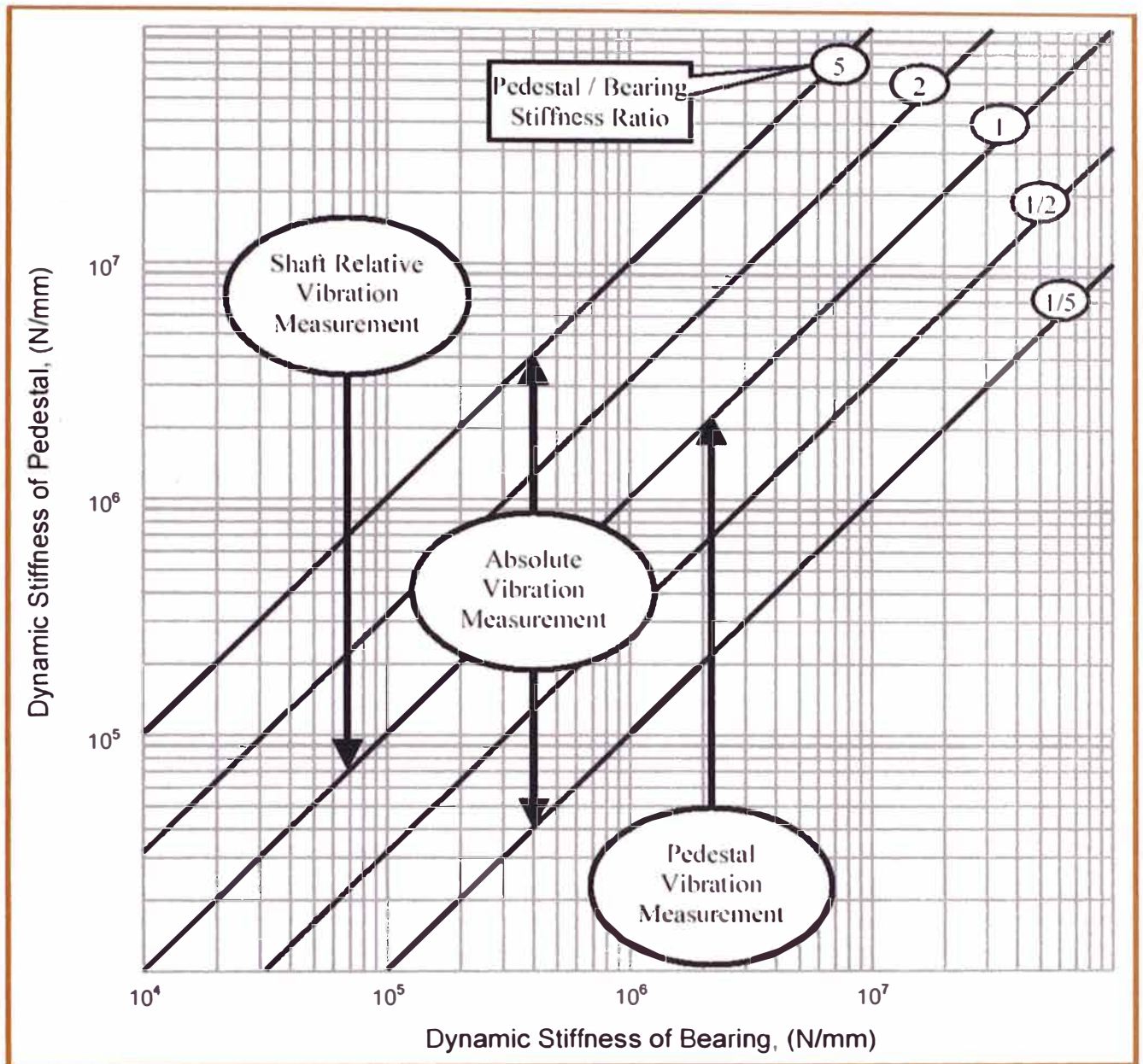


Fig. 4.8. Diagrama de relación de rigidez dinámica

En general, las máquinas equipadas con rodamientos de elementos rodantes tienden a tener alta rigidez de rodamiento, una relación de rigidez menor de 1, y están mejor adaptadas para medición de vibraciones en el pedestal y/o carcasa/funda.

Prácticamente, las máquinas que usan rodamientos con película fluida y soportados en pedestales relativamente suaves tendrán una mucha más alta relación de rigidez, y están mejor adaptadas para mediciones de vibración de eje.

La Tabla 4.3 muestra ejemplos de relación de rigidez dinámica y la norma de referencia aplicable.

Tabla 4.3 Ejemplo de normas de selección de NORMAS ISO

Machine	Dynamic Stiffness Ratio, $\alpha$	ISO 10816 (pedestal)	ISO 7919 (shaft)
High Pressure Turbine	5	Moderate	Good
Low Pressure Turbine	1.5	Moderate	Good
Large Generator	1.5	Moderate	Good
High Pressure Centrifugal Compressor	5	Not Good	Good
Large Fan	2/3	Good	Moderate
Small Fan & Pump	1/3	Good	Moderate
Vertical Pump	1/10	Good	Not Good
Large Steam Turbine Generator Set	1.5 to 3	Moderate	Good

La magnitud de la vibración está definida dentro de este grupo de normas como el valor máximo RMS de la velocidad de amplitud de banda en el rango de frecuencia especificado (típicamente de 10 a 1 000 Hz) a medida que es evaluado en la estructura dentro de los puntos prescritos. Hay que tomar en cuenta que otros valores, tal como desplazamientos o aceleración y valores picos, son permitidos en lugar de valores de RMS, pero no pueden ser fácilmente

correlacionados con criterios basados en valores RMS. Los criterios de evaluación para medir la severidad de la vibración incluyen la magnitud de la vibración y los cambios en su magnitud.

Tal como se muestra en la Fig.4.9 y la Tabla 4.3, las zonas de valuación están definidas para permitir una medición cualitativa de la vibración y para proveer normas en posibles acciones.

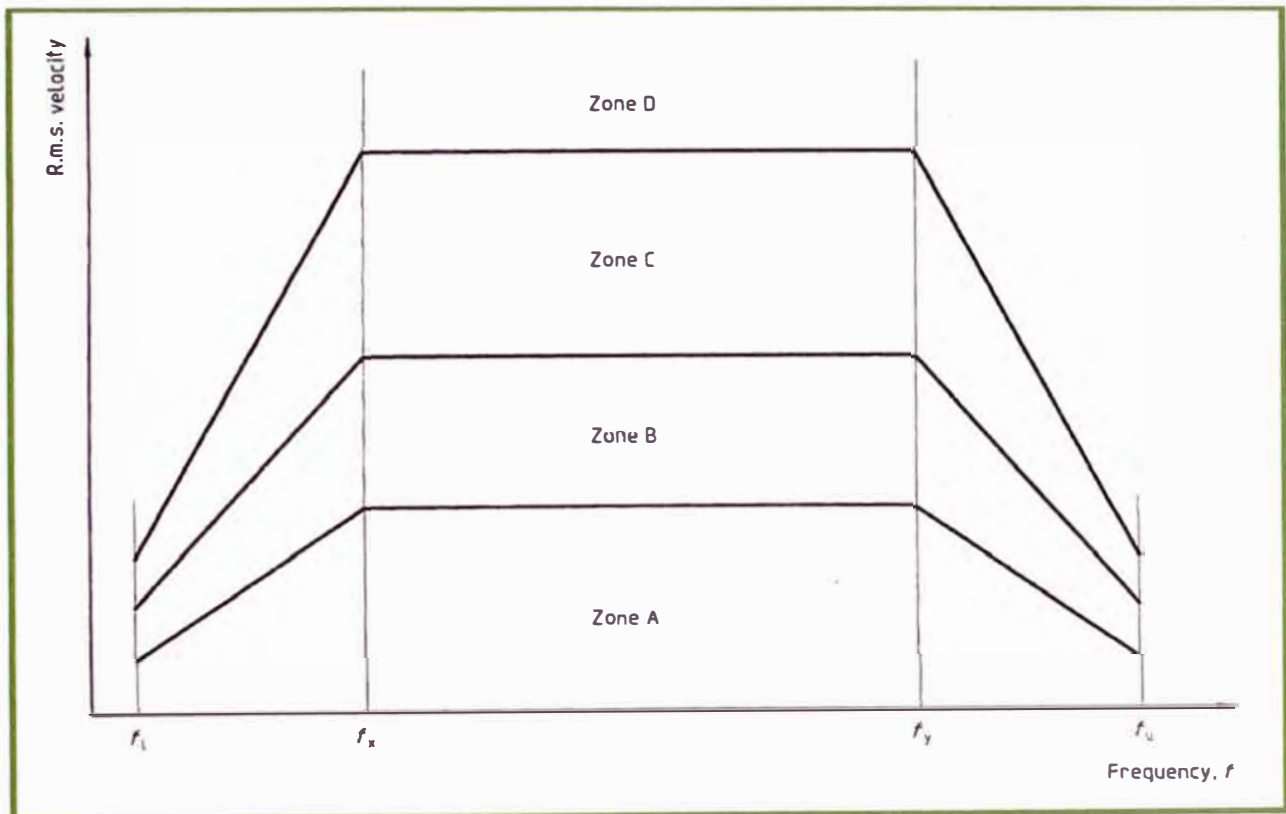


Fig.4.9 Forma general de criterios de evaluación de vibraciones

TABLA 4.4. Zonas Típicas de Criterio de Evaluación de Magnitud de Vibraciones

R.m.s. vibration velocity mm/sec	up to 15 kW Class I	15 to 75 kW Class II	> 75 kW (rigid) Class III	> 75 kW (soft) Class IV
0,28	A	A	A	A
0,45				
0,71				
1,12	B	B	B	B
1,8				
2,8	C	C	C	C
4,5				
7,1	D	D	D	D
11,2				
18				
28				
45				

Tal como se mostró en la Tabla 4.4., diferentes clases y tipos de maquinarias son señaladas en subsecuentes partes de ISO 7919 y 10816, incluyendo criterios de evaluación.

#### 4.6.2. NORMAS ISO PARA MEDICION DE VIIBRACIONES

ISO 13373 - 1:2001 Monitoreo y Diagnóstico de Condiciones de Máquinas – Monitoreo de Condiciones de Vibración – Parte 1: Los procedimientos generales proporcionan NORMAS generales para las mediciones de vibración de maquinarias para monitoreo de las condiciones. Las recomendaciones son proporcionadas de la siguiente manera:

- Métodos y parámetros de medición.
- Selección del transductor, ubicación y adhesión.
- Recopilación de datos.

- Condiciones de operación de la máquina.
- Sistema de monitoreo de vibraciones.
- Sistema de acondicionamiento de señales.
- Interface con sistemas de procesamiento de datos.
- Monitoreo continuo y periódico.

1.1.1. Debido a una amplia variedad de métodos para monitoreo de condiciones, tópicos específicos serán direccionados con más detalle en partes adicionales de ISO 13373.

#### **4.6.3. NORMAS ISO PARA ENTRENAMIENTO Y CERTIFICACIÓN.**

Estas normas son una iniciativa relativamente nueva y significativa para ISO/TC108. En Agosto del 2013, ISO 18436 - 2- 2003, Monitoreo y Diagnóstico de Condiciones de Máquinas – Requerimientos de Entrenamiento y Certificación del Personal – Parte 2: Monitoreo y Diagnóstico de Condiciones de Vibración, recibió un voto afirmativo en la etapa FDIS, y fue afirmado como una NORMA INTERNACIONAL ISO 18436-2 que describe un esquema de 04 categorías para certificación de personal analista de vibraciones que desarrollan monitoreo y diagnóstico de condiciones. Los candidatos para certificación deben reunir requisitos de educación, entrenamiento y experiencia, y deben pasar exitosamente el examen de calificación.

Partes futuras de la serie 18436 incluirá:

- Parte 1: Requerimientos para certificación de cuerpos y el proceso de certificación.

- Parte 3: Requerimientos para entrenamiento de cuerpos.
- Administración y análisis de lubricación.
- Termografía.
- Diagnósticos y pronósticos.
- Especialistas en monitoreo de condiciones.
- Balanceo.

La normativa del anexo B de 18236-2- Norma Internacional Aplicable, está incluida con sus artículos como un apéndice.

#### **4.6.4. OTRAS NORMAS PARA MONITOREO Y ANÁLISIS DE VIBRACIONES**

##### **NORMAS del Instituto Americano del Petróleo (API)**

API produce un amplio rango de documentos, incluyendo normas de referencia que están bien adaptadas para talleres de pruebas de máquinas nuevas o reconstruidas. Note que estas NORMAS generalmente se aplican a equipos para uso en la industria petroquímica. La TABLA 4.5. muestra una selección de NORMAS API



TABLA 4.5 Ejemplos de NORMAS API para ensayos de aceptación

Equipment Type	API Standard	Acceptance Test	Other Requirements
Pumps	610 (9 <sup>TH</sup> edition March '03)	Shaft Relative + Casing	Vertical Pump (0.20 ips pk)
Fans	673 (2 <sup>ND</sup> edition November '01)	Casing (0.1 ips pk)	
Steam Turbines	612 (4 <sup>TH</sup> edition June '95)	Shaft Relative (mil pk-pk)	4 hour run in test required
Gears	613 (5 <sup>TH</sup> edition March '03)	Casing (0.15 ips pk)	Unbalance 4 W/N oz-in
Centrifugal Compressors	617 (7 <sup>TH</sup> edition July '02)	Shaft Relative (mil pk-pk)	4 hour run in test required
Screw Compressors	619 (3 <sup>RD</sup> edition June '97)	Shaft Relative (mil pk-pk)	Unbalance 4 W/N oz-in
Induction Motors ( $\geq$ 250 hp)	541 (4 <sup>TH</sup> edition March '03)		Unbalance 4 W/N oz-in

CÓDIGO NACIONAL DE CONSTRUCCIÓN (1995) y CÓDIGO de DISEÑO en ACERO CAN/CSA-S16.1

Los dos aplicables, pero de vez en cuando ignorados como normas de referencia, son la NBC y el Código de Diseño en Acero. Cada una de estas normas importantes hace referencia específica a los problemas de resonancia estructural, y dice que un análisis dinámico podría ser requerido.

En conclusión, hay un impacto del crecimiento de las normas en el comercio global así como el potencial de las NORMAS para facilitar o impedir el negocio internacional.

En la medida que las barreras del negocio han bajado (a través de acuerdos de negocios tal como la NAFTA y WTO) el foco ha cambiado de el desarrollo de normas nacionales a normas regionales e internacionales, los

cuales son subsecuentemente adoptados con o sin ajustes para condiciones únicas regionales. El desarrollo de normas, llegados a través de consenso internacional, facilita el negocio y asegura acceso libre y equitativo para mercados internacionales.

# **CAPÍTULO 5**

## **DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA**

### **5.1. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA: PROPUESTA DE “ORGANIZACIÓN Y PLAN DE TRABAJO DE IMPLEMENTACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL PROYECTO DE MONITOREO EN LÍNEA”**

#### **5.1.1. INTRODUCCIÓN**

Actualmente existen productos y servicios de elevado contenido tecnológico para el ambiente industrial, consistentes en plataformas para la formación de sistemas de confiabilidad de diferentes marcas/proveedores que incorporan en sus operaciones los resultados de investigaciones y del desarrollo en nuevos conceptos de mantenimiento predictivo de máquinas, sistema de confiabilidad de equipos y gestión de lubricación.

La presenta propuesta muestra corresponde al proyecto de instalación y puesta en marcha de un sistema de monitoreo on-line para la bomba de relleno hidráulico de la Compañía Minera Raura, donde debe tomarse en cuenta todas las experiencias internas y externas para la realización de este proyecto, así como la gestión de los resultados esperados.

## **5.2. RESUMEN EJECUTIVO**

### **5.2.1. ALCANCE DEL SISTEMA DE MONITOREO AUTOMÁTICO DE VIBRACIONES**

Una vez consolidada toda la información para la consulta con el proveedor, en este caso la empresa SCHAEFFLER/FAG, se definió por el sistema de monitoreo FAG ProCheck, dado que es el sistema técnicamente más idóneo para asistir a todos los requerimientos de monitoreo de los diversos equipos rotativos incorporados en la solicitud.

Los equipos a monitorear son: la bomba MARS y su respectivo motor eléctrico. Asimismo, los componentes a monitorear son: los rodamientos del cigüeñal y el eje de entrada de la transmisión., así como los componentes rotativos del motor eléctrico.

Las variables a controlar, correspondientes a las vibraciones: análisis on-line de las vibraciones y las temperaturas, lo que estará constituido por: 06 sensores, 12 canales (04 sensores duales instalados en la bomba y 02 sensores duales en el motor eléctrico).

El tipo de comunicación se hará utilizando el protocolo TCP/IP, a través del sistema de comunicación de la bomba MARS, hasta el servidor ubicado en las oficinas de las Jefaturas de Mantenimiento.

## **5.3. DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE HARDWARE Y SOFTWARE**

El hardware FAG ProCheck realizará la toma y registro de datos, en forma escaneada de los sensores instalados, según la configuración definida y posteriormente envía los datos al servidor para su registro y posterior análisis. Con

el fin de obtener información fidedigna de los datos registrados, FAG ProCheck utilizará métodos probados de análisis.

Con el apoyo del análisis de frecuencia selectiva, pueden ser detectados y analizados cambios en los componentes individuales de la bomba. Estos cambios pueden ser diagnosticados, y se asignan en una etapa temprana sobre la base de los patrones característicos de las señales correspondientes.

El uso del espectro de la señal envolvente será de importancia decisiva, ya que con la ayuda de esta señal, los impulsos de choque causados por daños en reductores o rodamientos pueden ser detectados y analizados en una etapa temprana.

En lo que respecta a alarmas y otras conexiones, el administrador del sistema FAG ProCheck puede configurar niveles de pre alarma y alarma principal para cada valor característico. Frente a la ocurrencia de una alarma, el sistema tiene la capacidad de generar automáticamente un e-mail con los detalles de la alarma (equipo, punto, frecuencia, etc.).

Con respecto al software "administrador", será de vital importancia para el éxito en el control de vibraciones de la bomba MARS. FAG ProCheck se vale de su propio software para el monitoreo de los datos en distintos formatos (listado de datos, tendencias, ondas de tiempo, espectros, etc.), asociándolos a patrones característicos preestablecidos.

Dentro de las características se puede recalcar: Libre licencia multiusuario, la actualización gratuita en website, así como la base de datos de rodamientos.

## **5.4. ESTIMADOS DE COSTO**

### **5.4.1. VAN: VALOR ACTUAL NETO**

El valor actual neto simplemente significa traer del futuro al presente cantidades monetarias a su valor equivalente. Cuando se trasladan cantidades del presente al futuro, se dice que se utiliza una tasa de interés, pero cuando se trasladan cantidades del futuro al presente, como en el cálculo del VAN, se dice que se utiliza una tasa de descuento por lo cual a los flujos de efectivo ya trasladados al presente se les llama "flujos descontados". Cabe mencionar que la TIR (Tasa interna de retorno) es la tasa de descuento que hace el VAN = 0.

## **5.5. ESTRUCTURA DE COSTOS**

### **5.5.1. COSTOS POR PARADAS DE LA BOMBA MARS**

El monto de la pérdida al proceso por las paradas por mantenimientos programados y correctivos en la bomba MARS son elevados, y sin considerar el efecto en la calidad del concentrado, al final del proceso en la planta concentradora, por no contar con el volumen y leyes del mineral programado para el mezclado en la cancha de gruesos. De acuerdo a los tiempos de paradas de la bomba MARS, mostrados en el capítulo 3, se está dando un promedio de 36 h/mes, lo que representa la pérdida de 2 406 TMS de mineral, y por US\$ 8 como ganancia por TMS procesada, nos da una pérdida de 19 245 US\$/mes. A esto hay que resaltar que la bomba MARS ha acumulado 34 años de operación, por lo que la hace más vulnerable a sufrir fallas más relevantes en componentes

más críticos que la lleven a una inoperatividad por más de 15 días, siendo la pérdida a un nivel catastrófico para el proceso.

### 5.5.2. COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO BASADO EN UN SISTEMA DE MONITOREO AUTOMÁTICO DE VIBRACIONES (ON-LINE).

La implementación del sistema de monitoreo demandará un monto total de US\$ 29 564,39, netamente relacionado a las vibraciones.

Tabla 5.1 Costos inversión del sistema monitoreo automático de vibraciones

COSTO ANUAL POR LA EJECUCION DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO	
ACTIVIDADES	US\$
Sistema de monitoreo automático(ON-LINE)	29 564.39
Capacitación personal-Operador	1 500
Capacitación personal-Mantenimiento	1 500
Capacitación personal-Supervisor	3 000
Mantenimiento Sistema de monitoreo	1 500
<b>Total costo de mantenimiento predictivo basado en vibraciones</b>	<b>37 064.39</b>

Las Fig. 5.1., 5.2., 5.3. y 5.4 muestran los principales componentes del sistema de monitoreo de vibraciones automático(on-line), hardware y software.

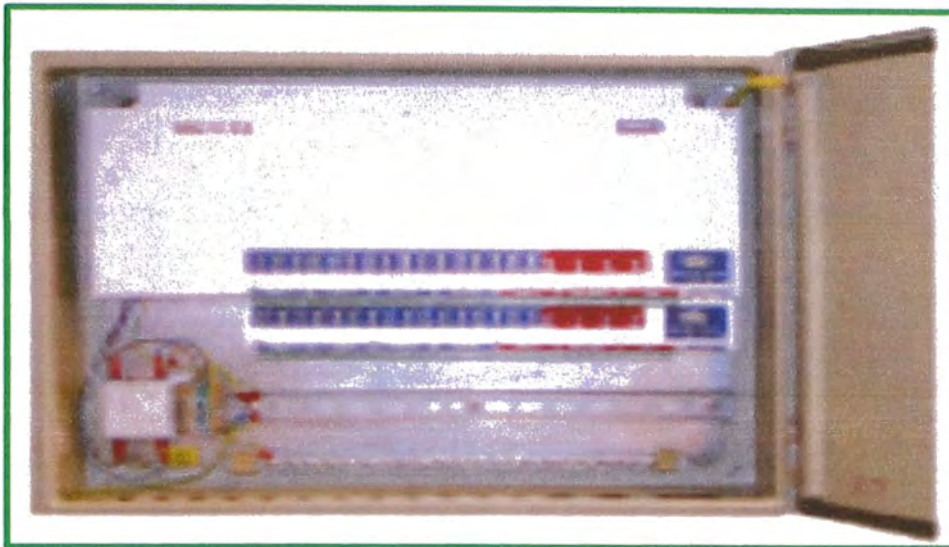


Fig. 5.1. Unidad de monitoreo ON-LINE



Fig. 5.2. Acelerómetros



Fig. 5.3. Rollos de cable



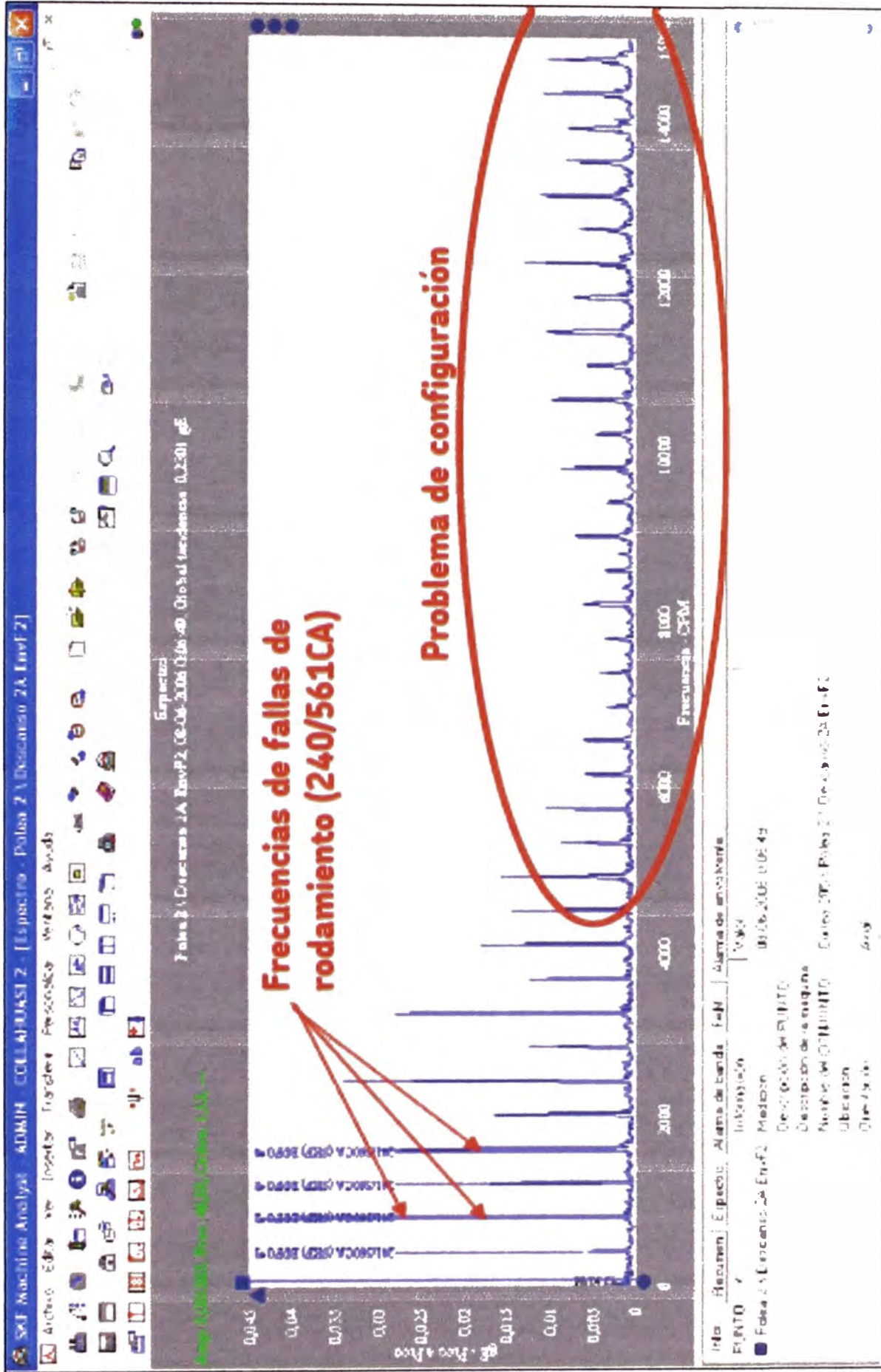


Fig. 5.4. Software

## 5.6. ANÁLISIS FINANCIERO

El análisis se realizará considerando una tasa de interés bancario del 12 % anual (0.9489 % mensual). Un periodo de recuperación de la inversión óptima que fija la compañía debe ser inferior a los dos años.

### 5.6.1. CÁLCULO DEL RETORNO DE INVERSIÓN (ROI)

El retorno de la inversión está calculado considerando los factores más importantes: La pérdida de producción por la parada programada y mantenimiento correctivos de la bomba MARS. Así como en los costos de mano de obra, repuestos, suministros y materiales utilizados en las paradas previstas e imprevistas. El ROI y el periodo de la inversión lo determinamos usando las siguientes fórmulas:

$$\text{ROI} = \frac{\text{OPORTUNIDAD DE AHORRO TOTAL}}{\text{INVERSION INICIAL}} * 100\%$$

$$\text{PERIODO DE RETORNO} = \frac{2}{\text{ROI}}$$

Mediante el uso de las dos fórmulas anteriores se puede concluir que el ROI es 131 %, y el tiempo de retorno es de 1.5 meses.

Tabla 5.2 Costos inversión, mantenimiento y perdida al proceso

Mes	0	1	2	3
Inversión en sistema on-line (US\$)	37 064	0	0	0
Costo mantto. programado & correctivo (US\$)	0	6 000	8 000	10 000
Pérdida de producción (US\$)	0	12 538	22 226	20 254
Total oportunidad de ahorro (US\$)	0	18 538	30 226	30 254

Para el cálculo del VAN usaremos el interés compuesto, a una tasa bancaria del 12% anual, por lo que obtenemos US\$ 18 121,00 habiendo considerado tan solo dos meses, por lo que la inversión es rentable.

### 5.6.2. CÁLCULO DE LA TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

La tasa interna de retorno para una inversión de US\$ 37,064.00, en un periodo de 02 meses es de 131%. Este resultado indica que el proyecto es viable.

La tasa de retorno hemos calculado usando la formula VAN, con el detalle de que hemos hecho lo siguiente: VAN=0 y n=2 meses, obteniéndose 18.8 % mensual, tal como se muestra líneas abajo.

$$0 = -37\,064 + \frac{18\,538}{(1+i)^1} + \frac{30\,226}{(1+i)^2}$$

i (%)	13	15	18	18.7	18.71	18.712	18.72	18.75	18.8	18.9	20
Δ (US\$)	3 012	1 911	104	6	1	0.1	-3	-18	-43	-92	-625

## CONCLUSIONES

1. La selección y posterior implementación de un sistema de monitoreo automático (on-line) para gestionar las vibraciones que se están dando en la bomba MARS es viable, económico y factible de llevarse a cabo sin recurrir a elevadas inversiones, cuya recuperación se dará en un tiempo prudencial.
2. Luego de la selección y posterior implementación de un sistema de monitoreo automático como parte del mantenimiento predictivo, permitirá disminuir los tiempos de parada previstas e imprevistas, por lo que podemos asegurar una operación continua de la bomba MARS y hacer las intervenciones cuando sean necesarias, con fecha oportunamente indicada por el sistema mencionado.
3. Las paradas programadas y no programadas de la bomba MARS generan pérdidas al proceso en el orden de 19 245 US\$ / mes, dado que por “costumbre” siempre se realizan mantenimientos programados al inicio de cada mes sin estar seguros de la necesidad de realizarlos, las mismas que afectan al cumplimiento del programa de producción de las operaciones de mina, así como a la calidad de concentrado que genera la planta concentradora.

4. Se concluye que las vibraciones son causantes de enfermedades ocupacionales, siendo las más representativas la hipoacusia, que conlleva a la sordera, y el estrés que es el estado propicio para la aparición de diversos tipos de males fisiológicos y psicológicos. En la planta concentradora se tiene caso de personal, con mayor incidencia en los operadores, con casos de hipoacusia aun así se esté usando los protectores auditivos correspondientes.
  
5. Para la implementación del sistema de monitoreo automático de vibraciones (on-line), el análisis financiero de la inversión determina los siguientes resultados que hacen atractivo la implementación del sistema de monitoreo automático de vibraciones, dado que en solo 1.5 meses se recuperaría la inversión.
  - TIR = 226%
  - VAN = US\$ 18 121
  - ROI = 131% mensual

## RECOMENDACIONES

1. Revisar el análisis de criticidad de los equipos de todos los procesos, específicamente en procesos continuos.
2. Se debe implementar sistemas de monitoreo automático de vibraciones para todos los equipos críticos, previa evaluación técnica-económica para asegurar la operatividad en un nivel apropiado de confiabilidad.
3. Todo el personal operador y mantenedor de los equipos, deben ser capacitados en temas de vibraciones, así como del conocimiento de la tecnología disponible en el mercado nacional e internacional.
4. Para aplicación y/o implementación de sistemas de monitoreo automático de vibraciones debe incluirse el asesoramiento y consultoría de empresas expertas en temas de vibraciones.
5. Es de vital importancia la priorización de monitoreo y control de vibraciones, ya sea con sistemas manuales o automáticos, dado que el marco legal establece la gestión de las vibraciones en todo los procesos donde haya riesgo de daño o afectación al personal que opera o labora cerca de equipos(Decreto Supremo 055 – 2010 EM : Subcapítulo II – Artículos 95 y 102. Se incluye en el apéndice).

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- Dr. Ing. Pedro Saavedra Gonzales. Bases de Mantenimiento Predictivo y del Diagnóstico de Fallas en Máquinas Rotatorias, Universidad de Concepción, Chile.
- 2.- Pedro Cortez N. (2011).Manual para el Curso de Capacitación en Vibraciones – Categoría I. Mobius Institute / [www.mobiusinstitute.com](http://www.mobiusinstitute.com)
- 3.- Adolfo Arata & Luciano Furlanetto (2005). Manual de Gestión de Activos y Mantenimiento, RIL Editores, Santiago, Chile.
- 4.- Dr. Evelio Palomino Marín (1997). La Medición y el Análisis de Vibraciones en el Diagnóstico de Máquinas Rotatorias. Edit. División de Ingeniería de Vibraciones y Diagnóstico, Cuba.
- 5.- Glen White (1990-2010). Introducción al Análisis de Vibraciones. Edit. Azima DLI, USA.

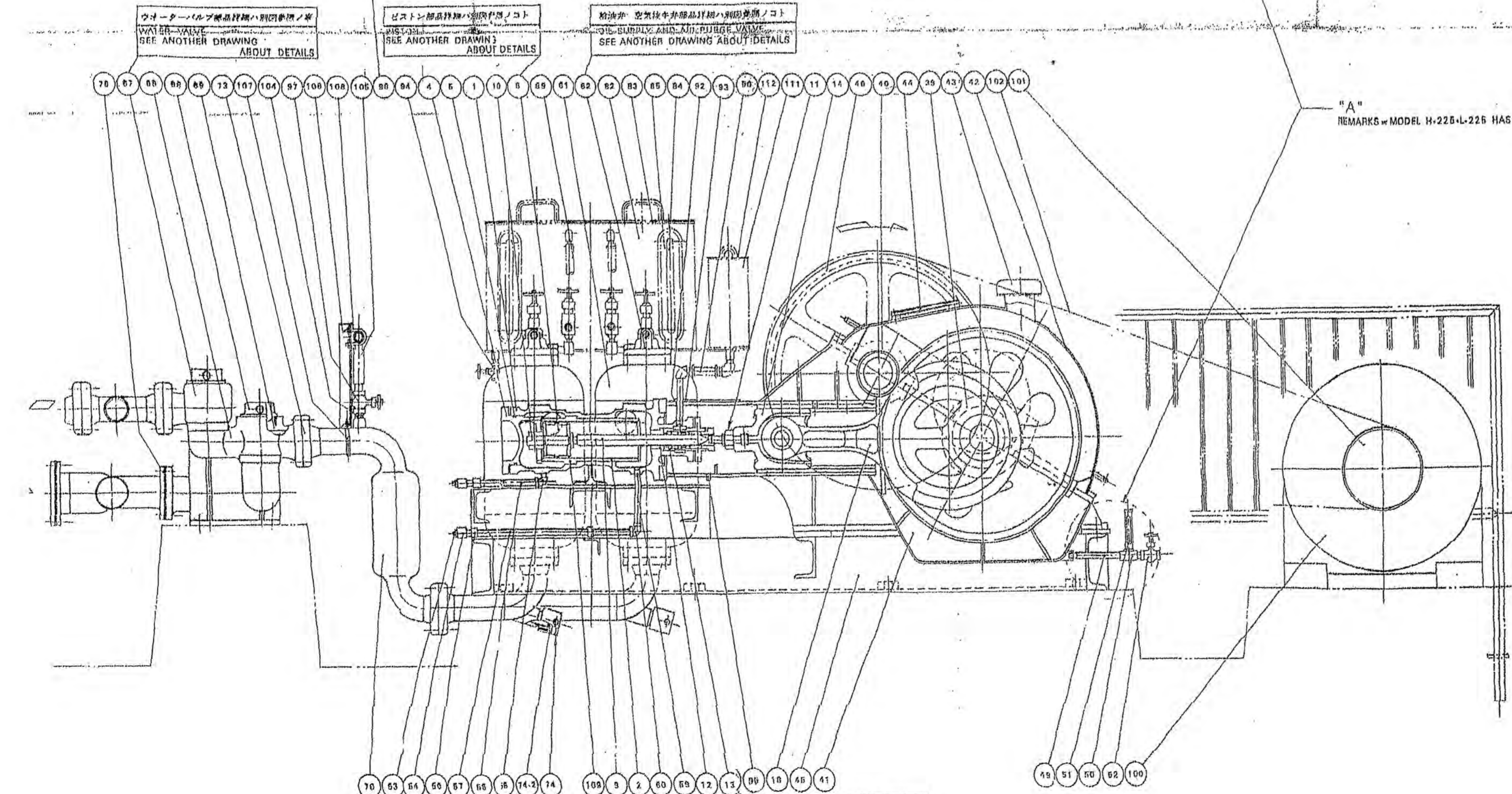
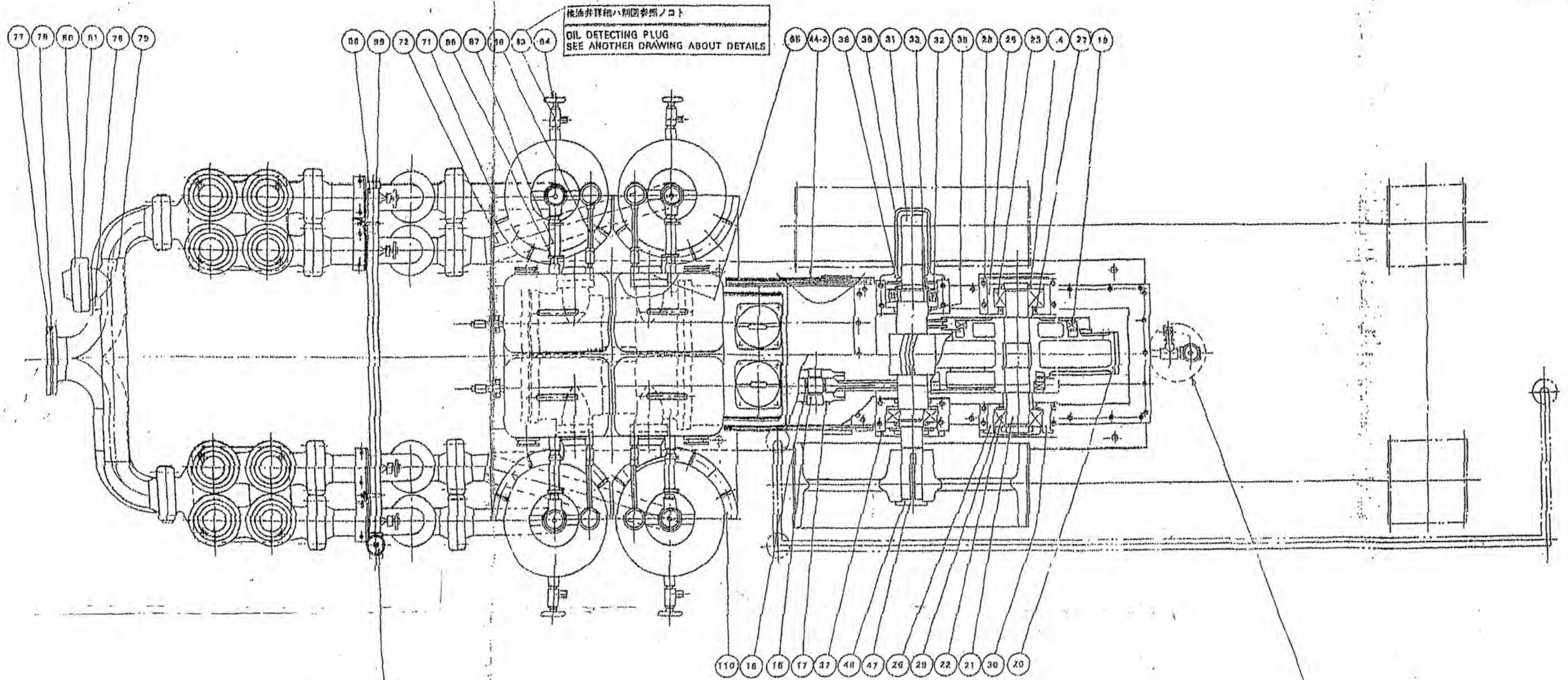
## **PLANOS**

1.- PLANO N° A319017P: PARTES (DETALLADO) DE LA BOMBA MARS.

2.- PLANO N° A319016P: PARTES (TOTAL) DE LA BOMBA MARS.

3.- FLUJO DEL PROCESO DE BENEFICIO DE MINERAL EN LA PLANTA  
CONCENTRADORA DE COMPAÑÍA MINERA RAURA – 2003.





"A"  
REMARKS w MODEL H-22B-L-225 HAS NO "A" PART

NO.	NAME	QUANTITY FOR ONE SET	NO.	NAME	QUANTITY FOR ONE SET	NO.	NAME	QUANTITY FOR ONE SET
1	CYLINDER	2	38	CRANK AXLE BEARING COVER	2	75	SUCTION PIPE	1
2	CYLINDER LINER	2	40	PINION AXLE BEARING COVER	2	76	PACKING FOR SUCTION PIPE	2
3	-	-	41	FRAME FOR SUCTION PIPE	1	77	EYE FLANGE FOR SUCTION PIPE	1
4	TOP COVER	2	42	CRANK CASE COVER	1	78	PACKING FOR EYE FLANGE	1
5	O RING FOR TOP COVER	4	43	LUBRICATING OIL INLET	1	79	DISCHARGE PIPE	1
6	-	-	44	EYE-WINDOW	1	80	EYE FLANGE FOR DISCHARGE PIPE	1
7	-	-	44-2	-	2	81	PACKING FOR DISCHARGE PIPE	3
8	PISTON	2	45	BASE	1	82	OIL TANK	1
9	PISTON ROD	2	46	PUMP PULLEY	1	83	OIL TANK COVER	4
10	NUT FOR PISTON ROD	2	47	KEY FOR PUMP PULLEY AT PUMP SIDE	1	84	OIL LEVEL DETECTING OIL TANK BASE	4
11	-	-	48	PULLEY PRESSER	1	89	OIL LEVEL DETECTING OIL TANK BASE FOR OIL SUPPLY	4
12	NECK BUSHING	2	48	SHORT PIPE FOR OIL GAUGE	1	88	KEY FOR OIL SUPPLY HOSE	20
13	GLAND BOX	2	80	T PIPE FOR OIL GAUGE	1	87	WATER HOSE FOR OIL SUPPLY	4
14	CROSS HEAD	2	51	OIL GAUGE	1	88	SHORT PIPE	4
15	CROSS PIN	2	52	STOP VALVE FOR OIL DRAIN PLUG	1	89	VIEW HOSE FOR AIR PURGE	4
16	NEEDLE BEARING	2	53	DRAIN PLUG	4	90	WATER HOSE FOR OIL TANK	2
17	KEY PLATE FOR CROSS PIN	2	54	SOCKET FOR DRAIN PLUG	4	91	-	-
18	CONNECTING ROD	2	55	SHORT PIPE FOR DRAIN PLUG	2	92	COIL PACKING	2
19	ROLLER BEARING	2	56	DRAIN PIPE	4	93	COIL PACKING PRESSER	2
20	GEAR	1	57	SHORT PIPE FOR OIL TANK	2	94	STOP VALVE FOR DRAIN	4
21	CRANK SHAFT	1	58	ELBOW FOR DRAIN PLUG	2	95	OIL DRAIN PLUG	2
22	DISTANCE RING	2	59	SHORT PIPE FOR OIL TANK	2	96	STOP VALVE FOR WATER SUPPLY	1
23	SPHERICAL ROLLER BEARING	2	60	ELBOW FOR DRAIN PLUG	2	97	WATER SUPPLY VALVE	4
24	NUT FOR CRANK SHAFT	2	61	OIL CHAMBER	4	98	PIPE	1
25	BEARING BOX	1	62	OIL SUPPLY VALVE	4	99	GAP FOR WATER SUPPLY PIPE	1
26	-	-	63	OIL DETECTING PLUG	12	100	MOTOR (WITH BASE)	1
27	OIL SEAL FOR CRANK SHAFT	2	64	VALVE WITH HANDLE	12	101	MOTOR PULLEY	1
28	BEARING BOX COVER	1	65	O RING FOR OIL CHAMBER	4	102	FLAT BELT (V-BELT)	1
29	-	-	66	VALVE BOX	2	103	-	-
30	SHAFT FOR BEARING BOX COVER	4	67	WATER VALVE	8	104	WIPPER FOR WATER SUPPLY VALVE	4
31	PINION SHAFT	1	68	VALVE BOX COVER	8	105	WATER HOSE FOR WATER SUPPLY PIPE	4
32	SPHERICAL ROLLER BEARING	2	69	O RING FOR VALVE BOX COVER	8	106	STANG FOR MOTOR SUPPLY PIPE	2
33	NUT FOR PINION SHAFT	2	70	Z SHAPED PIPE	4	107	U BOLT FOR STAND	4
34	-	-	71	CONNECTING PIPE Ø	2	108	U BOLT FOR WATER SUPPLY PIPE	2
35	OIL SEAL INSIDE FOR PINION SHAFT	2	72	-	A	109	O RING FOR OIL TANK LINER	4
36	PINION SHAFT COVER	1	73	O RING FOR CONNECTING PIPE	12	110	BRACKET FOR OIL TANK	4
37	BEARING BOX COVER	1	74	DRAIN CAP	4	111	OIL TANK FOR GLAND SECTION	2
38	OIL SEAL JOINT RING FOR PINION SHAFT	2	74-2	PACKING FOR DRAIN CAP	4	112	OIL TANK FOR OIL TANK SECTION	2

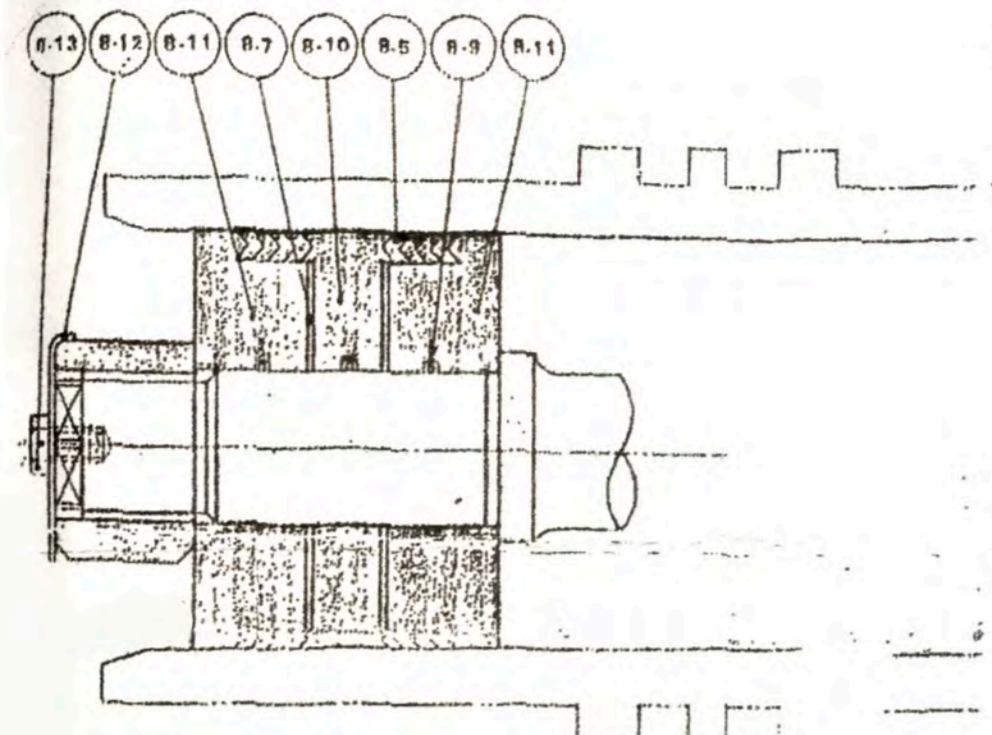
DWG. NO. A319016P

TITLE MARS PUMP PARTS (WHOLE)

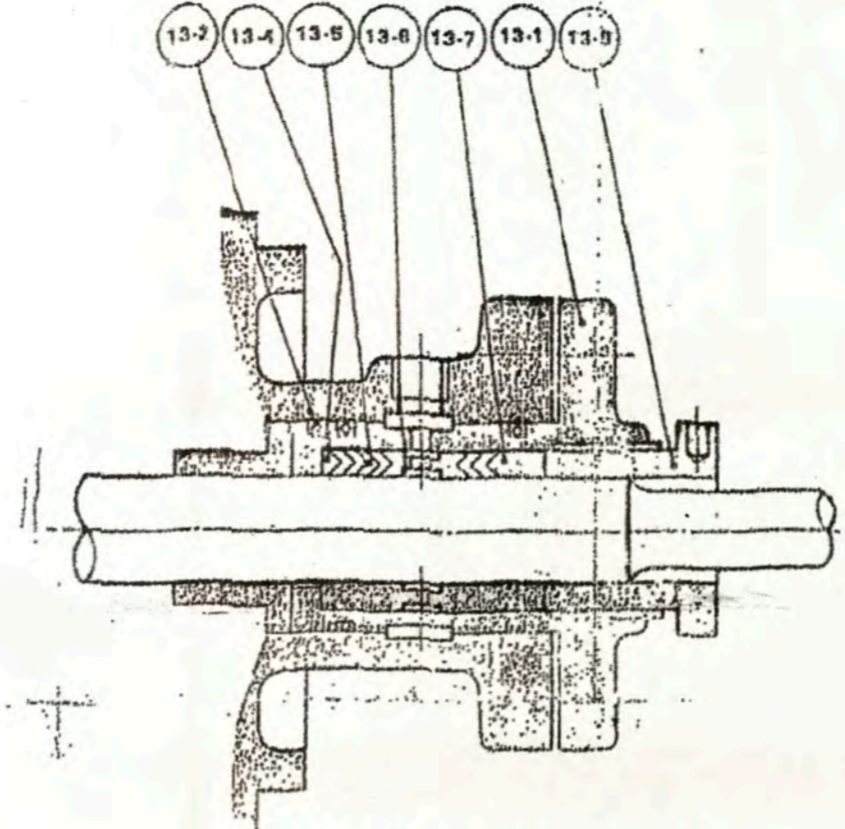
DATE 1975 MAY THIRD ANGLE PROJECTION

MITSUBISHI METAL CORPORATION

ピストン部詳細  
PISTON DETAILS

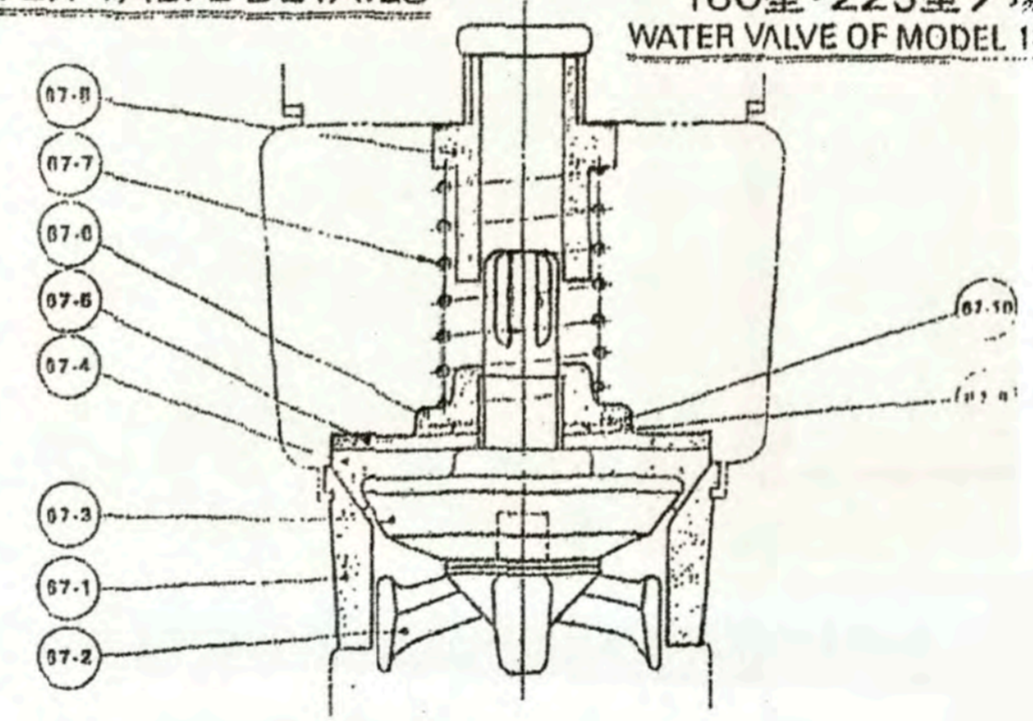


グランド部詳細  
GLAND BOX DETAILS

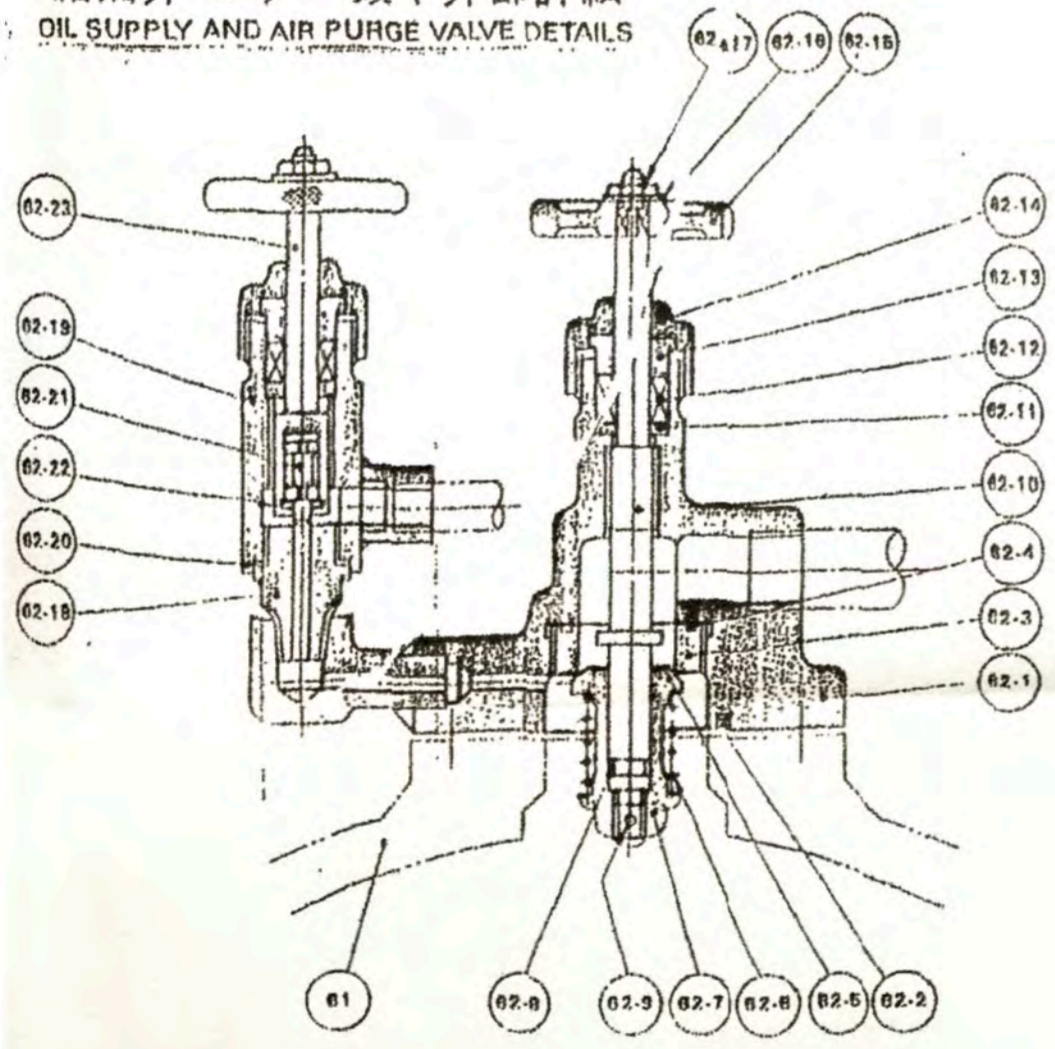


ウォーターバルブ部詳細  
WATER VALVE DETAILS

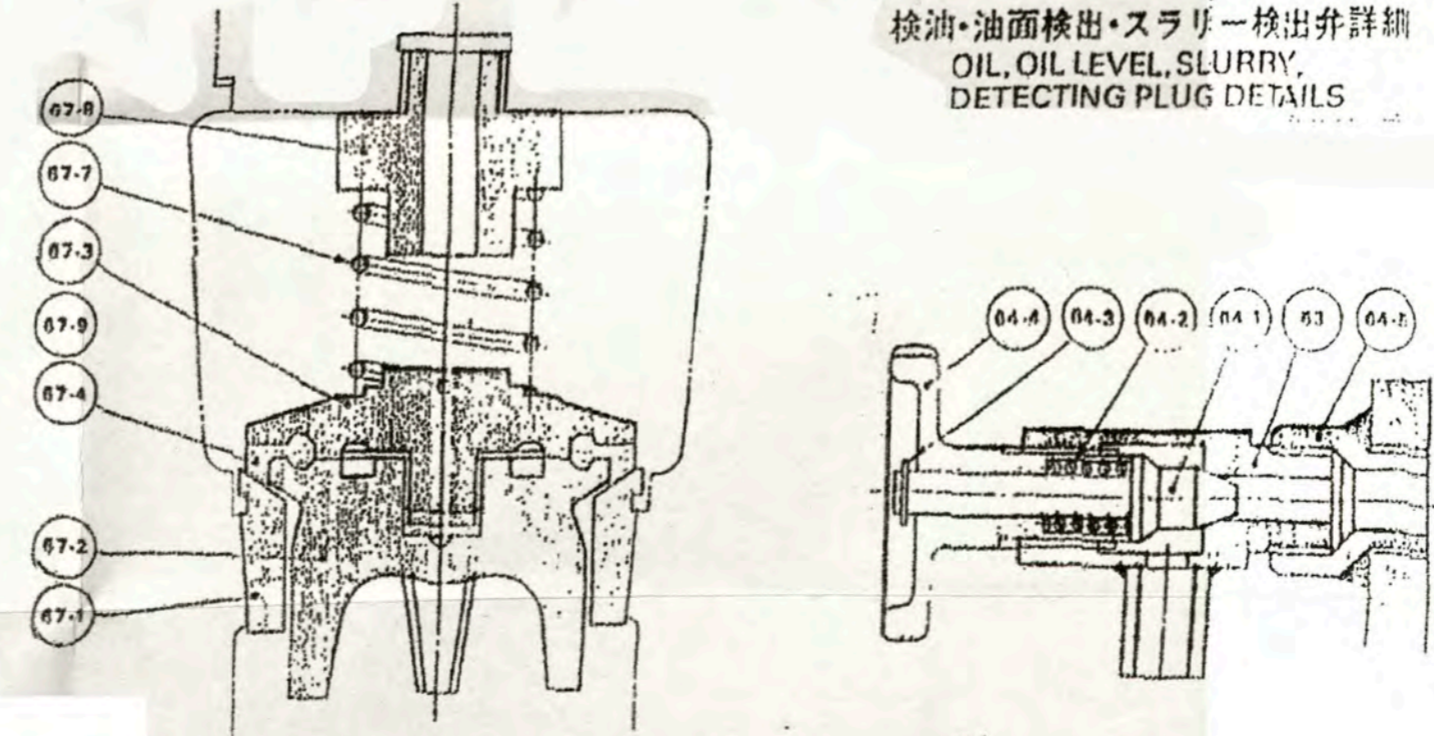
180型・225型ノ場合  
WATER VALVE OF MODEL 180, 225



給油弁・エア抜キ弁部詳細  
OIL SUPPLY AND AIR PURGE VALVE DETAILS



検油・油面検出・スラリー検出弁詳細  
OIL, OIL LEVEL, SLURRY,  
DETECTING PLUG DETAILS

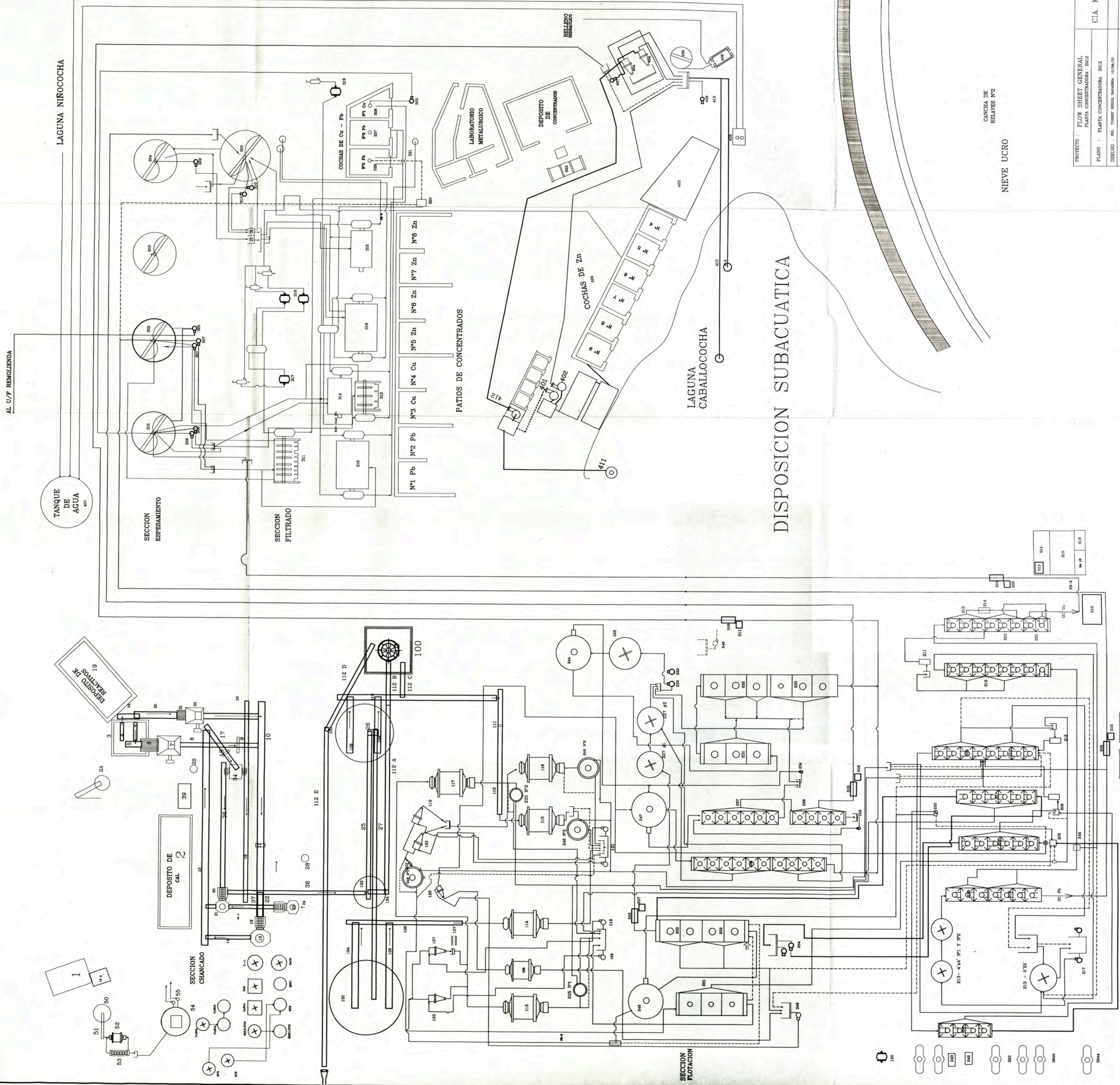


125型ノ場合  
WATER VALVE OF MODEL 125

PARTS LIST

NO.	NAME	QUANTITY FOR ONE SET	NO.	NAME	QUANTITY FOR ONE SET
B-1,2,3,4,6,8	MISSING NUMBER		62-11	COIL PACKING	1
B-5	V PACKING FOR PISTON	L=12, H=18	62-12	GLAND PRESSE	1
B-7	SHIM	12	62-13	NUT FOR GLAND	1
B-9	O RING FOR PISTON	6	62-14	HANDLE	1
B-10	PISTON 'B'	2	62-15	WASHER FOR HANDLE	1
B-11	PISTON 'A'	4	62-16	NUT FOR HANDLE	1
B-12	LOCKING PLATE	2	62-17	VALVE SEAT FOR AIR PURGE VALVE	1
B-13	BOLT	4	62-18	AIR PURGE VALVE	1
			62-19	PACKING FOR AIR PURGE VALVE	1
			62-20	NEEDLE VALVE FOR AIR PURGE VALVE	1
13-1	GLAND BOX	2	62-21	STOP RING OF VALVE FOR AIR PURGE VALVE	1
13-2	O RING FOR GLAND BOX	6	62-22	VALVE ROD FOR AIR PURGE VALVE	1
13-3			62-23	PACKING RECEIVER *	2
13-4	PACKING RECEIVER *	2			
13-5	V PACKING FOR GLAND	L=12, H=14	67-1	VALVE SEAT	1
13-6	LANTERN RING *	2	67-2	LOWER VALVE BODY	1
13-7	PACKING PRESSER *	2	67-3	VALVE BODY	1
13-8	GLAND PRESSING SCREW	2	67-4	VALVE RUBBER	1
			67-5	VALVE RUBBER PRESSER(180-225TY)	1
62-1	OIL SUPPLY VALVE	4	67-6	NUT FOR VALVE BODY(180-225TY)	1
62-2	O RING FOR OIL SUPPLY VALVE	4	67-7	SPRING	1
62-3	VALVE SEAT FOR OIL SUPPLY VALVE	4	67-8	UPPER VALVE GUIDE	1
62-4	O RING FOR VALVE SEAT	4	67-9	CUSHION RUBBER	1
62-5	VALVE FOR OIL SUPPLY VALVE	4	67-10	SHIM	1
62-6	SPRING FOR OIL SUPPLY VALVE	4	64-1	NEEDLE VALVE FOR OIL DETECTING PLUG	1
62-7	NUT FOR SPRING	4	64-2	SPRING FOR OIL DETECTING PLUG	1
62-8	O RING FOR NUT	4	64-3	STOP RING FOR OIL DETECTING PLUG	1
62-9	SPLIT PIN FOR NUT	4	64-4	HANDLE FOR OIL DETECTING PLUG	1
62-10	VALVE ROD FOR OIL SUPPLY VALVE	4	64-5	CUP JOINT FOR OIL DETECTING PLUG	1

DWG. NO. A319017P  
 TITLE: MARS PUMP PARTS (DETAIL)  
 DATE: 1975 MAY THIRD ANGLE PROJECTION  
 MITSUBISHI METAL CORPORATION



PROYECTO : FLOW SHEET GENERAL  
 PLANTA CONCENTRADORA 2012  
 PLANO : PLANTA CONCENTRADORA 2012  
 DISEÑO : ING. YOSSET ESCOBAR SANCHEZ 15/04/07  
 REVISOR : ING. JOSE RAFAEL SANCHEZ 15/04/07  
 APROBADO : ING. ANNE CABELLO MANRIQUE

C.I.A. MINERA RAURA S.A.  
 LAMINA 8  
 CAPACIDAD : 2350 TMS/DIA  
 ARCHIVO : PLANTA 2012

ITEM	CANT.	HP	DESCRIPCION CHANCADO	ITEM	CANT.	HP	DESCRIPCION FLOTACION	ITEM	CANT.	HP	DESCRIPCION ESPESADORES Y FILTROS	HP	FECHA	MODIFICACIONES
1	1	100	MAQUINA DE CHANCADO DE 100 HP	101	1	100	SECCION CHANCADO	101	1	100	SECCION ESPESAMIENTO	101	14-02-08	SECCION ESPESAMIENTO
2	1	100	MAQUINA DE CHANCADO DE 100 HP	102	1	100	SECCION CHANCADO	102	1	100	SECCION FILTRADO	102	14-02-08	SECCION FILTRADO
3	1	100	MAQUINA DE CHANCADO DE 100 HP	103	1	100	SECCION CHANCADO	103	1	100	PATIOS DE CONCENTRADOS	103	14-02-08	PATIOS DE CONCENTRADOS
4	1	100	MAQUINA DE CHANCADO DE 100 HP	104	1	100	SECCION CHANCADO	104	1	100	COCHAS DE Zn	104	14-02-08	COCHAS DE Zn
5	1	100	MAQUINA DE CHANCADO DE 100 HP	105	1	100	SECCION CHANCADO	105	1	100	LABORATORIO METALURGICO	105	14-02-08	LABORATORIO METALURGICO
6	1	100	MAQUINA DE CHANCADO DE 100 HP	106	1	100	SECCION CHANCADO	106	1	100	DEPOSITO DE CONCENTRADOS	106	14-02-08	DEPOSITO DE CONCENTRADOS
7	1	100	MAQUINA DE CHANCADO DE 100 HP	107	1	100	SECCION CHANCADO	107	1	100	LAGUNA CABALLOCOCHA	107	14-02-08	LAGUNA CABALLOCOCHA
8	1	100	MAQUINA DE CHANCADO DE 100 HP	108	1	100	SECCION CHANCADO	108	1	100	DISPOSICION SUBACUATICA	108	14-02-08	DISPOSICION SUBACUATICA
9	1	100	MAQUINA DE CHANCADO DE 100 HP	109	1	100	SECCION CHANCADO	109	1	100	LAGUNA NIROCOCHA	109	14-02-08	LAGUNA NIROCOCHA
10	1	100	MAQUINA DE CHANCADO DE 100 HP	110	1	100	SECCION CHANCADO	110	1	100	TANQUE DE AGUA	110	14-02-08	TANQUE DE AGUA
11	1	100	MAQUINA DE CHANCADO DE 100 HP	111	1	100	SECCION CHANCADO	111	1	100	SECCION FLOTACION	111	14-02-08	SECCION FLOTACION
12	1	100	MAQUINA DE CHANCADO DE 100 HP	112	1	100	SECCION CHANCADO	112	1	100	SECCION FLOTACION	112	14-02-08	SECCION FLOTACION
13	1	100	MAQUINA DE CHANCADO DE 100 HP	113	1	100	SECCION CHANCADO	113	1	100	SECCION FLOTACION	113	14-02-08	SECCION FLOTACION
14	1	100	MAQUINA DE CHANCADO DE 100 HP	114	1	100	SECCION CHANCADO	114	1	100	SECCION FLOTACION	114	14-02-08	SECCION FLOTACION
15	1	100	MAQUINA DE CHANCADO DE 100 HP	115	1	100	SECCION CHANCADO	115	1	100	SECCION FLOTACION	115	14-02-08	SECCION FLOTACION
16	1	100	MAQUINA DE CHANCADO DE 100 HP	116	1	100	SECCION CHANCADO	116	1	100	SECCION FLOTACION	116	14-02-08	SECCION FLOTACION
17	1	100	MAQUINA DE CHANCADO DE 100 HP	117	1	100	SECCION CHANCADO	117	1	100	SECCION FLOTACION	117	14-02-08	SECCION FLOTACION
18	1	100	MAQUINA DE CHANCADO DE 100 HP	118	1	100	SECCION CHANCADO	118	1	100	SECCION FLOTACION	118	14-02-08	SECCION FLOTACION
19	1	100	MAQUINA DE CHANCADO DE 100 HP	119	1	100	SECCION CHANCADO	119	1	100	SECCION FLOTACION	119	14-02-08	SECCION FLOTACION
20	1	100	MAQUINA DE CHANCADO DE 100 HP	120	1	100	SECCION CHANCADO	120	1	100	SECCION FLOTACION	120	14-02-08	SECCION FLOTACION
21	1	100	MAQUINA DE CHANCADO DE 100 HP	121	1	100	SECCION CHANCADO	121	1	100	SECCION FLOTACION	121	14-02-08	SECCION FLOTACION
22	1	100	MAQUINA DE CHANCADO DE 100 HP	122	1	100	SECCION CHANCADO	122	1	100	SECCION FLOTACION	122	14-02-08	SECCION FLOTACION
23	1	100	MAQUINA DE CHANCADO DE 100 HP	123	1	100	SECCION CHANCADO	123	1	100	SECCION FLOTACION	123	14-02-08	SECCION FLOTACION
24	1	100	MAQUINA DE CHANCADO DE 100 HP	124	1	100	SECCION CHANCADO	124	1	100	SECCION FLOTACION	124	14-02-08	SECCION FLOTACION
25	1	100	MAQUINA DE CHANCADO DE 100 HP	125	1	100	SECCION CHANCADO	125	1	100	SECCION FLOTACION	125	14-02-08	SECCION FLOTACION
26	1	100	MAQUINA DE CHANCADO DE 100 HP	126	1	100	SECCION CHANCADO	126	1	100	SECCION FLOTACION	126	14-02-08	SECCION FLOTACION
27	1	100	MAQUINA DE CHANCADO DE 100 HP	127	1	100	SECCION CHANCADO	127	1	100	SECCION FLOTACION	127	14-02-08	SECCION FLOTACION
28	1	100	MAQUINA DE CHANCADO DE 100 HP	128	1	100	SECCION CHANCADO	128	1	100	SECCION FLOTACION	128	14-02-08	SECCION FLOTACION
29	1	100	MAQUINA DE CHANCADO DE 100 HP	129	1	100	SECCION CHANCADO	129	1	100	SECCION FLOTACION	129	14-02-08	SECCION FLOTACION
30	1	100	MAQUINA DE CHANCADO DE 100 HP	130	1	100	SECCION CHANCADO	130	1	100	SECCION FLOTACION	130	14-02-08	SECCION FLOTACION
31	1	100	MAQUINA DE CHANCADO DE 100 HP	131	1	100	SECCION CHANCADO	131	1	100	SECCION FLOTACION	131	14-02-08	SECCION FLOTACION
32	1	100	MAQUINA DE CHANCADO DE 100 HP	132	1	100	SECCION CHANCADO	132	1	100	SECCION FLOTACION	132	14-02-08	SECCION FLOTACION
33	1	100	MAQUINA DE CHANCADO DE 100 HP	133	1	100	SECCION CHANCADO	133	1	100	SECCION FLOTACION	133	14-02-08	SECCION FLOTACION
34	1	100	MAQUINA DE CHANCADO DE 100 HP	134	1	100	SECCION CHANCADO	134	1	100	SECCION FLOTACION	134	14-02-08	SECCION FLOTACION
35	1	100	MAQUINA DE CHANCADO DE 100 HP	135	1	100	SECCION CHANCADO	135	1	100	SECCION FLOTACION	135	14-02-08	SECCION FLOTACION
36	1	100	MAQUINA DE CHANCADO DE 100 HP	136	1	100	SECCION CHANCADO	136	1	100	SECCION FLOTACION	136	14-02-08	SECCION FLOTACION
37	1	100	MAQUINA DE CHANCADO DE 100 HP	137	1	100	SECCION CHANCADO	137	1	100	SECCION FLOTACION	137	14-02-08	SECCION FLOTACION
38	1	100	MAQUINA DE CHANCADO DE 100 HP	138	1	100	SECCION CHANCADO	138	1	100	SECCION FLOTACION	138	14-02-08	SECCION FLOTACION
39	1	100	MAQUINA DE CHANCADO DE 100 HP	139	1	100	SECCION CHANCADO	139	1	100	SECCION FLOTACION	139	14-02-08	SECCION FLOTACION
40	1	100	MAQUINA DE CHANCADO DE 100 HP	140	1	100	SECCION CHANCADO	140	1	100	SECCION FLOTACION	140	14-02-08	SECCION FLOTACION
41	1	100	MAQUINA DE CHANCADO DE 100 HP	141	1	100	SECCION CHANCADO	141	1	100	SECCION FLOTACION	141	14-02-08	SECCION FLOTACION
42	1	100	MAQUINA DE CHANCADO DE 100 HP	142	1	100	SECCION CHANCADO	142	1	100	SECCION FLOTACION	142	14-02-08	SECCION FLOTACION
43	1	100	MAQUINA DE CHANCADO DE 100 HP	143	1	100	SECCION CHANCADO	143	1	100	SECCION FLOTACION	143	14-02-08	SECCION FLOTACION
44	1	100	MAQUINA DE CHANCADO DE 100 HP	144	1	100	SECCION CHANCADO	144	1	100	SECCION FLOTACION	144	14-02-08	SECCION FLOTACION
45	1	100	MAQUINA DE CHANCADO DE 100 HP	145	1	100	SECCION CHANCADO	145	1	100	SECCION FLOTACION	145	14-02-08	SECCION FLOTACION
46	1	100	MAQUINA DE CHANCADO DE 100 HP	146	1	100	SECCION CHANCADO	146	1	100	SECCION FLOTACION	146	14-02-08	SECCION FLOTACION
47	1	100	MAQUINA DE CHANCADO DE 100 HP	147	1	100	SECCION CHANCADO	147	1	100	SECCION FLOTACION	147	14-02-08	SECCION FLOTACION
48	1	100	MAQUINA DE CHANCADO DE 100 HP	148	1	100	SECCION CHANCADO	148	1	100	SECCION FLOTACION	148	14-02-08	SECCION FLOTACION
49	1	100	MAQUINA DE CHANCADO DE 100 HP	149	1	100	SECCION CHANCADO	149	1	100	SECCION FLOTACION	149	14-02-08	SECCION FLOTACION
50	1	100	MAQUINA DE CHANCADO DE 100 HP	150	1	100	SECCION CHANCADO	150	1	100	SECCION FLOTACION	150	14-02-08	SECCION FLOTACION

## APÉNDICE

1. MANUAL DE OPERACIONES DE BOMBA MARS L180 MARCA MITSUBISHI.
2. DECRETO SUPREMO N° 055-2010-EM. DECRETO SUPREMO EMITIDO POR EL MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS. PARTE CORRESPONDIENTE A LOS ARTÍCULOS 95 y 102 ASI COMO LA GUÍA N°3.
3. RESUMEN DE ACCIDENTE CATASTRÓFICO OCURRIDO EN LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA SAYANO – SHUSHESKAYA A CAUSA DE VIBRACIÓN MECÁNICA. AÑO 2009 - RUSIA.



# VIJICSA

INGENIERÍA - MINERÍA - CONSTRUCCIÓN

INGENIERIA QUE PROYECTA, FABRICA E INSTALA CALIDAD

## MANUAL DE OPERACIÓN BOMBAS MARS

# MARS PUMPS

HIGH-PRESSURE SLURRY PUMPS

"for very low-cost operation"



## V & J INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN S. A.

Urb. Chacra Cerro Av. Gerardo Unger Mz "G" Lt. "8 C" Comas - Lima (Alt. Km. 24 Pan. Norte)

Tells.: 7192299 / 7192298 / 7192297 / 5378400 Fax Virtual: 7171095 Nextel: (99) 405\*7894

Web: [www.vijicsa.pe](http://www.vijicsa.pe) E-mail: [vijicsa@vijicsa.pe](mailto:vijicsa@vijicsa.pe) / [vparedes@vijicsa.pe](mailto:vparedes@vijicsa.pe)

## CONTENIDO

1. Introducción
2. Nombre de las Piezas
3. Montaje
4. Sistemas de Operación
5. Tanque de Alimentación ( tanque de succión)
6. Otras Facilidades
7. Lubricantes
8. Preparación para la operación
  - 8.1 Sección Mecánica
  - 8.2 Abastecimiento de Agua, abastecimiento de aire y procedimiento de purga de la cámara de aceite.
9. Operación
  - 9.1 Arranque
  - 9.2 Puntos a controlar durante la operación
  - 9.3 Como controlar la contaminación de aceite
  - 9.4 Como purgar aire durante la Operación
  - 9.5 Como Abastecer Aceite a la Cámara de Aceite durante la Operación
10. Fallas de la Bomba y sus Causas
11. Precauciones al manejar la Bomba
12. Suspensión de la Operación
  - 12.1 Suspensión de la Operación por corto Tiempo
  - 12.2 Suspensión de la Operación por Corto Tiempo cuando es posible que ocurra Congelamiento
  - 12.3 Suspensión de la Operación por Largo Tiempo
13. Otros
14. Manejo de la faja especial (Faja Lesycom)

## 1. INTRODUCCION

La BOMBA MARS es una bomba compacta reciprocante de alta presión y se diferencia de las bombas convencionales en poseer una cámara de aceite entre la caja de válvulas y el cilindro, las cámaras de aceite están llenas de aceite en la parte alta y de emulsión en la parte inferior, el aceite y la emulsión están separados por la diferencia en su gravedad específica respectiva, evitando la entrada de la emulsión en el cilindro cuando la bomba está en operación.

Es necesario, por eso, comprender bien el procedimiento de operación de las cámaras de aceite y las otras partes de esta bomba para hacer buen uso de ella. Este libro de instrucción siempre debe ser consultado cuando la bomba se pone en operación.

## 2. NOMBRE DE LAS PIEZAS

Para los nombres de las piezas que componen esta bomba, sírvase referir al Diagrama 1.

## 3. MONTAJE

3.1 Colocar el concreto de cimiento de acuerdo al diagrama de la cimentación.

3.2 Al diseñar el cimiento de concreto, determinar la profundidad de acuerdo con la calidad del suelo; las siguientes fórmulas se pueden usar como una guía general (Usualmente la resistencia del terreno para una carga por largo tiempo es más de 5 t/m<sup>2</sup> aproximadamente, exceptuando el caso del lodo).

La resistencia permitida del terreno: 5 t/m<sup>2</sup>.

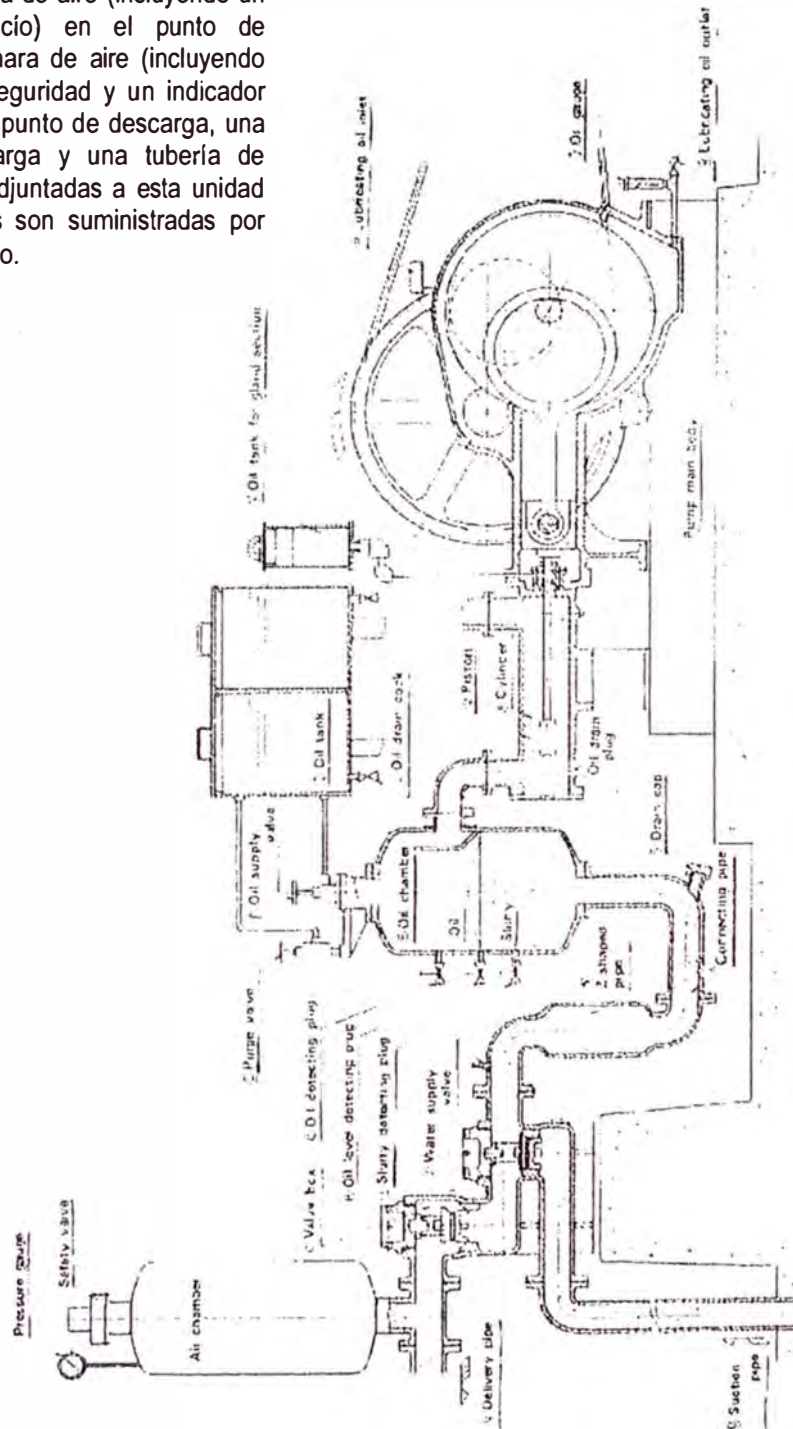
Peso de la base de concreto : 5\*peso de la máquina.

Modelo	Peso de la Unidad Principal	Peso Unitario de la Caja de Válvula	Peso del Motor	Peso de la Cámara de Aire	Peso Total (Incluyendo el peso supuesto del motor)	Peso Mínimo del Concreto
Modelo L-125	4 300 kg	700 kg	A ser determinado de acuerdo a la clase de motores.	1 000 kg	7 ton	35 ton
Modelo H-125	5 600 kg	730 kg		2 000 kg	10 ton	50 ton
Modelo L-180	10 400 kg	1 270 kg		2 000 kg	15 ton	75 ton
Modelo H-180	13 300 kg	1 510 kg		4 300 kg	21 ton	105 ton
Modelo L-225	17 000 kg	2 280 kg		3 500 kg	25 ton	125 ton
Modelo H-225	24 300 kg	2 340 kg		8 500 kg	39 ton	195 ton

Figura 1.

## COMPONENTE PRINCIPALES

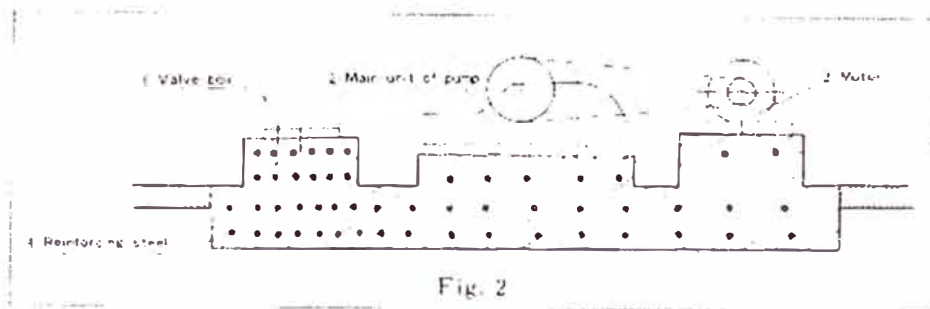
Nota: Una cámara de aire (incluyendo un indicador de vacío) en el punto de succión, una cámara de aire (incluyendo una válvula de seguridad y un indicador de presión) en el punto de descarga, una tubería de descarga y una tubería de succión no son adjuntadas a esta unidad de bomba. Ellas son suministradas por un costo moderado.



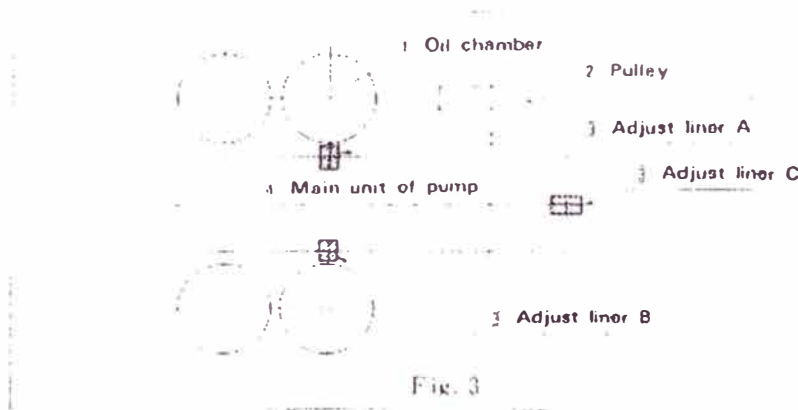




- 3.3 Construir una sola unidad de concreto reforzado para la base del motor de la unidad principal de la bomba y de la caja de válvula. Como la base de la caja de válvula debe tolerar vibraciones, se recomienda que la cantidad de acero para reforzar esta parte de la base sea aumentada.



- 3.4 Colocar el motor en la base deslizante para el templado de la faja.
- 3.5 Instalar la bomba en la base nivelada y alinear el centro de la polea de la bomba con el de la polea del motor.  
La precisión de nivel en la instalación de esta unidad, debe ser más de 5/100. Tomar estas medidas en la cara terminada de asentamiento superior del armazón en el caso de la unidad principal de la bomba, y en la superficie terminada luego de retirar la cubierta en el caso de la caja de válvula.
- 3.6 Para pernos de anclaje, utilizar los pernos adjuntos a la bomba y al motor. Para evitar la deformación del armazón debido al ajuste de los pernos de anclaje, colocar cajuelos de instalación para los pernos de anclaje, ajustar los pernos uniforme y firmemente, luego de haber realizado el arreglo cuidadoso con las cajuelas.
- 3.7 El ajuste con cajuelas al instalar la unidad principal de la bomba, de ser efectuada como sigue para evitar la distorsión y deflexión, luego de realizar el ajuste del nivel intermedio de cajuelas en los tres puntos A, B y C como se muestra en la siguiente figura Fig. 3, colocar cada perno de anclaje gradualmente en las cajuelas A y B que están localizadas en ambos lados observando el nivel exacto para que cada cajuela sea capaz de soportar una carga uniforme.



- 3.8 Luego de instalar la unidad principal en la base nivelada, conectarla con la caja de válvula por una tubería de "Z", "W" y la tubería de conexión "X" de acuerdo con la posición de la unidad principal, y luego determinar la posición de la caja de válvulas sin que exista una parte forzada o torsión de estas tuberías. Conectar las partes soldadas haciendo coincidir el juego de las marcas. Si se comete un error en la orden de instalación y se trata de conectar la unidad principal con la caja de válvula después de instalarlas separadamente, algunas veces la diferencia en la distancia de estas dos unidades hará imposible conectarlas o produciendo una abertura entre las bridas.

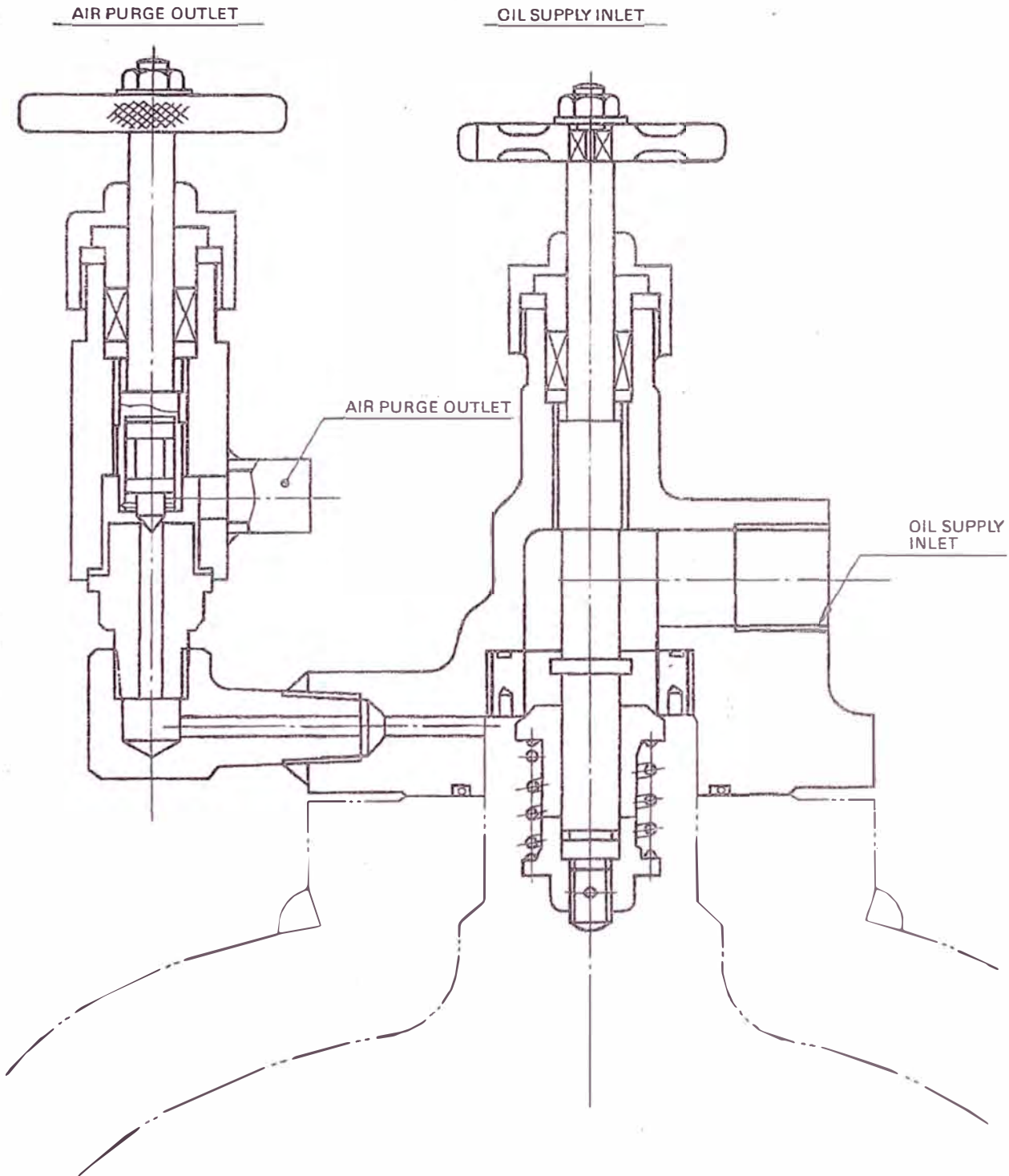


- 3.9Al conectar las bridas, tener cuidado que la empaquetadura "O" ring se salga o se rompa por estar atascada. Para evitar la salida del anillo ("O" ring), es muy efectivo engrasarlo. No usar jebe líquido, pegamento de empaquetaduras u otros adhesivos para este propósito, porque tales materiales pueden disminuir el efecto del cierre del "O" ring.
- 3.10 Instalar las bridas; las caras deben estar paralelas para un acoplamiento perfecto. Ajustar los pernos de las bridas uniformemente, en forma alternativa siguiendo un esquema diagonal. Luego de ajustarlo, chequear su acoplamiento por medio de un calibrador.
- 3.11 El torque de ajuste de los pernos debe ser proporcional a los diámetros de los pernos. Tener cuidado de no causar la rotura de los pernos por un ajuste excesivo o de dejarlos flojos por un ajuste insuficiente. También prestar atención al ajuste no simétrico de los pernos.

#### **4. SISTEMA DE OPERACIÓN**

- 4.1 Esta bomba se puede usar tanto en la operación de succión o en la operación de alimentación forzada, pero como esta bomba tiene una cámara de aceite entre el cilindro y la caja de válvulas y consecuentemente una resistencia de succión discretamente mayor que los otros tipos de bombas, instalar la tubería de succión de tal modo que minimice la resistencia de succión en caso de operación de succión.
- 4.2 Si la resistencia de succión es grande, la movilidad del pistón y la del fluido en la tubería de succión no coincidirían debido a la viscosidad y a la resistencia de fricción del fluido, desarrollando por lo tanto el fenómeno de fluctuación que resulta en aumento de vibraciones y ruido.
- 4.3 Cuando la resistencia de succión es comparativamente grande, el fenómeno de fluctuación puede ser disminuido instalando una cámara de aire en la tubería de succión.

## OIL SUPPLY VALVE AND AIR PURGE VALVE





- 4.4 La resistencia de succión varía según la viscosidad del material transportado, la estructura de la tubería de succión y del número de revoluciones de la bomba; es deseable que la resistencia de succión esté por debajo de 2 mAq aproximadamente (cuando el número de revoluciones está encima de 50 rpm, la resistencia está debajo de 1 mAq). Asegurarse de usar el modelo 225 para el sistema de alimentación forzada. Para otros modelos de bombas diferentes al modelo 225 a ser usadas en el sistema de succión, sírvase consultarnos.

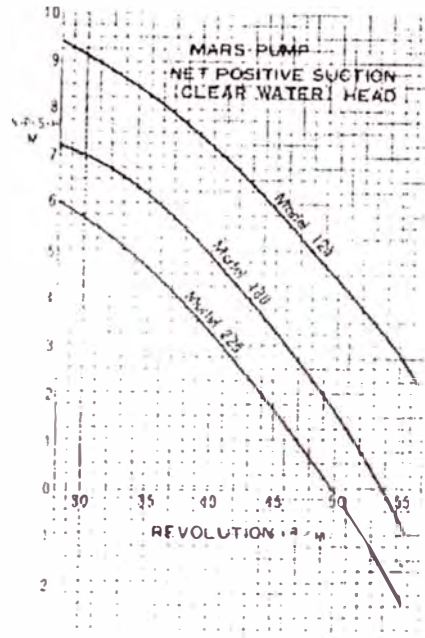


Fig. 4

- 4.5 Aún en caso de una operación de alimentación forzada, si la tubería es excesivamente larga o la altura de alimentación forzada es excesivamente alta, puede necesitar una cámara de aire en el lado de succión.

## 5. TANQUE DE ALIMENTACIÓN (TANQUE DE SUCCIÓN)

- 5.1 Instalar un tanque tan grande como sea posible.  
NOTA: Si el tanque es pequeño, aspira aire y causa la sedimentación de partículas de la emulsión debido al bajo flujo, resultando fallas en la bomba.
- 5.2 Instalar un agitador apropiado en el tanque para que las partículas de la emulsión no sedimenten en el tanque.
- 5.3 Instalar un dispositivo (p.e., una red de alambre) que evite la entrada de gránulos grandes o cuerpos extraños.
- 5.4 Tener cuidado de no dejar que la emulsión forme una gran cantidad de granos gruesos.
- 5.5 Las fluctuaciones leves en el nivel de agua del tanque no son dañinas para evitar un nivel de agua sumamente bajo.

## 6. OTRAS FACILIDADES

- 6.1 Es necesario que válvulas o llaves de cierre sean instaladas en la tubería de succión y de descarga de la bomba (ver ítem 8.2 10").
- 6.2 Asegurar las tuberías y la cámara de aire firmemente para que no vibren.



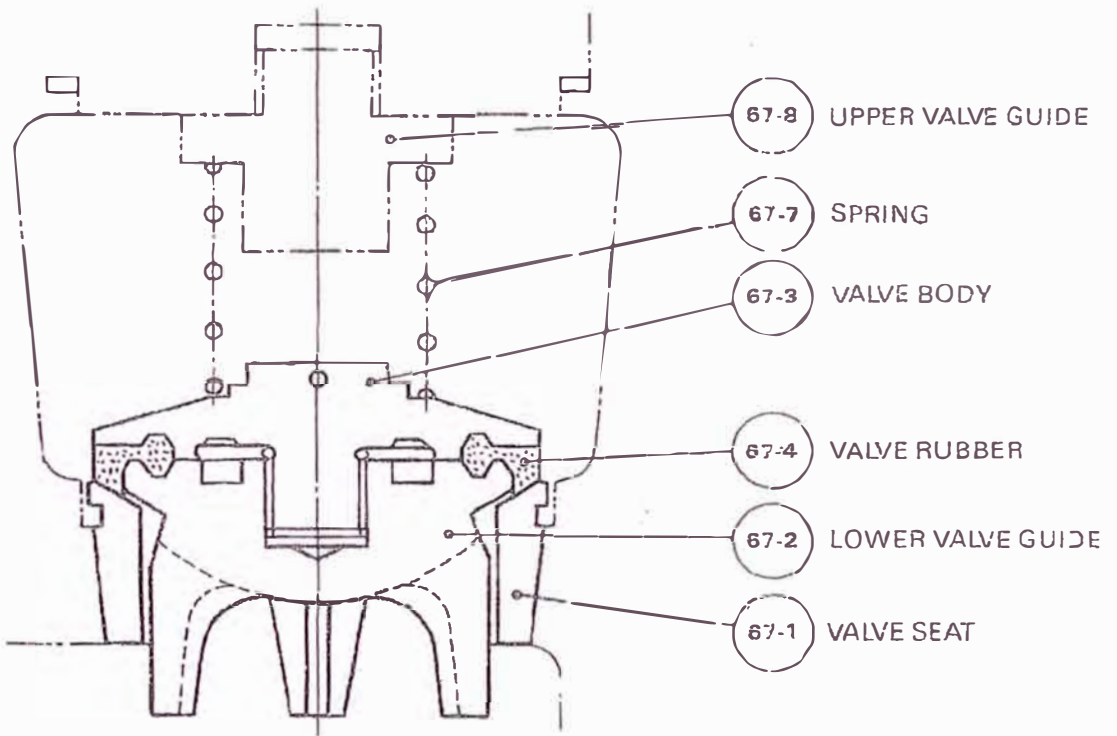
- 6.3 Antes de comenzar la operación de la bomba, aprovisar agua a una presión mayor de 1 kg/cm<sup>2</sup>, lo cual se requiere para el ajuste de nivel de agua en la cámara de aceite (ver ítem 8.1 "4").
- 6.4 Aprovisionar la siguiente cantidad de aceite para el uso de la cámara de aceite y en el cilindro.

Modelo 180	aprox.	750 l
Modelo 125	aprox.	250 l
Modelo 225	aprox.	1 200 l

## 7. LUBRICANTES

- 7.1 Aceite para la cámara de aceite y aceite para el tanque de aceite de la sección del collarín de prensaestopas.  
Aceite de turbina 90 es preferible (o aceite equivalente 90 140 (50°C) segundo Reewood), pero puede usarse cualquier tipo de aceite que tenga una viscosidad equivalente a la de aceite de turbina, (exceptuando aceite pasado y aceite de maquinaria).  
En todo caso, usar aceite limpio y transparente, luego de limpiarlo por filtración o sedimentación.  
Prestar atención especial al aceite del tanque de aceite de la sección del collarín de prensaestopas.

## MODEL 125 WATER VALVE





- 7.2 Usar grasa para cojinete del cigüeñal y rodajes del piñón.
- 7.3 Usar aceite para los engranajes JIS N° 6-8 (o equivalente al AGMA N° 6-8EP) para la sección excéntrica, rodajes de rodillos, la sección del pasador de embolo, rodajes de agujas, zapata de la cruceta y engranajes.

## 8. PREPARACIÓN PARA LA OPERACIÓN

- 8.1 Para las secciones mecánicas, realizar lo siguiente:
  1. Limpiar la bomba para remover impurezas acumuladas durante el transporte.
  2. Llenar la caja del cigüeñal con aceite lubricante hasta el nivel claramente marcado.
  3. Verificar y ver si la bomba gira suavemente cuando es rotada en vacío por operación manual.
  4. Verificar la tensión apropiada de la faja plana.
  5. Con la rotación en vacío de la bomba, verificar y ver que la volante rote en la dirección correcta.
  6. La dirección de rotación está marcada por una flecha en la volante.

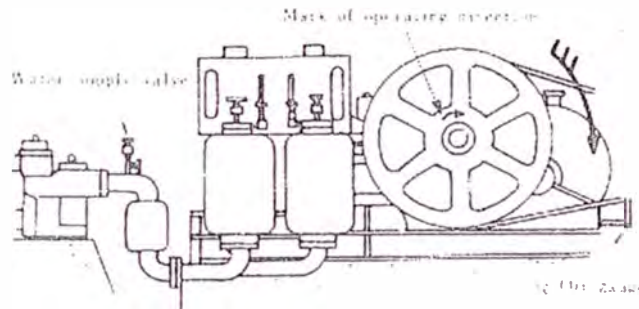


Fig. 5

- 8.2 Abastecimiento de agua, abastecimiento de aceite y procedimiento de purga de cámara de aceite.

- **Preparación**

1. Cerrar todas las válvulas.
2. Llenar cada cámara del tanque de aceite "D" con aceite.
3. Colocar el pistón "U" en el centro del cilindro "A" (La posición será cuando las dos marcas de flecha coinciden).

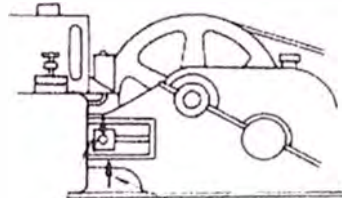


Fig. 6

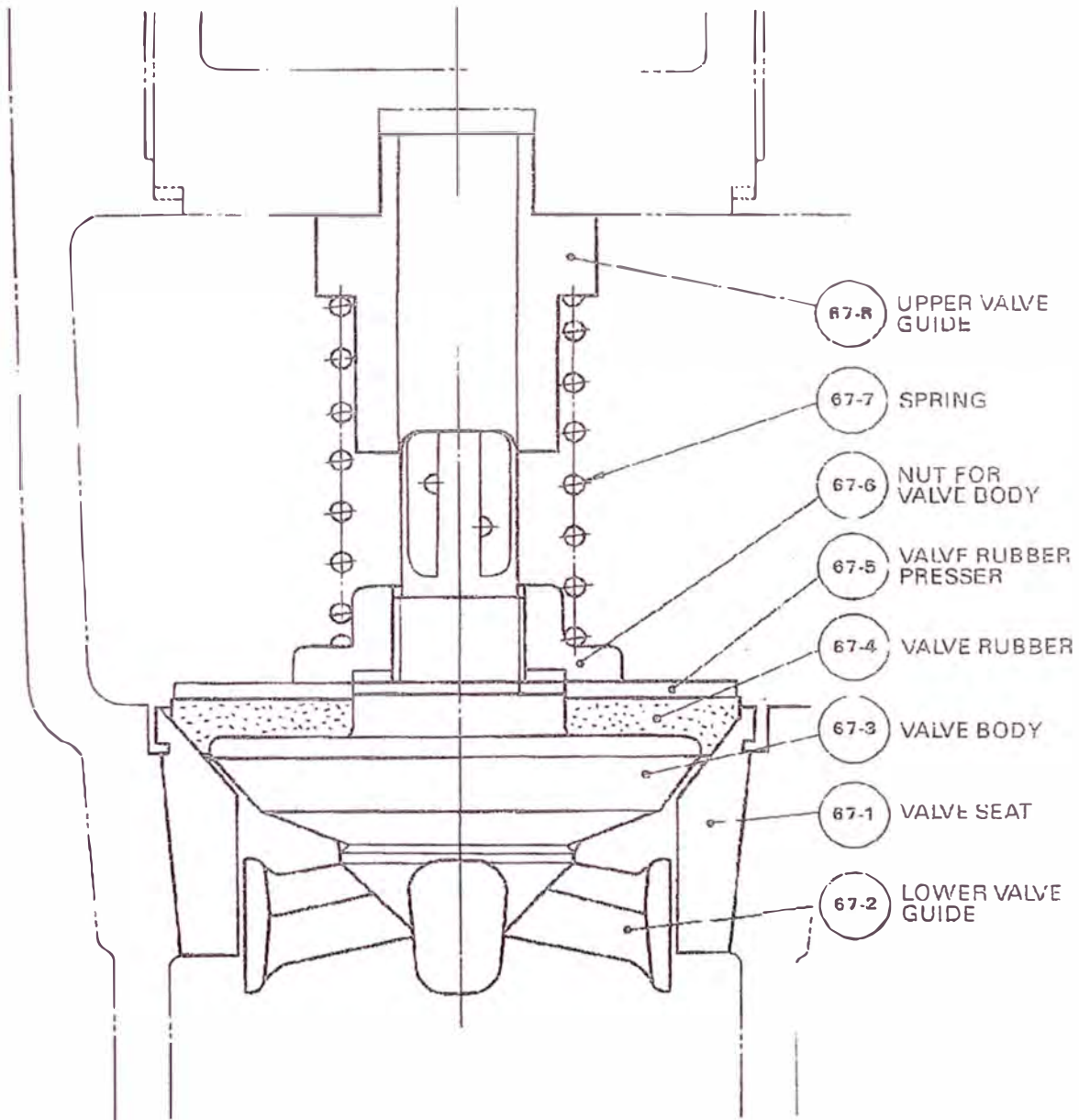
- **Abastecimiento de agua.**

4. En la cámara de aceite "B" en el lado donde el pistón "U" está localizado en el centro del cilindro "A", abrir la válvula de purga de aire "E" y el tapón para detectar el nivel de aceite "H", y luego abrir la válvula de abastecimiento de agua "J" para abastecer agua a presión cuando el agua fluye hacia fuera del tapón de detección del nivel de aceite "H", cerrar la válvula de abastecimiento de agua "J" para interrumpir el llenado de agua.

NOTA: En este momento, tener cuidado de no abastecer con mucha agua, porque si no, el agua podría entrar al cilindro "A".



# MODEL 180 WATER VALVE



- **Abastecimiento de aceite.**

5. Cuando el agua deja de correr por el tapón para detectar el nivel de aceite "H", cerrar el tapón "H" y abrir completamente la válvula de abastecimiento de aceite "D" fluya a la cámara de aceite "B".

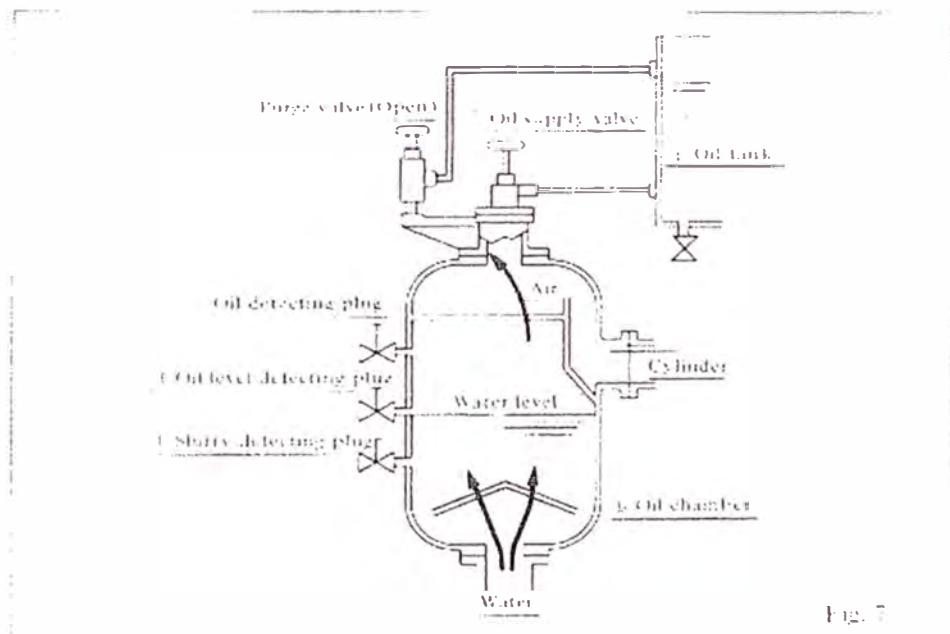
El aire en la cámara de aceite "B" es expulsado por el aceite y escapa por la válvula de purga de aire "E".

Cuando el cilindro "A" y la cámara de aceite "B" están llenos con aceite, el abastecimiento de aceite puede pararse. En este momento, para evitar que se quede aire en la cámara de aceite, seguir inmediatamente con la operación de purga de aire como se explica a continuación.

- **Purga (Fig. 7)**

6. Cuando la cámara de aceite "B" está llena de aceite, dejar abierta la válvula de purga de aire "E" y abrir la válvula de abastecimiento de agua "J" para expulsar el aire restante en la parte superior de la cámara de aceite "B" con agua a presión.

Cuando ya no sale aire por la válvula de abastecimiento de agua "J" es este momento, como el aceite en la cámara de aceite "B" es empujado hacia fuera y la cantidad de aceite disminuye, rellenar de aceite hasta su nivel.



- **Rellenar de aceite.**

7. Abrir completamente la válvula de abastecimiento de aceite "F" y luego abrir el tapón para detectar el nivel de aceite "H" expulsando agua sobrante hasta que el aceite empiece a salir por el tapón para detectar el nivel de aceite "H".

- **Indicación de la posición de nivel de aceite (Fig. 8).**

8. Colocar el indicador de nivel en la posición de nivel de aceite del tanque superior de aceite (D).



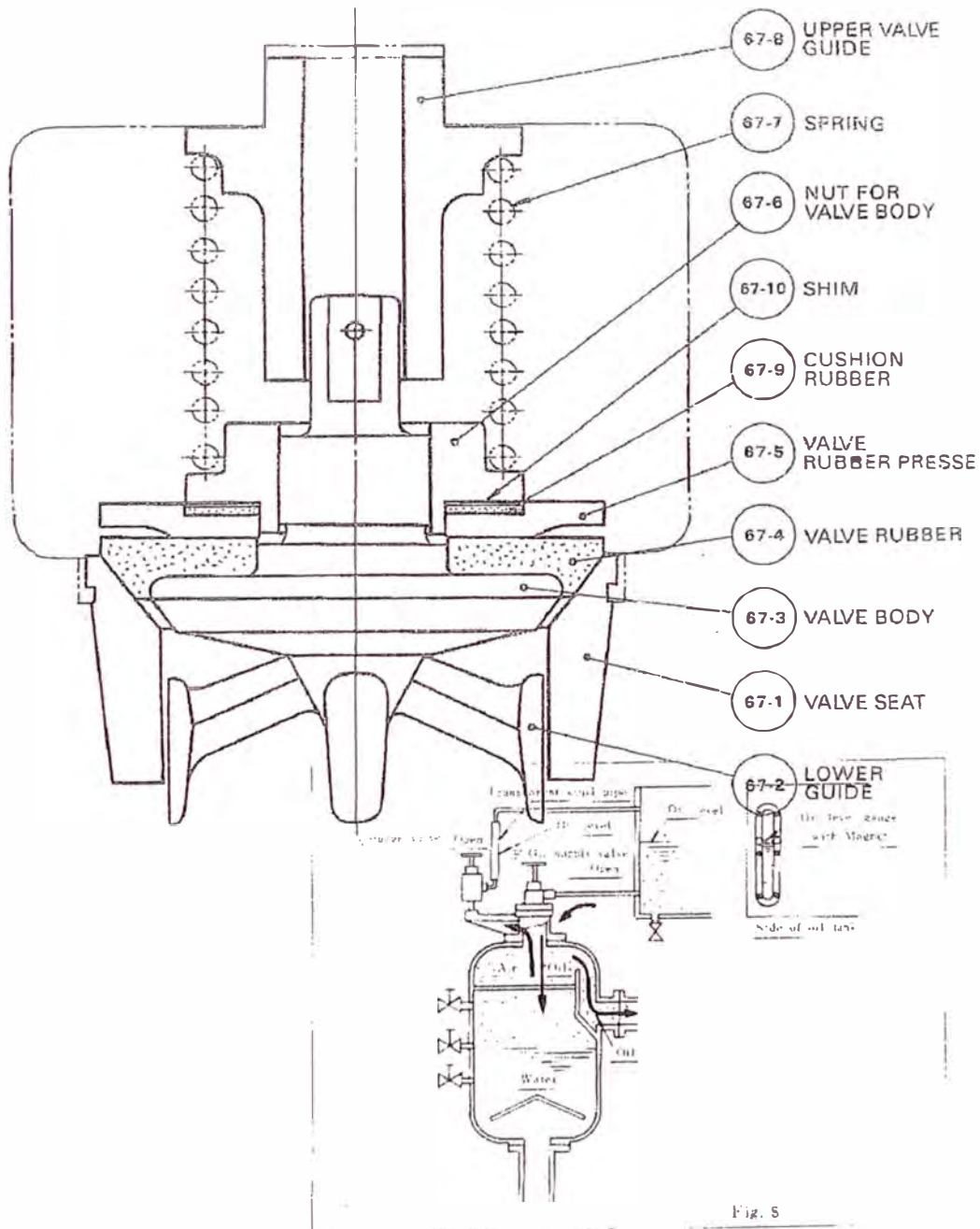
**VJICSA**  
INGENIERÍA · MINERÍA · CONSTRUCCIÓN



NOTA: El área de sección del tanque de aceite (D) está hecha aproximadamente igual a la de la cámara de aceite (B), observe el indicador del tanque de aceite y le indicará de forma gruesa la velocidad de movimiento del nivel de aceite arriba y abajo en la cámara de aceite al tiempo de suministrar aceite desde el tanque de aceite a la cámara de aceite o retomando aceite desde la cámara de aceite al tanque de aceite.

Por las fluctuaciones del nivel de aceite del tanque de aceite, la posición de la cámara (B) puede ser gruesamente asumida.

**MODEL 225 WATER VALVE**



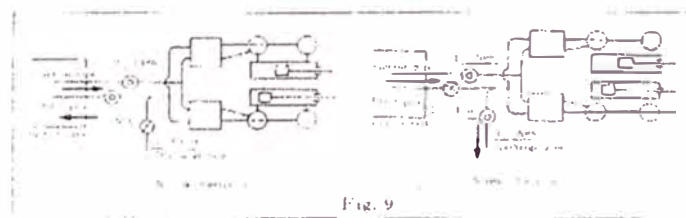
- **Completando la Preparación para la Operación**
9. Alejarse del área de operación de las cuatro cámaras de aceite y entonces abrir completamente las válvulas de descarga y tuberías de succión. La preparación para la operación está ahora completa.
- **Confirmación.**
10. Cuando el aire está completamente purgado por la operación antes descrita, la bomba puede arrancar, pero es necesario verificar de nuevo y comprobar que no hay aire sobrante en la cámara de aceite, abriendo la válvula de purga de aire "E" mientras que la bomba está todavía rotando a baja velocidad al tiempo del arranque, o inmediatamente después que la bomba está en operación.
- **Precauciones.**
11. Si hay algún escape en las válvulas de succión o de descarga, el nivel de aceite baja, y se requiere demasiado aceite para abastecer. Particularmente cuando la tubería de succión no está provista de una válvula o de una llave de paso, el aceite fluirá al tanque de succión. En caso de la operación de alimentación forzada, será difícil regular el nivel de aceite si la tubería de succión no está provista de una válvula. En tal caso, instalar una válvula a la tubería de succión.
  12. Sin saber si las válvulas están buenas o no, verificar el nivel de aceite antes de operar abriendo el tapón para detectar el nivel de aceite "H" y abastecer agua o aceite nuevamente si el nivel de aceite se encuentra incorrecto.

## 9. OPERACIÓN

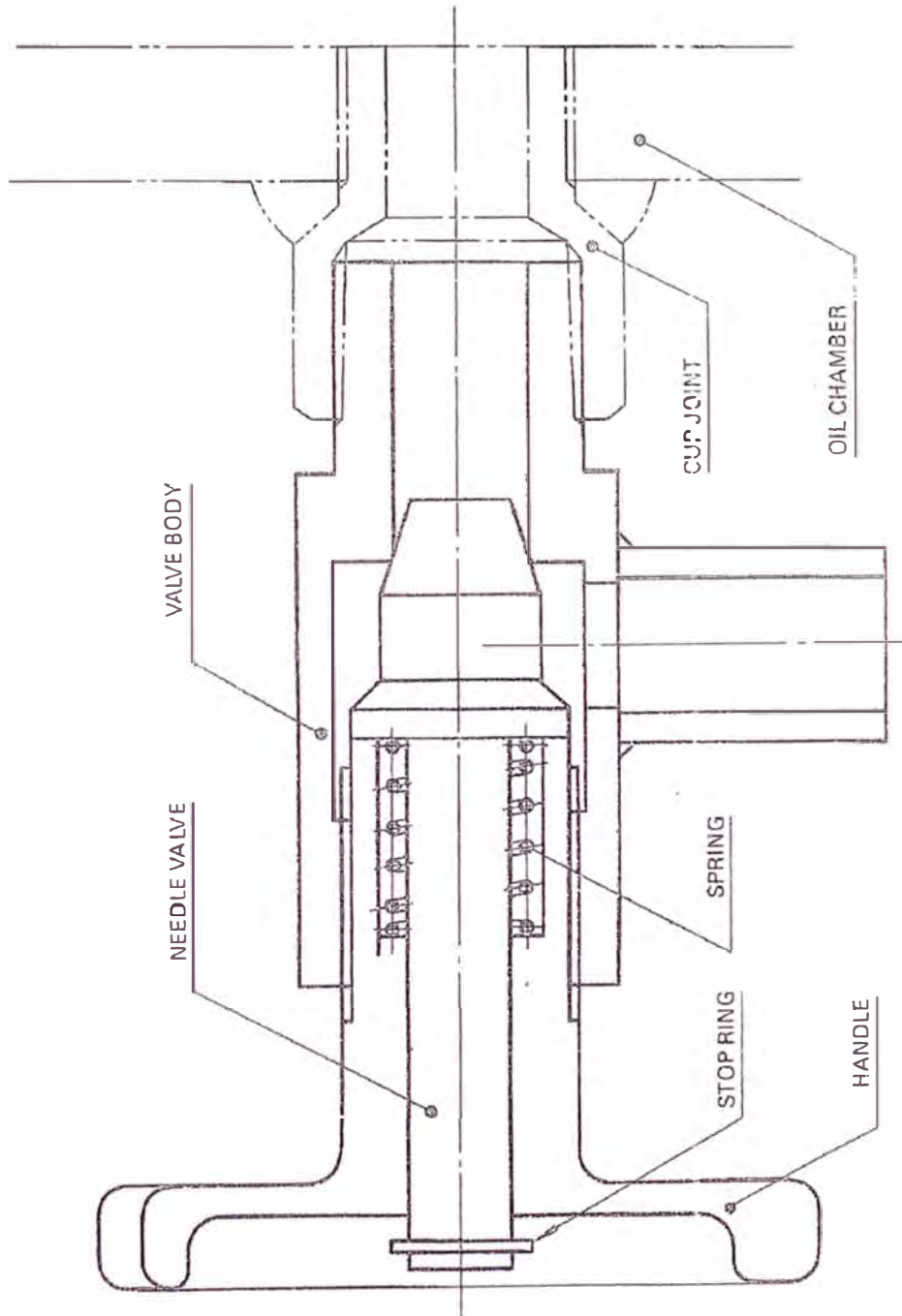
### 9.1 Arranque

1. Abrir completamente las válvulas de la tubería de succión y de descarga.
2. Arrancar el motor.

Si las tuberías permiten operar sin carga, seguir la operación por un rato y confirmar la normalidad de la bomba, recién entonces conectar las válvulas y empezar la operación normal (Fig. 9).



# OIL, OIL LEVEL, SLURRY DETECTING PLUG

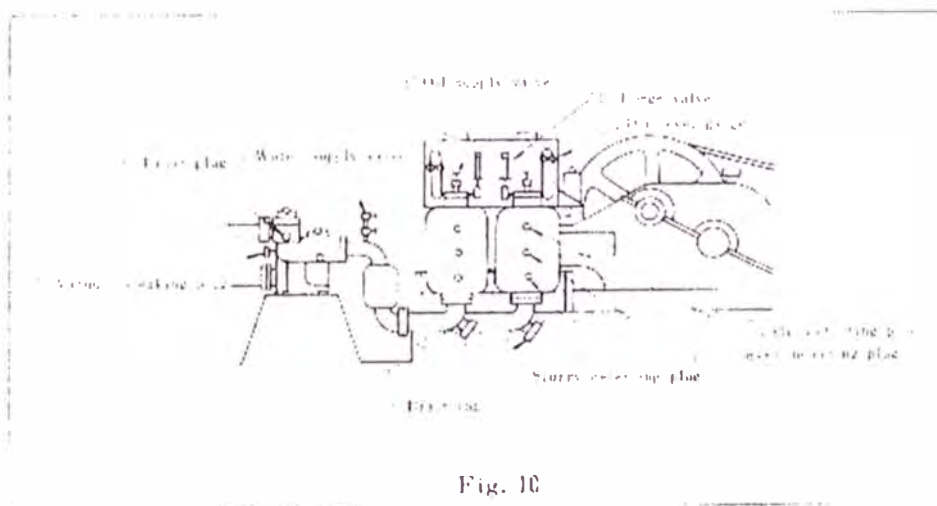


## 9.2 Puntos a controlar durante la Operación.

1. Chequear la contaminación de aceite.
2. Purgar la cámara de aceite (El tiempo en el que se acumula aire en la cámara de aceite es diferente según las condiciones de operación, consecuentemente el número de veces que se necesite purgar estará de acuerdo al lugar de trabajo. Por lo general, hay muchos lugares de trabajo donde el número de veces a purgar es de una a tres veces cada 8 horas de operación una vez que está estabilizada la marcha).
3. Rellenar aceite cuando sea necesario.
4. Confirmar el nivel básico de aceite en la caja del cigüeñal.
5. Confirmar los caballos de fuerza del motor medio del amperímetro, watímetro y voltímetro, y chequear estos medidores por vibraciones anormales de sus manecillas.
6. Chequear los ruidos o vibraciones anormales.
7. Chequear todas las secciones deslizables por temperatura elevada, (chequear con la mano la cubierta de los cojinetes fondo exterior de la guía de cruceta y el tornillo para sujetar el collarín de prensaestopas).
8. Chequear los manómetros de presión y de vacío para ver si indica alguna anomalía.
9. Chequear el tanque de aceite "D" por fluctuación del nivel de aceite.

## 9.3 Como Controlar la Contaminación de Aceite

1. Hacer un reglamento para comprobar la contaminación de aceite, cuando la bomba está parada.
2. Cuando la bomba está en operación 24 horas al día, es imposible pararla. En tal caso, la comprobación debe ser realizada mientras la bomba está en operación.
3. El intervalo de la comprobación de aceite varía dependiendo de las condiciones de uso, igual que la purga. Como una regla general, chequear el aceite una vez cada hora al principio, y cuando ninguna anomalía se observa durante una semana, una vez cada 5-10 horas. Si no hay anomalía, el chequeo puede ser efectuado solamente cuando la operación de la bomba está temporalmente parada.
4. Métodos para controlar la contaminación de aceite (Fig. 10).

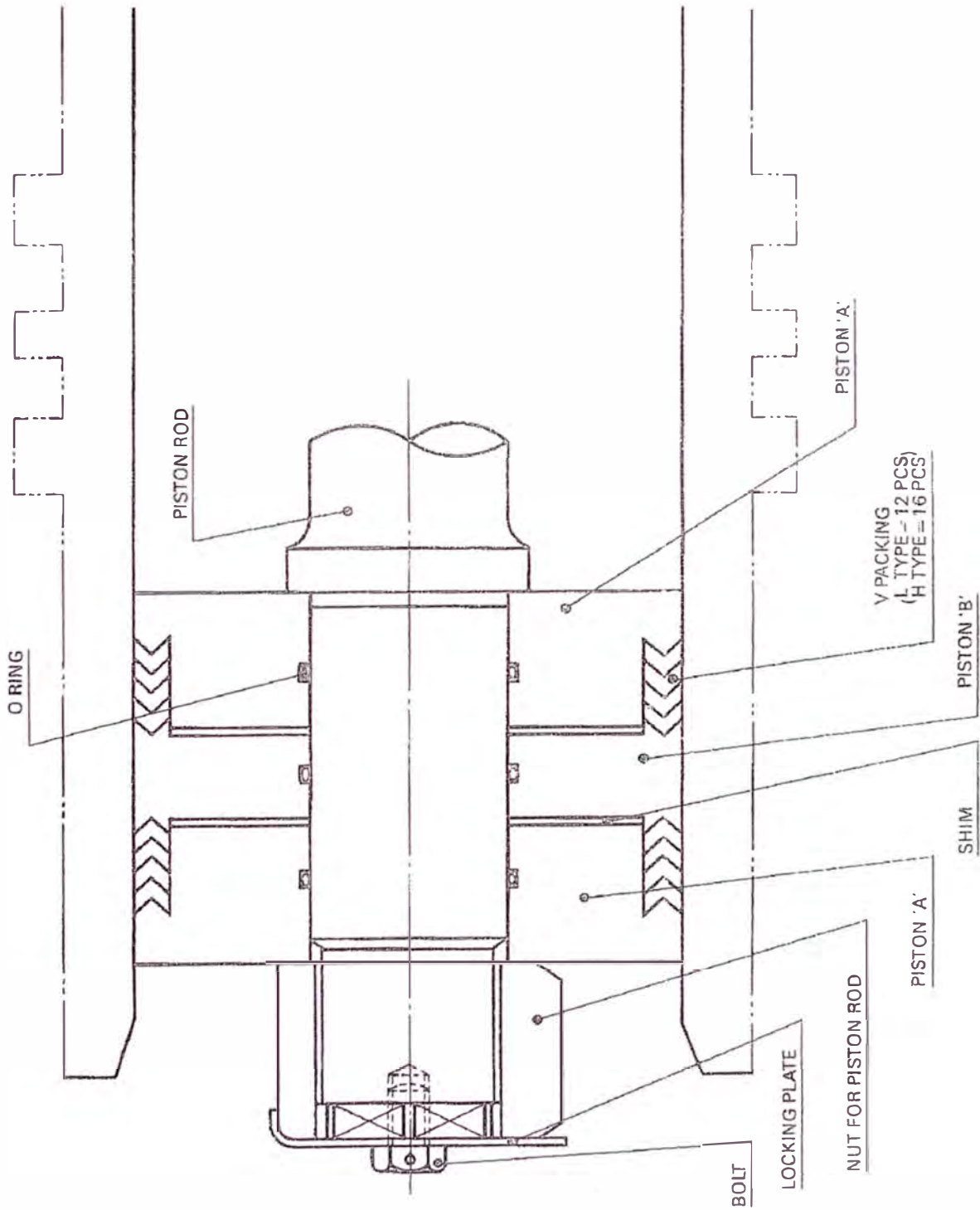


- **Cuando la bomba está temporalmente parada.**  
Sacar una cantidad apropiada de aceite (una pequeña cantidad es suficiente) abriendo primero la válvula de abastecimiento de agua "J", y luego abriendo completamente el tampón para detectar aceite "G" por un tiempo muy corto.

- **Chequear mientras la bomba está en operación.**  
Mientras la bomba está en operación, aflojar la manija del tapón para detectar el aceite "G" con 1-3 vueltas, el aceite es gradualmente expulsado en el momento de descarga. Cuando la bomba está temporalmente parada, es imposible revisar el aceite a menos que la manija esté completamente abierta. El tapón para detectar la emulsión "I" y el tapón para detectar el nivel de aceite "H" tiene la misma construcción como se indica líneas arriba.
5. Cuando el aceite que ha sido expulsado del tapón para detectar el nivel de aceite "G" se haya mezclado con agua o emulsión, se puede suponer que la emulsión ha entrado en el cilindro. Abrir uno por uno los tapones de drenaje de aceite del cilindro "K" en el lado por el cual el agua ha salido, después de la suspensión de la operación, y comprobar si sale o no agua del interior del cilindro. Si solamente sale aceite de todos los tapones, regular apropiadamente el nivel de aceite y empezar la operación nuevamente. Si sale agua del cilindro a través de alguno de los tapones, el cilindro necesita desmontar y limpiarlo. Al abrir los tapones de drenaje de aceite "K", abrir también la válvula de abastecimiento de aceite "F".
- NOTA: Mientras la bomba está en operación, el nivel de la emulsión en la cámara de aceite sube y baja 4 - 5 cm, por lo general no excede estos límites. Sin embargo, cuando la bomba está en operación unilateral debido a anomalías en las válvulas o cuando las empaquetaduras del pistón están gastadas, el aceite de la cámara de aceite es probable que se mueva, por eso, cuando la bomba está en operación por largo tiempo, es necesario verificar el aceite de vez en cuando.



# PISTON DETAIL





#### 9.4 Como purgar Aire durante la operación.

El aire contenido en la válvula o aspirado del tanque de succión, gradualmente se acumula en la parte alta de la cámara de aceite. En tal caso la cantidad de descarga disminuirá y algunas veces un golpeo se escucha.

Es necesario, entonces, purgar ocasionalmente (Ver 9.2 "2"). Cuando se purga, abrir la válvula de aire "E" poco a poco 1 – 3 rotaciones y el aire que sale se puede observar cuando pasa por la manguera de vinil de la válvula de purga de aire "E". Cuando ya no sale aire, cerrar la válvula de purga de aire "E".

NOTA: Mientras la purga se realiza, el aceite en la cámara de aceite también será eliminado. Rellenar aceite en la misma cantidad eliminada. Por ejemplo, cuando el nivel de aceite del tanque de aceite "D" se eleva más de 1 cm, agregar aceite hasta que regrese a su nivel original.

#### 9.5 Como Abastecer Aceite a la Cámara de Aceite durante la Operación.

##### 1. Cuando la bomba está en operación de Succión-alimentación.

Cuando el aceite de la cámara de aceite "B" ha disminuido aflojar la válvula de abastecimiento de aceite "F" con 1 – 3 rotaciones, (abrir la válvula completamente cuando la operación de la bomba es temporalmente parada), entonces el aceite será succionado en el momento del golpe de succión y no será eliminado en el momento del golpe de descarga, haciendo posible el relleno del aceite.

NOTA: Si la válvula de abastecimiento de aceite "F" está completamente abierta durante la operación, el abastecimiento de aceite se hace imposible, ver diagrama 29.

Cuando la bomba está parada, el abastecimiento de aceite es imposible con la válvula de abastecimiento de aceite media abierta, asegurar, por eso de abrirla completamente para abastecer de aceite.

##### 2. Cuando la bomba está en operación de alimentación forzada. Si la carga de alimentación forzada es considerablemente alta, algunas veces se hace imposible abstenerse, aún si la válvula de abastecimiento de aceite "F" está abierta mientras la bomba está en operación, por eso abstenerse de aceite luego de cerrar la válvula de la tubería de succión, cerrando un poco la válvula del lado de succión.

Abrir completamente la válvula de succión luego de que el abastecimiento se ha completado.

## 10. FALLAS DE LA BOMBA Y SUS CAUSAS

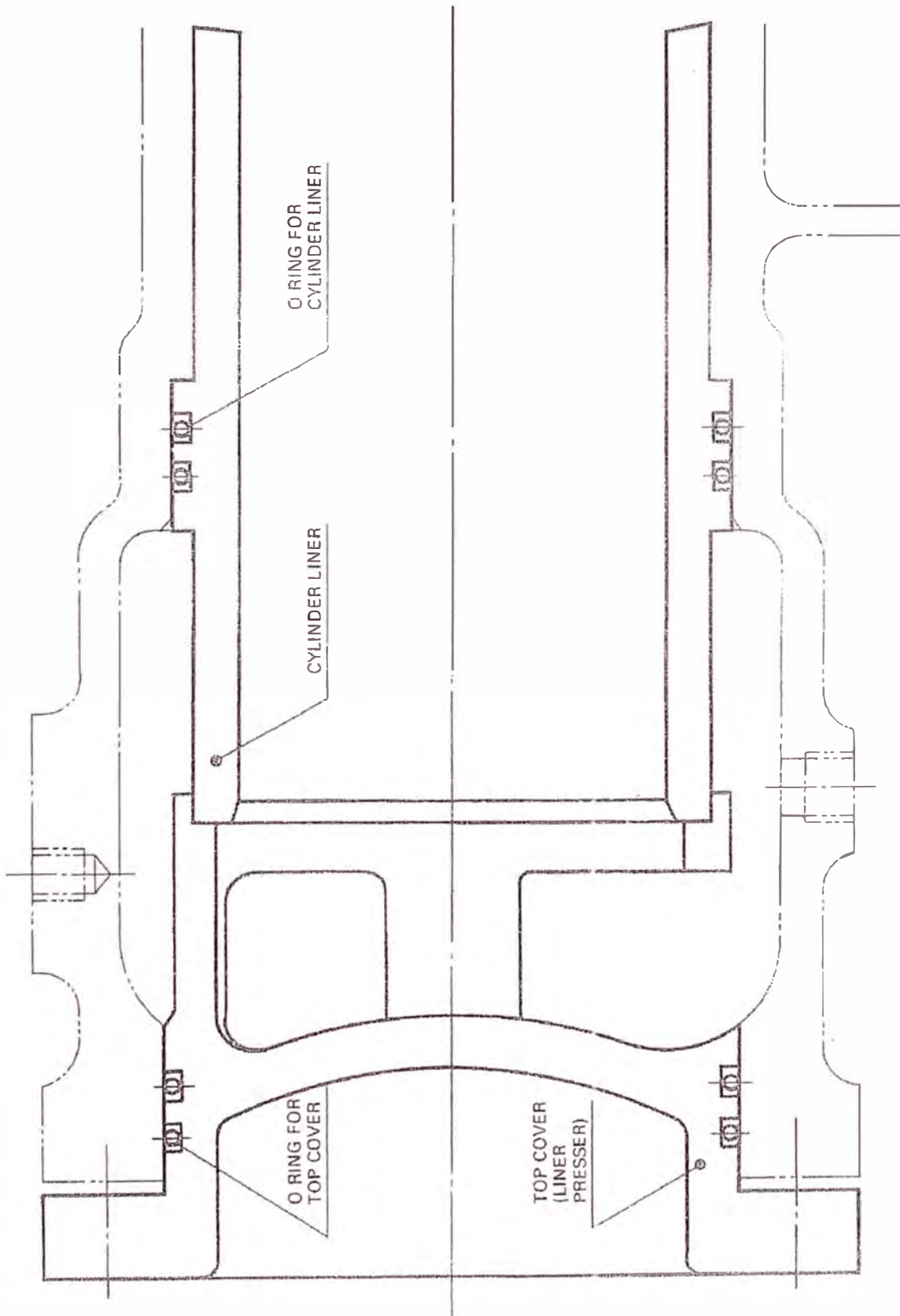
### 12.1 Fallas de la bomba debido a la Succión de Aire.

1. Decrece la cantidad de descarga.
2. Aumentan vibraciones y ruido.
3. Se hacen anormales las indicaciones de varios indicadores.
4. Las válvulas algunas veces se obstruyen.
5. Las tuberías de conexión entre la caja de válvulas y la masa de aceite se bloquean.

### 12.2 Cuando materias extrañas penetran o se produce una cantidad anormal grande de Gránulos Gruesos.

1. La cantidad de descarga disminuye.
2. Los indicadores de presión, de vacío, amperímetro y otro se hacen anormales.

# CYLINDER LINER AND TOP COVER





3. La operación se hace literalmente, y el nivel de aceite en la cámara de aceite varía luego de operar por muchas horas.
  4. Se bloquean las tuberías de conexión.
- 12.3 Cuando la relación de succión es muy fuerte.
1. Las vibraciones se hacen mayores y el ruido aumenta.
  2. Se acumula aire en la cámara de aceite.
- 12.4 Cuando la cámara de aceite en el lado de descarga presenta escape de aire (debido al "O" ring), ruido o vibraciones aparecen.
- 12.5 Cuando se agota el aire en la cámara de aire en el lado de succión, aparecen ruido y vibraciones.

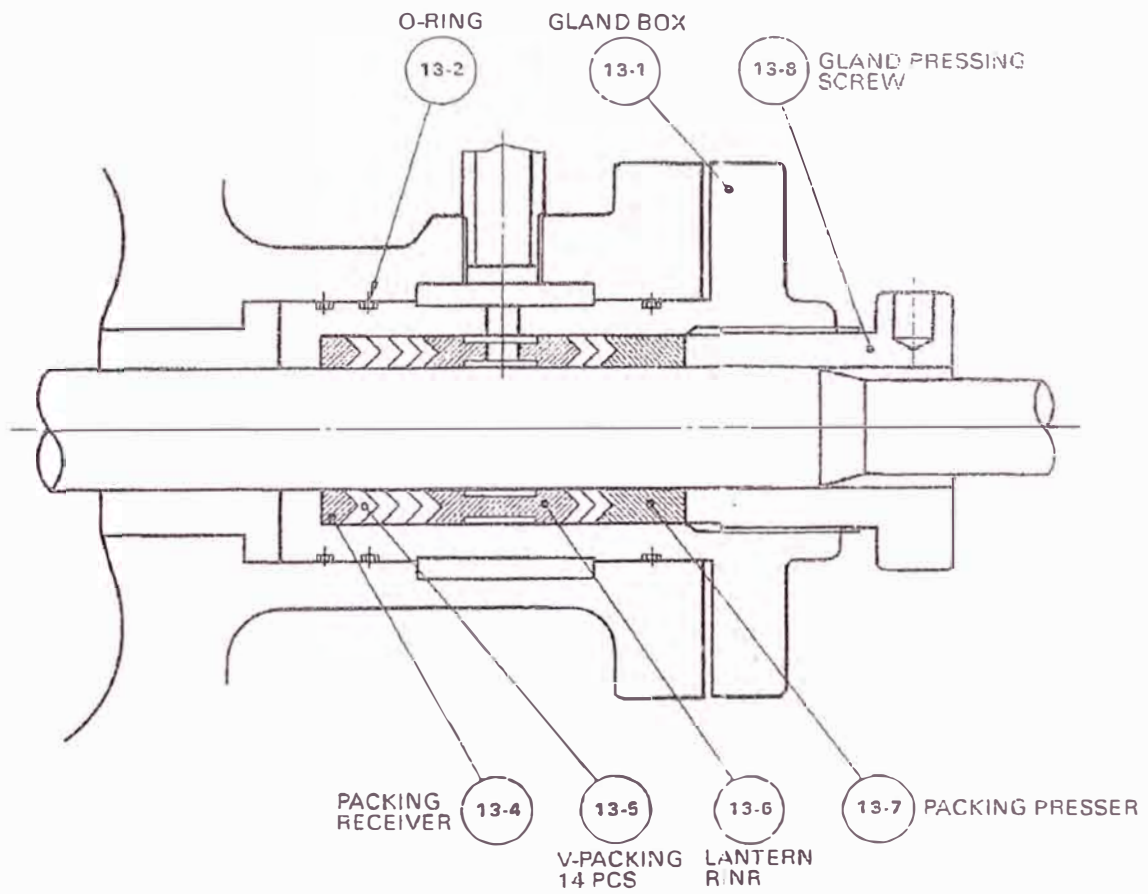
## **11. PRECAUCIONES AL MANEJAR LA BOMBA**

- 11.1 En caso de operaciones de succión, disminuir la resistencia de succión tanto como sea posible y hacer el tanque tan grande como sea posible.
- 11.2 Evitar la succión de aire lo más que sea posible.
- 11.3 Evitar la entrada de materias extrañas.
- 11.4 Evitar la subida presencia de gránulos gruesos.
- 11.5 Purgar el aire de la cámara de aceite ocasionalmente.
- 11.6 Antes de operar, verificar el nivel de aceite en la cámara de aceite.
- 11.7 Para evitar el bloqueo de la tubería en el momento de la interrupción de energía, facilitar el lavado con agua.
- 11.8 Asegúrese de mantener cerradas todas las válvulas.
- 11.9 No abrir el tapón para detectar el aceite, ni para detectar la emulsión durante la operación a menos que sea absolutamente necesario.
- 11.10 Durante la operación, chequear el indicador de presión, indicador de vacío, amperímetro, voltímetro, ruido y vibraciones por cualquier anomalía.
- 11.11 Chequear los rodajes tocando sus cubiertas con la mano para detectar temperatura anormalmente elevada.
- 11.12 Chequear el nivel de aceite que sube y baja en el tanque de aceite para la sección del collarín de prensaestopas "S". Si el nivel de aceite se mueve hacia arriba y abajo más de 5mm/h (aprox), aflojar el tornillo del equipo de la sección del collarín de prensaestopas en 30° aproximadamente. Si el collarín de prensaestopas se calienta excesivamente, reemplazar las empaquetaduras del collarín por una nueva o limpiarla después de desmontarlas.

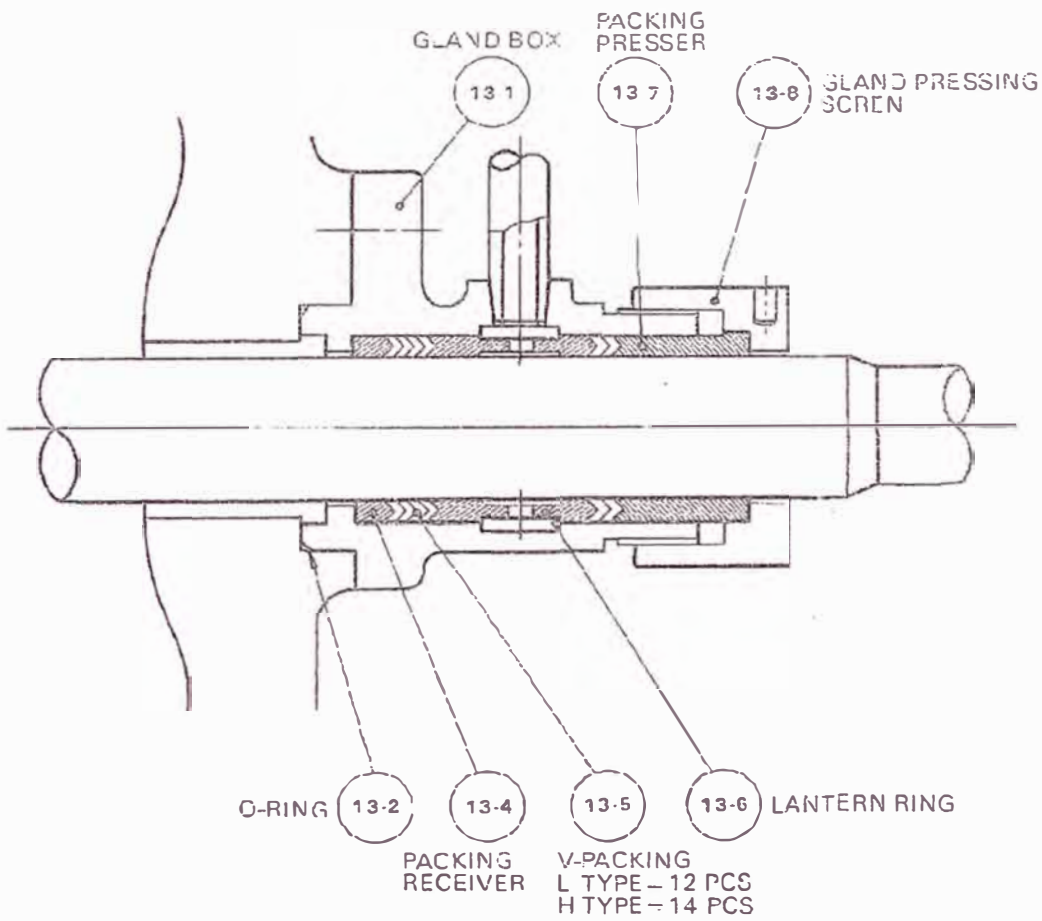
## **12. SUSPENSIÓN DE LA OPERACIÓN.**

- 12.1 Suspensión de Operación por Corto Tiempo.  
Cuando se maneja la emulsión de alta densidad y precipitados pueden bloquear las tuberías, cambiar de operación de emulsión a operación de agua limpia por más de 30 minutos antes de suspender la operación, y evacuar completamente la emulsión y luego suspender la operación. Dejar el aceite como está.
- 12.2 Suspensión de la Operación por Corto Tiempo cuando es posible que ocurra Congelamiento.
  1. Cambiar a operación con agua limpia, evacuar la emulsión y luego para la boba.

## MODEL 125/180 GLAND DETAIL



**MODEL 225 GLAND DETAIL**





2. Evacuar el aceite de la cámara de aceite.  
Abrir la válvula de purga de aire "E". Luego de abrir la válvula de purga de aire "E", abrir el tapón para detectar el nivel de aceite "H" y el tapón para detectar el aceite "G" y evacuar el aceite de estos tapones detectores "H" y "G"  
Juntar el aceite evacuado en un recipiente y luego regresarlo al tanque de aceite "D".
3. Drenar el agua contenida en la cámara de aceite, caja de válvula y tubería de succión y de descarga de la bomba. El agua de la cámara de aceite puede ser drenada removiendo la tapa de drenaje.
4. Cuando el aceite y agua han sido drenados, cerrar todas las válvulas, tapones y tapas a sus posiciones originales.

### 12.3 Suspensión de la Operación por Largo Tiempo.

Adicionalmente a lo indicado en el Item 12.2, realizar lo siguiente:

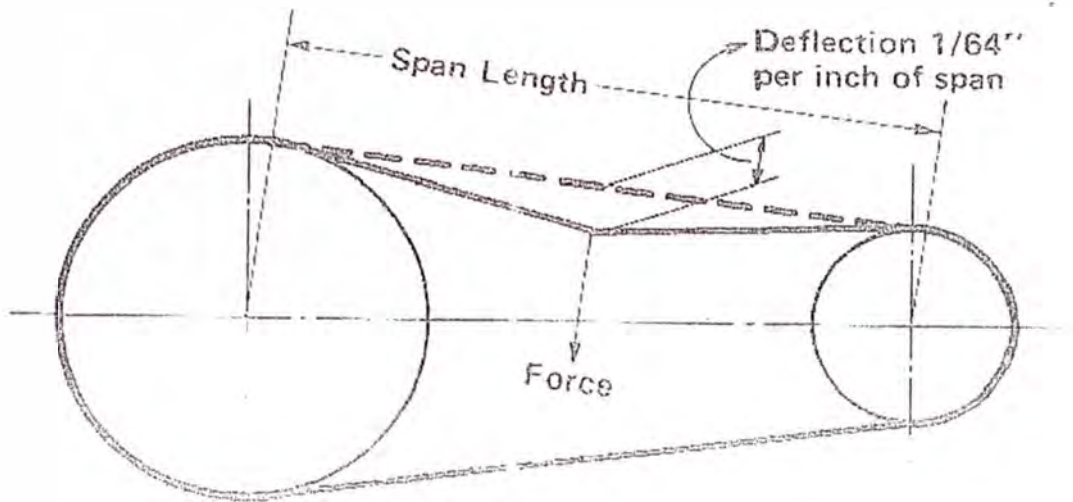
1. Vaciar el aceite contenido en el cilindro retirando el tapón del drenaje de aceite "K" debajo del cilindro.
2. Abrir la salida de aceite lubricante "R" y evacuarlo de la caja del cigüeñal.
3. Si es necesario, evacuar el aceite del tanque de aceite "D" abriendo la llave de drenaje de aceite "L".

## 13. OTROS

- 13.1 Cuando la caja de válvulas se abre y las válvulas son chequeadas durante la suspensión de operación, asegurarse de mantener cerradas la válvula de abastecimiento de aceite "F", la válvula de purga de aire "E" de la cámara de aceite y todos los tapones detectores "G", "H" e "I", (si están abiertos, el aceite de la cámara de aceite puede derramarse).
- 13.2 Cuando hay aceite en la cámara de aceite, no abrir la tapa de drenaje "S".
- 13.3 Una tubería de abastecimiento de aceite corre desde el tanque de aceite de la sección del collarín de prensaestopas de la varilla del pistón. Esto forma un sello de aceite para evitar la succión de aire cuando la sección del collarín de prensaestopas se gasta.  
También chequear de vez en cuando el flujo de aceite, revisando la manguera de vinil.

## 14. MANEJO DE LA FAJA ESPECIAL (FAJA LESYCOM)

- 14.1 Para instalar faja nueva.  
La tensión de las fajas en una transmisión por fajas en V, no es generalmente tan importante. Unas reglas sencillas sobre la puesta en tensión satisfacen la mayoría de los requisitos.
  1. La mejor tensión de faja para una transmisión de faja en V es la más baja tensión a la cual la faja no se resbala frente a una carga más pesada.
  2. Chequear la tensión de la nueva transmisión frecuentemente durante el primer día de operación.
  3. De ahí en adelante chequear la tensión de transmisión periódicamente.



4. Mantener las fajas y las poleas libres de materiales extraños que puedan causar deslizamiento.
5. Si una faja en V de transmisión resbala, ajustarla.

Las fajas en V convencionales por operar a una tensión superior.

Para poner la tensión apropiada de una faja en V angosta, seguir los tres pasos siguientes:

1. Luego de colocar la faja en V angosta en las ranuras de las poleas, aumentar la distancia entre las poleas hasta que la faja en V esté bien ajustada.
2. Operar la transmisión por algunos minutos y observar la curvatura (deflexión) en la faja floja. Ajustar hasta que solamente una pequeña deflexión aparezca en el lado superior de la faja en V, estando en operación.
3. Durante la operación normal, una faja en V se acomodará sola en las ranuras de las poleas y se necesitará la verificación periódica para mantener la tensión. El asentamiento ocurre más rápido durante las primeras 20 – 24 horas de operación. Es muy importante que la tensión de transmisión sea chequeada cuidadosamente durante este período y retensionada como se menciona en el párrafo 2.

Los tres siguientes procedimientos son métodos simplificados para poner en tensión una faja en V.

1. Medir la distancia para la transmisión.
2. En el centro, aplicar una fuerza con una escala de resorte en forma perpendicular al tramo que la faja sea curvada por una cifra equivalente a 1/64" por pulgada (1.6 mm por cada 100 mm).
3. Medir la fuerza y compararla con la tabla 8. Si la fuerza de deflexión se halla entre valores mínimos y máximos de fuerza de deflexión, la tensión es adecuada.

#### Fuerza de Deflexión de Faja (Libras)

Sección Transversal	Dimensiones del Diámetro Menor	Fuerza Mínima en Libras	Fuerza Máxima en Libras
---------------------	--------------------------------	-------------------------	-------------------------



3V	2.65 a 3.35	3.5	4.8
	3.65 a 4.50	4.2	6.0
	4.75 a 6.00	4.8	7.0
	6.50 a 10.6	5.5	8.0
5V	7.10 a 10.3	11.6	17.0
	10.9 a 11.8	13.0	19.0
	12.5 a 16.0	14.3	21.0
8V	12.5 a 16.0	30.8	46.0
	17.0 a 20.0	33.0	48.5
	21.2 a 22.4	35.2	52.8

#### 14.2 Mantenimiento de la faja en uso

- Si se deposita aceite, agua o polvo en la faja, el coeficiente de fricción de la faja disminuye, haciendo la faja resbaladiza.  
Removerlos.  
Remover el aceite, sumergiendo la faja en gasolina o limpiándola con un guaipe impregnado con gasolina.  
Luego de remover el aceite, aplicar el alisador (aceite animal al cuero curtido al cromo).
- Si el cuero está gastado y hay polvo blanco disperso, aplicar el alisador al cuero en el lado de la faja que se pone en contacto con la polea.
- Cuando conexiones encoladas entre cuero y cuero o las secciones sin fin se desprenden, produciendo un ruido característico, reparar o reemplazar la parte dañada.

### VÁLVULA DE SEGURIDAD PARA DESCARGA DE LA CÁMARA DE AIRE DE LA BOMBA MARS

#### Medidas de Seguridad

Ver (Fig. 3)

La descarga A/C tiene dos clases de medidas de seguridad.

Uno de ellos es un par de indicadores de presión (uno sobrante). Estos indicadores tienen un tipo de interruptor limite eléctrico de presión.

Ellos deben estar en juego para que ante una pequeña alza de presión sobre la presión máxima de trabajo actual, estén preparadas para la anormal alza de presión, y deben estar conectados con el panel de control eléctrico para detener el motor.

Otra medida de seguridad es un disco de ruptura en lo alto de la descarga A/C.

Este disco de ruptura debe romperse ante una pequeña alza de presión sobre la presión a la cual el indicador de presión trabaja.

#### Nota:

Mantenga bastante aire en la cámara de aire.

Si el aire llega a ser poco, ruidos, vibraciones, también corta vida de los indicadores de presión y el disco de ruptura y también averías en la bomba o tubería pueden ocurrir.

#### Importante:

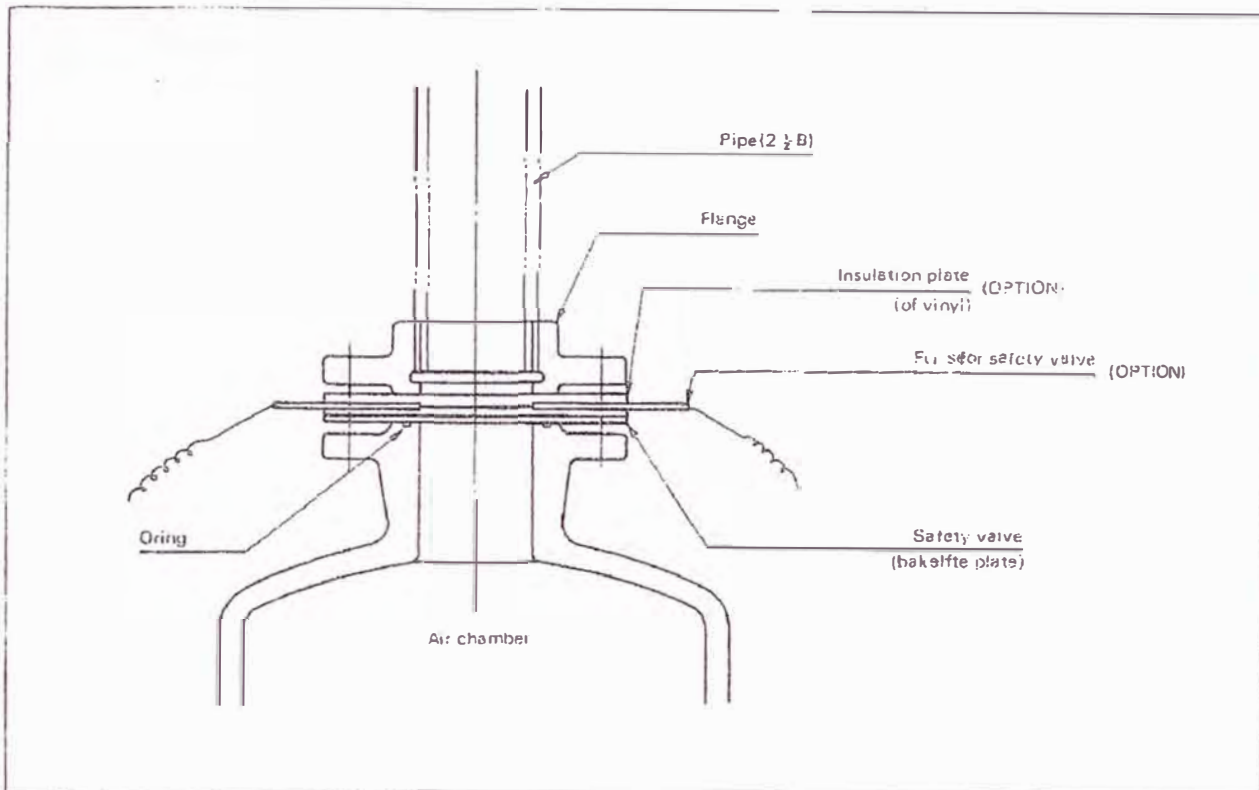
La descarga A/C debe ser diseñada, fabricada e inspeccionada por standares y reglas japonesas tales como JAPAN INDUSTRIAL STANDARD.

### COMO USAR LAS HERRAMIENTAS ESPECIALES DE LA BOMBA MARS



Nº	NOMBRE	FORMA	CANT.	¿CÓMO Y DÓNDE USARLA?
1	Llave caja.		1	Ajustando y aflojando la tuerca del pistón. Sacando el asiento de válvulas fuera de la caja de válvulas.
2	Palanca para llave.		1	
3	Herramienta del asiento de válvula.		1	
4	Perno.		1	
5	Pieza de distancia.		1	
6	Herramienta del cuerpo de la válvula.		1	Sacando el cuerpo de la válvula fuera de la caja de válvulas.
7	Herramienta del cilindro linear.		1	
8	Perno.		1	
9	Pieza de distancia.		1	
10	Pin.		1	
11	Llave para la válvula de suministro de aceite.		1	Ensamblando y desensamblando la válvula de suministro de aceite del asiento.
12	Llave para la tuerca cabeza cruz.		1	Ajustando y aflojando la tuerca cabeza cruz.
13	Palanca para tuerca glándula.		1	Ajustando y aflojando la tuerca glándula.

## SAFETE VALVE FOR DISCHARGE AIR CHAMBER OF MITSUBISHI MARS PUMP



### Safety Devices.

See (Fig-3)

Discharge A C has two kind of safety devices.

One of them is a pair of pressure gauges(One is a spare).

These gauges have a kind of electrical limit switch on pressure.

They should be set to a little higher pressure than the actual working max. pressure preparing for the abnormal high pressure. and should be connected with the electrical control panel to stop the motor.

Another of safety devices is a rupture disk on the top of the discharge A C.

This rupture disk should be broken at a little higher pressure than the, pressure which the pressure gauge works.

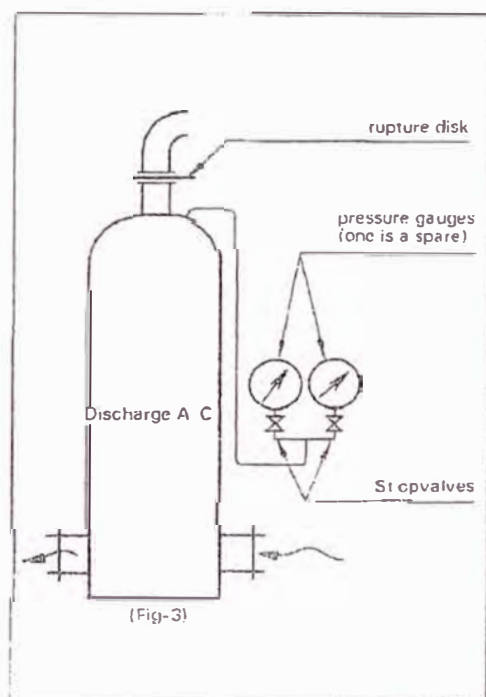
### Notice.

Keep air enough in the air chamber.

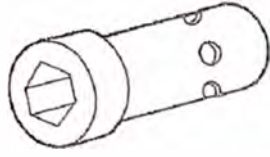
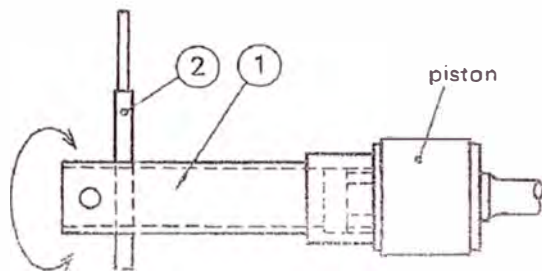


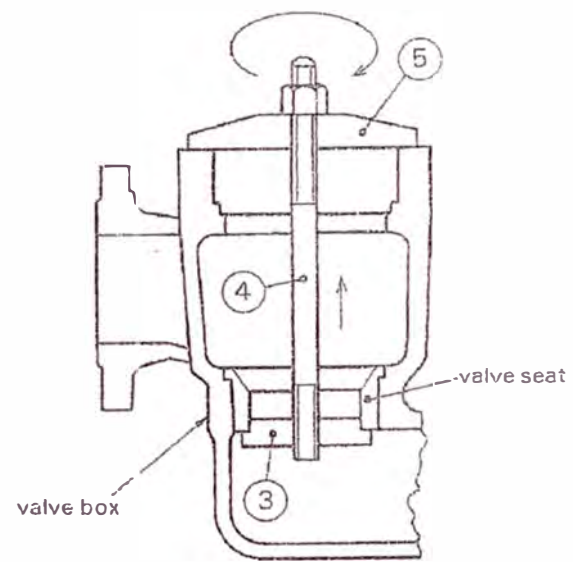
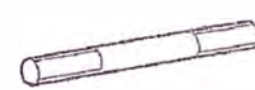
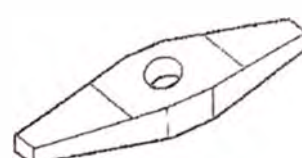
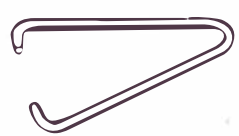
If air becomes short, big sound, vibration, too short life of pressure gauges & a rupture disk and also break-down of the pump or piping would happen.

### Important.

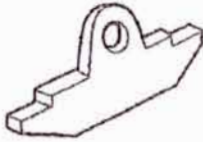
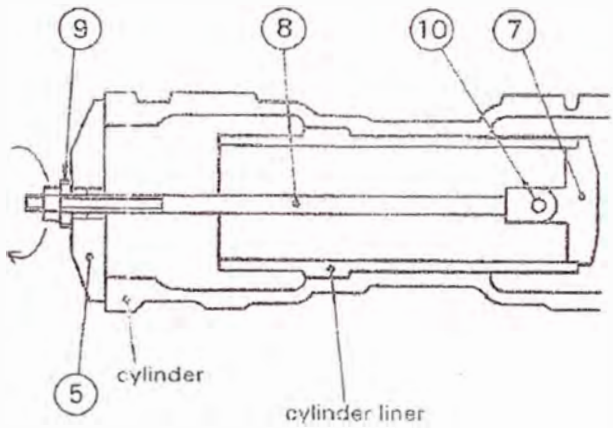
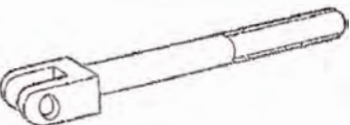
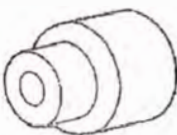
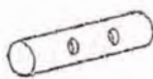
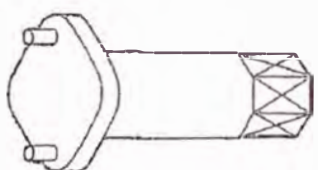


Discharge A C shall be designed, manufactured and inspected by Japanese standard and rule such as JAPAN INDUSTRIAL STANDARD.



## HOW TO USE THE SPECIAL TOOLS OF THE MARS PUMP

NAME: NO	SHAPE	Q'TY.	HOW & WHEN TO USE	
box wrench 1		1		
handle for wrench 2		1		tightening & loosening of piston nut
valve seat tool 3		1		
bolt 4		1		pulling valve-seat out from valve box
distance piece 5		1		
valve body tool 6		1	pulling valve-body out from valve box	



NAME NO	SHAPE	Q'TY.	HOW & WHEN TO USE
cylinder liner tool 7		1	
bolt 8		1	
distance piece 9		1	
pin 10		1	
wrench for oil-supply valve 11		1	
wrench for cross-head nut 12		1	tightening & loosening of cross head nut
handle for gland-nut 13		1	tightening & loosening of gland nut



## **PRINCIPALES PUNTOS DE CHEQUEO EN BOMBAS MARS**

### **(DIARIAMENTE)**

1. Sonido y vibración;  
Caja de manivela y caja de cojinetes, cilindro, caja de válvulas, etc.
2. Indicador y medidor;  
Presión, corriente eléctrica, potencia, nivel de aceite, etc.
3. Fuga;  
Uniones de tuberías, caja de válvulas, caja de manivela.
4. Solturas;  
Válvula de detección de aceite, suministro de aceite y válvula de purga de aire, válvula de desagüe, etc.
5. Temperatura;  
Cubierta de la caja de cojinetes, cilindro cabeza cruz, caja glándula, etc.
6. Nivel de agua y nivel de aceite.  
Cámara de aceite.

### **(PERIODICAMENTE)**

1. Válvulas en caja de válvulas;  
Caucho de la válvula, cuerpo de válvula, asiento de válvula, guía de válvula, etc.
2. Vida del empaque;  
Empaque del pistón y empaque de la glándula, etc.
3. Raspones;  
Cilindro linear, etc.
4. Contaminación;  
Aceite de maquinaria y aceite de turbina.
5. Utilidad;  
Unión de tuberías, caja de válvulas, tubería de descarga, etc.
6. Solturas.  
Pernos y tuercas.



# VIJICSA

INGENIERÍA - MINERÍA - CONSTRUCCIÓN

INGENIERIA QUE PROYECTA, FABRICA E INSTALA CALIDAD

INFORMACIÓN  
TÉCNICA  
BOMBAS MARS

## MARS PUMPS

HIGH-PRESSURE SLURRY PUMPS  
"for very low-cost operation"



### V & J INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN S. A.

Urb. Chacra Cerro Av. Gerardo Unger Mz "G" Lt. "8 C" Comas - Lima (Alt. Km. 24 Pan. Norte)

Telfs.: 7192299 / 7192298 / 7192297 / 5378400 Fax Virtual: 7171095 Nextel: (99) 405\*7894

Web: [www.vijicsa.pe](http://www.vijicsa.pe) E-mail: [vijicsa@vijicsa.pe](mailto:vijicsa@vijicsa.pe) / [vparedes@vijicsa.pe](mailto:vparedes@vijicsa.pe)

## CONTENIDO

INTRODUCCION

ELEMENTOS QUE CONFORMAN LA BOMBA MARS

TIPOS DE VALVULAS INDICANDO SUS PRESIONES Y CAUDALES MAXIMOS

SELECCIÓN DEL TIPO DE BOMBA

- Tipos de Bombas y sus Capacidades

ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LOS MATERIALES A UTILIZAR PARA LAS VALVULAS MARS

PLANO DE MONTAJE



## INTRODUCCION

La fabricación en serie de componentes de maquinas y la mecánica de producción, a pesar de la gran simplicidad que parece haber alcanzado en nuestros días, requiere de una serie de condiciones específicas que van, desde un adecuado diseño, pasando por una correcta selección de materiales garantizados en suministros y producción, concluyendo con el control de calidad que garantice el producto que se coloca en el mercado. En este contexto los procesos cumplen un rol de gran versatilidad, ya que está relacionada con la calidad final de los productos en las diferentes aéreas de la producción.

V & J INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN S.A. ha desarrollado una técnica adecuada sobre la deposición de los elementos duros, para la fabricación de componentes de las Bombas Mars, para sus diferentes modelos. Dichos componentes específicos son las válvulas de admisión y descarga, las cuales a su vez comprenden: Asientos, válvulas, Cuerpo y Guía Inferior., Guía superior, tuerca, resorte, prensador, soporte de guía superior y válvula de caucho.

La Bomba MARS, es una bomba de desplazamiento positivo que se caracteriza por trabajar con presiones altas y se diferencia de las bombas convencionales en poseer una cámara de aceite entre la caja de válvula y el cilindro, las cámaras de aceite están llenas de aceite en la parte alta y de emulsión en la parte inferior el aceite y la emulsión están separados por la diferencia en su gravedad específica respectivamente, evitando la entrada de emulsión en el cilindro cuando la bomba esta en operación.

## ELEMENTOS QUE CONFORMAN LA BOMBA MARS

A	Cilindro	M	Tubería de succión
B	Cámara de Aceite	N	Tubería de descarga
C	Caja de Válvulas	O	Indicador de Aceite
D	Tanque de Aceite	P	Aceite lubricante
E	Válvula de Purga	Q	Indicador de aceite
F	Válvula de Abastecimiento de Aceite	R	salida de Aceite lubricante
G	Tapón para detectar el aceite	S	Tapa de drenaje
H	Tapón para detectar el nivel de Aceite	U	Pistón
I	Tapón para detectar la emulsión	V	Tanque de aceite para la sección del collarín
J	Válvula de abastecimiento de agua		de prensa estopas
K	Tapón de drenaje de aceite		manómetro de presión – Válvula de
L	Llave de drenaje del aceite		seguridad

**NOTA.-** el trabajo ha sido desarrollado para el elemento C Caja de Válvulas, lo cual es encerrado con círculo en el esquema de montaje de la bomba (elemento C)

## DIFERENTES TIPOS DE VALVULAS INDICANDO SUS PRESIONES Y CAUDALES MAXIMOS DE FUNCIONAMIENTOS

TIPO	PRESION		CAUDAL	
	Kg/cm <sup>2</sup>	PSI	m <sup>3</sup> /min	GPM
L - 125	40	569	0.5	132
L - 125R	30	427	1.0	264
L - 180	40	569	1.6	430
L - 225	40	569	3.0	793
H - 125	80	1138	0.5	119
H - 125R	60	854	1.0	251
H - 180	80	1138	1.6	413
H - 225	80	1138	3.0	780
H - 125S	100	1423	0.4	93
H - 180S	100	1423	1.2	317
H - 225S	100	1423	2.1	555
S - 125	160	2276	0.3	85
S - 180	160	2276	1.3	344

**SELECCION DEL TIPO DE BOMBA**
**Tipo y Capacidad (1)**

 Presión Baja "L" tipo: 40Kg/cm<sup>2</sup> o 569 PSI

Tipo de bomba	Diámetro del cilindro		55	50	45	40	35	30
L-225	225	Descarga m <sup>3</sup> /min		3.106	2.795	2.485	2.174	1.864
		Rendimiento requerido KW		241	217	193	169	144
	200	Descarga m <sup>3</sup> /min		2.430	2.184	1.944	1.701	1.1460
		Rendimiento requerido KW		189	170	151	132	113
	180	Descarga m <sup>3</sup> /min		1.946	1.751	1.557	1.362	1.168
		Rendimiento requerido KW		151	136	121	106	91
L-180	180	Descarga m <sup>3</sup> /min	1.604	1.458	1.312	1.166	1.1020	0.875
		Rendimiento requerido KW	131	119	107	95	83	71
	160	Descarga m <sup>3</sup> /min	1.254	1.140	1.026	0.912	0.798	0.684
		Rendimiento requerido KW	102	93	84	74	65	56
	140	Descarga m <sup>3</sup> /min	0.946	0.860	0.774	0.688	0.602	0.516
		Rendimiento requerido KW	77	70	63	56	49	42
L-125	125	Descarga m <sup>3</sup> /min	0.552	0.502	0.451	0.401	0.351	0.301
		Rendimiento requerido KW	45	41	37	33	29	25
	100	Descarga m <sup>3</sup> /min	0.344	0.313	0.282	0.250	0.219	0.188
		Rendimiento requerido KW	28	26	23	20	18	15

- Presión alta "H" tipo: 80Kg/cm<sup>2</sup> o 1137 PSI

Tipo de Bomba	Diámetro del cilindro		55	50	45	40	35	30
H-225	225	Descarga m <sup>3</sup> /min		3.017	2.715	2.414	2.112	1.810
		Rendimiento o requerido KW		463	417	370	324	278
	200	Descarga m <sup>3</sup> /min		2.341	2.107	1.873	1.639	1.405
		Rendimiento o requerido KW		359	323	287	251	216
	180	Descarga m <sup>3</sup> /min		1.858	1.672	1.486	1.300	1.115
		Rendimiento o requerido KW		285	257	228	199	171
H-180	180	Descarga m <sup>3</sup> /min	1.557	1.415	1.274	1.132	0.991	0.849
		Rendimiento o requerido KW	252	231	207	185	161	138
	160	Descarga m <sup>3</sup> /min	1.207	1.098	0.988	0.878	0.768	0.659
		Rendimiento o requerido KW	197	179	16	143	125	108
	140	Descarga m <sup>3</sup> /min	0.899	0.818	0.736	0.654	0.572	0.491
		Rendimiento o requerido KW	147	13	124	107	93	80
H-125	125	Descarga m <sup>3</sup> /min	0.538	0.489	0.440	0.391	0.342	0.293
		Rendimiento o requerido KW	88	80	72	64	56	48
	100	Descarga m <sup>3</sup> /min	0.330	0.300	0.270	0.240	0.210	0.180
		Rendimiento o requerido KW	54	49	44	39	34	29

Velocidad alta – baja presión "L-R" tipo: 30Kg/cm<sup>2</sup> o 427 PSI

Tipo	Diámetro del cilindro		100	95	90	85	80	75	70	65	60	55
L-125R	125	Descarga m <sup>3</sup> /min	0.943	0.8%	0.849	0.802	0.755	0.707	0.660	0.613	0.566	0.519
		Rendimiento requerido KW	61.3	58.3	55.2	52.2	49.1	46.0	42.9	39.9	36.2	33.2

Velocidad alta – alta presión "L-R" tipo: 60Kg/cm<sup>2</sup> o 854 PSI

Tipo	Diámetro del cilindro		100	95	90	85	80	75	70	65	60	55
H-125R	125	Descarga m <sup>3</sup> /min	0.918	0.872	0.826	0.780	0.734	0.688	0.643	0.597	0.551	0.505
		Rendimiento requerido KW	119.4	113.4	107.4	101.5	95.5	89.5	83.6	77.6	71.7	65.7

Presión más alta "H-S" tipo: 100Kg/cm<sup>2</sup> o 1423 PSI

Tipo de Bomba	Diámetro del cilindro		55	50	45	40	35	30
H-125S	115	Descarga m <sup>3</sup> /min	0.422	0.383	0.345	0.307	0.268	0.230
		Rendimiento requerido KW	92	83	75	67	58	50
H-180S	160	Descarga m <sup>3</sup> /min	1.178	1.071	0.985	0.856	0.749	0.642
		Rendimiento requerido KW	255	232	214	186	162	139
H-225S	195	Descarga m <sup>3</sup> /min		2.092	1.883	1.674	1.464	1.255
		Rendimiento requerido KW		426	384	314	298	256

Presión especial "S" tipo: 160Kg/cm<sup>2</sup> o 2275 PSI

Tipo de Bomba	Diámetro del cilindro		55	50	45	40	35	30
S-180	160	Descarga m <sup>3</sup> /min	1.306	1.188	1.069	0.950	0.831	0.713
		Rendimiento o requerido KW	487	443	398	354	310	266
	140	Descarga m <sup>3</sup> /min	0.956	0.869	0.782	0.696	0.609	0.522
		Rendimiento o requerido KW	356	324	291	259	227	194
S-125	125	Descarga m <sup>3</sup> /min	0.409	0.371	0.334	0.297	0.260	0.223
		Rendimiento o requerido KW	164	149	134	119	104	89
	100	Descarga m <sup>3</sup> /min	0.239	0.217	0.195	0.173	0.152	0.130
		Rendimiento o requerido KW	96	87	78	70	61	52

Bauxite Slurry (tipo H)

Tipo de Bomba	Diámetro del cilindro		55	50	45	40	35	30
H-225	225	Descarga m <sup>3</sup> /min		2.340	2.110	1.875	1.640	1.400
		Rendimiento o requerido KW		476	428	381	333	286
H-180	180	Descarga m <sup>3</sup> /min	1.280	1.160	1.050	0.950	0.815	0.700
		Rendimiento o requerido KW	252	231	207	185	161	138
H-125	120	Descarga m <sup>3</sup> /min	0.442	0.400	0.361	0.321	0.281	0.241
		Rendimiento o requerido KW	88	80	72	64	56	48

## Bauxite Slurry (tipo L)

Tipo de Bomba	Diámetro del cilindro		55	50	45	40	35	30
L-225	225	Descarga m <sup>3</sup> /min		2.414	2.173	1.931	1.690	1.449
		Rendimiento o requerido KW		241	217	193	169	144
L-180	180	Descarga m <sup>3</sup> /min	1.327	1.200	1.080	0.958	0.838	0.719
		Rendimiento o requerido KW	131	119	107	95	83	71
L-125	125	Descarga m <sup>3</sup> /min	0.454	0.413	0.372	0.330	0.289	0.248
		Rendimiento o requerido KW	45	41	37	33	29	25

Nota 1) Cada bomba se calcula con la eficiencia siguiente

Tipo de Bomba	Eficiencia volumétrica	Eficiencia mecánica
L-225, H-225	90%	94%
L-125, H-25	85%	94%
L-180, H-180, H-225S		
L-125R, H-125R	80%	94%
H-125S, H-180S		
S-180	75%	94%
S-125	70%	94%

Nota 2) el rendimiento requerido se basa en la presión máxima de la bomba

Nota 3)

1 pie = 0.3048 m

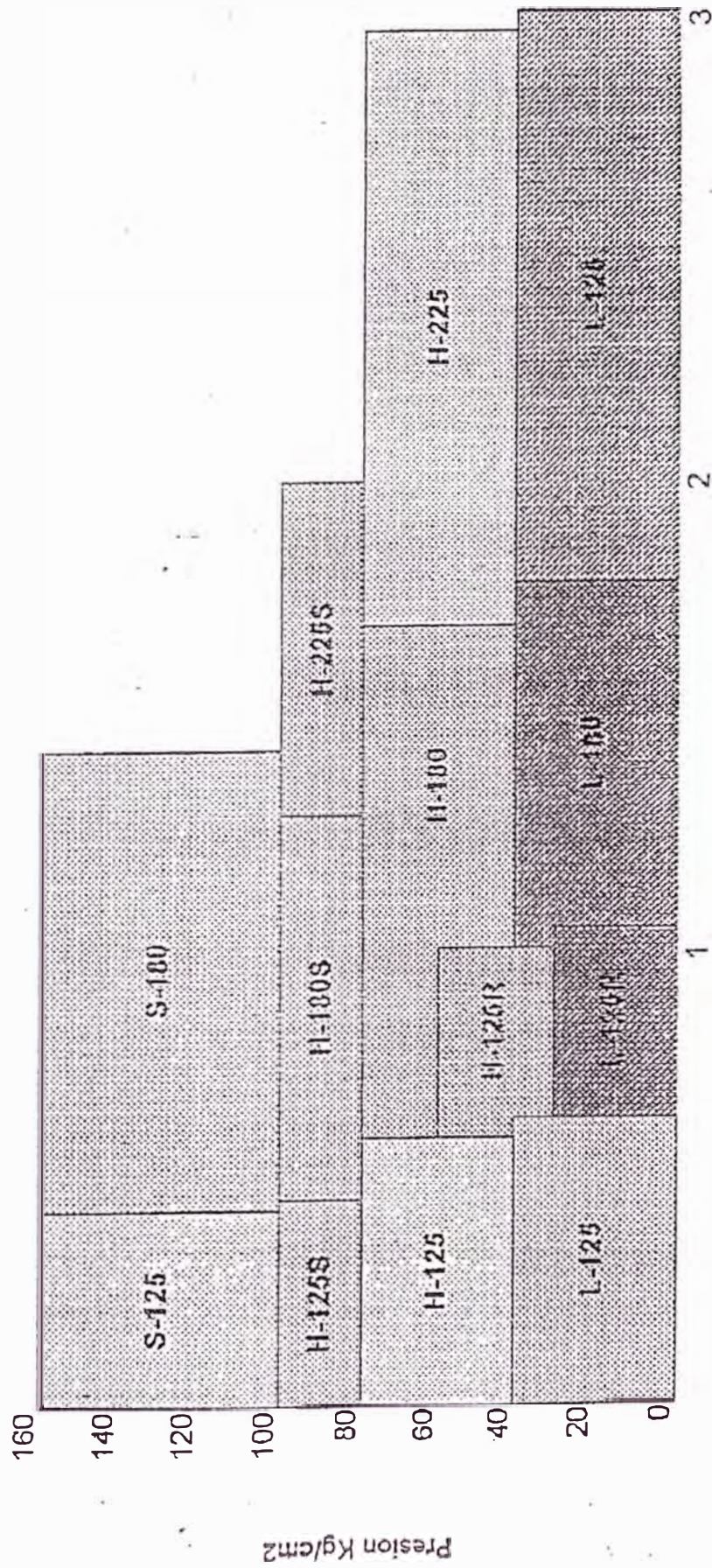
1 galón = 0.003785 m<sup>3</sup>

1 HP = 0.746 KW

14.7 psi = 10.33 mH<sub>2</sub>O

1 psi = 0.0703 Kg/cm<sup>2</sup>







## Pole Number Table of Motors Used for Mitsubishi Mars Pumps

### V-Belt Drive

Type	L-125R L-125	H-125R H-125 H-125S	L-180	H-180 H-180S	L-225	H-225 H-225S	S-125	S-180								
V-Belt type	5V X 2850	5V X 2800	5V X 3350	5V X 3550	8V X 4000	8V X 4250	8V X 3550	8V X 4250								
Pump pulley dia.	P.C.D. 350mm	P.C.D. 1200mm	P.C.D. 1400mm	P.C.D. 1550mm	P.C.D. 1650mm	P.C.D. 1300mm	P.C.D. 1550mm	P.C.D. 1800mm								
Min. motor pulley dia.	P.C.D. 160mm	P.C.D. 180mm	P.C.D. 130mm	P.C.D. 330mm	P.C.D. 300mm	P.C.D. 330mm	P.C.D. 330mm	P.C.D. 330mm								
	Pump speed (R.P.M.)															
Pole (N/A) Hz	50	60	50	60	50	60	50	60	50	60	50	60	50	60	50	60
10	30	30							30	30					30	30
	31	37							32	38					32	38
8	32	38		30					33	39	30	35	30	34	33	39
	41	49		35		30			43	51	38	45	37	44	43	51
6	42	50	30	35	30	31			44	52	39	46	38	45	44	52
	62	74	43	52	37	45			55	55	50	50	50	50	55	55
4	53	75	34	53	38	46										
	100	100	100	100	55	55										

Note: Pump max. speed

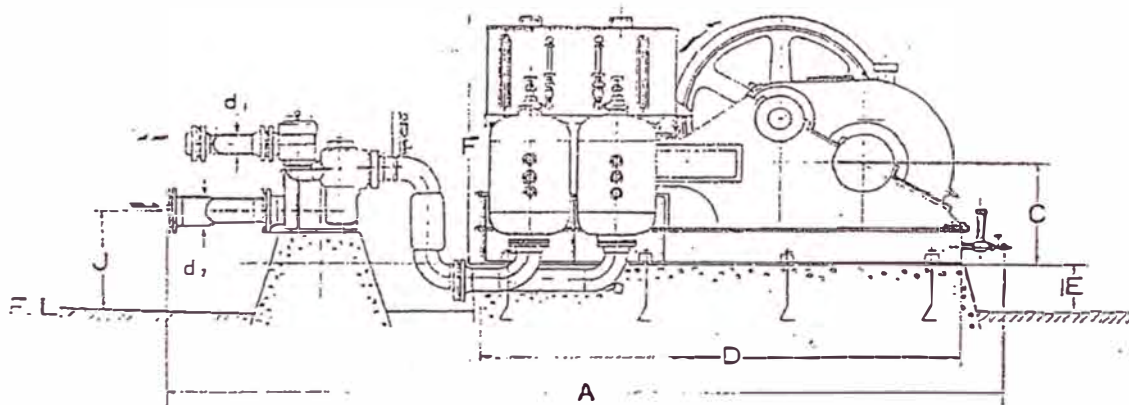
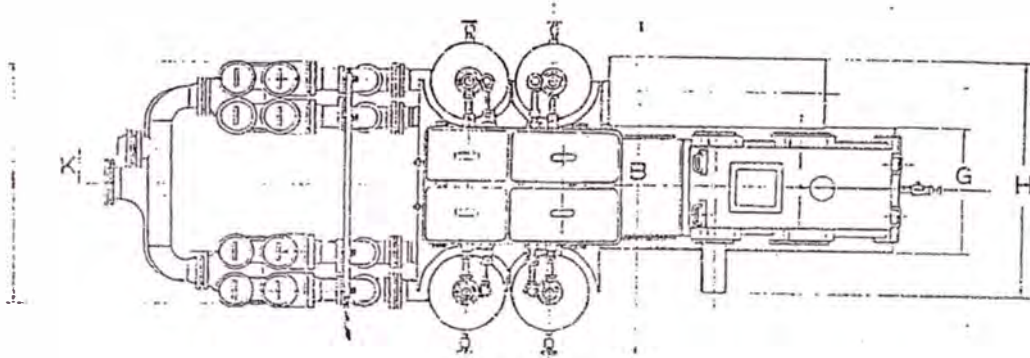
Pump max. speed	Pump type
100 R.P.M.	L-125R, H-125R
55 R.P.M.	L-125, H-125, H-125S, S-125, L-180, H-180, H-180S, S-180
50 R.P.M.	L-225, H-225, H-225S

## Comparison of the cost of expendables between Mars Pumps and Piston Pumps

Name of mine	Type	Cost of expendables per 1 working hour		Cost of expendables per ton of slime transported	
		50	100(%)	50	100(%)
N	L-180 type	Piston pumps		Piston pumps	
		24 Mars pumps		38 Mars pumps	
O	H-125 type	Piston pumps		Piston pumps	
		33 Mars pumps		33 Mars pumps	

Results of six-month operation of L-180X350 type.  
Results of one-year operation of H-125X250 type.

# mensions



Unit: mm

Model	Dimension												Net wt. M/ton
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	d1	d2	
20R	4039	1730	550	2400	250	1370	570	1022	1250	573	75	130	4.2
25R	4196	1848	620	2605	250	1458	770	1303	1382	628	75	130	7.4
30	5360	2336	720	3240	250	1883	850	1130	1765	617	120	200	18.7
35	5596	2476	800	3545	250	1998	965	1324	1905	742	120	200	16.2
40	6415	2478	850	4110	300	2143	980	1218	2085	725	160	250	23.3
45	6820	3000	920	4450	300	2239	1000	1538	2355	840	160	250	36.5
50	5118	2265	800	3320	250	1663	965	1816	1780	835	75	130	11.8
55	6480	2780	920	4510	300	2286	1000	1636	2230	700	120	200	28.0
60S	4440	1990	620	2685	250	1505	770	1230	1302	650	75	130	9.4
65S	5650	2430	800	3550	300	2020	965	1293	2120	711	120	200	19.2
70S	7350	3500	1050	4850	300	2600	1200	1750	3100	950	160	270	40.0

## Type and Capacity (2)

### High speed - Low pressure "L-R" type: 30kg/cm<sup>2</sup> or 427 psi

Type	Cylinder dia.	Capacity	R.P.M.									
			100	95	90	85	80	75	70	65	60	55
L-125R	125	Discharge m <sup>3</sup> /min.	1.004	0.935	0.903	0.853	0.803	0.753	0.702	0.652	0.602	0.552
		Output required kW	61.3	58.3	55.2	52.1	49.1	46.0	42.9	39.9	36.8	33.7

### High speed - High pressure "H-R" type: 60kg/cm<sup>2</sup> or 854 psi

Type	Cylinder dia.	Capacity	R.P.M.									
			100	95	90	85	80	75	70	65	60	55
H-125R	125	Discharge m <sup>3</sup> /min.	0.978	0.929	0.880	0.831	0.783	0.734	0.685	0.636	0.587	0.538
		Output required kW	119.4	113.4	107.4	101.5	95.5	89.5	83.5	77.6	71.7	65.8

### Higher pressure "H-S" type: 100kg/cm<sup>2</sup> or 1,423 psi

Type of pump	Cylinder dia.	Capacity	R.P.M.					
			55	50	45	40	35	30
H-125S	115	Discharge m <sup>3</sup> /min.	0.422	0.383	0.345	0.307	0.268	0.230
		Output required kW	92	83	75	67	58	50
		Discharge m <sup>3</sup> /min.	1.178	1.071	0.985	0.896	0.749	0.642
H-180S	160	Output required kW	255	232	214	186	162	139
		Discharge m <sup>3</sup> /min.	2.092	1.883	1.674	1.464	1.255	
H-225S	195	Output required kW	425	384	314	298	256	

### Special pressure "S" type: 160kg/cm<sup>2</sup> or 2,275 psi

Type of pump	Cylinder dia.	Capacity	R.P.M.						
			55	50	45	40	35	30	
S-180	160	Discharge m <sup>3</sup> /min.	1.306	1.188	1.069	0.950	0.831	0.713	
		Output required kW	487	443	398	354	310	266	
		Discharge m <sup>3</sup> /min.	0.956	0.869	0.782	0.696	0.609	0.522	
	S-125	125	Output required kW	356	324	291	259	227	194
			Discharge m <sup>3</sup> /min.	0.409	0.371	0.334	0.297	0.260	0.223
			Output required kW	164	149	134	119	104	89
S-125	100	Discharge m <sup>3</sup> /min.	0.239	0.217	0.195	0.173	0.152	0.130	
		Output required kW	96	87	78	70	61	52	

### Bauxite Slurry (H type)

Type of pump	Cylinder dia.	Capacity	R.P.M.					
			55	50	45	40	35	30
H-225	225	Discharge m <sup>3</sup> /min.		2.340	2.110	1.875	1.640	1.400
		Output required kW		476	428	381	333	286
H-180	180	Discharge m <sup>3</sup> /min.	1.280	1.160	1.050	0.950	0.85	0.700
		Output required kW	252	231	207	185	161	138
H-125	120	Discharge m <sup>3</sup> /min.	0.442	0.400	0.367	0.321	0.281	0.241
		Output required kW	88	80	72	64	56	48

### Bauxite Slurry (L type)

Type of pump	Cylinder dia.	Capacity	R.P.M.					
			55	50	45	40	35	30
L-225	225	Discharge m <sup>3</sup> /min.		2.414	2.173	1.931	1.650	1.449
		Output required kW		241	217	193	169	144
L-180	180	Discharge m <sup>3</sup> /min.	1.327	1.200	1.080	0.953	0.828	0.719
		Output required kW	131	119	107	95	83	71
L-125	125	Discharge m <sup>3</sup> /min.	0.454	0.413	0.372	0.330	0.289	0.248
		Output required kW	45	41	37	33	29	25

Note 1) Each pump is calculated on the following efficiency.

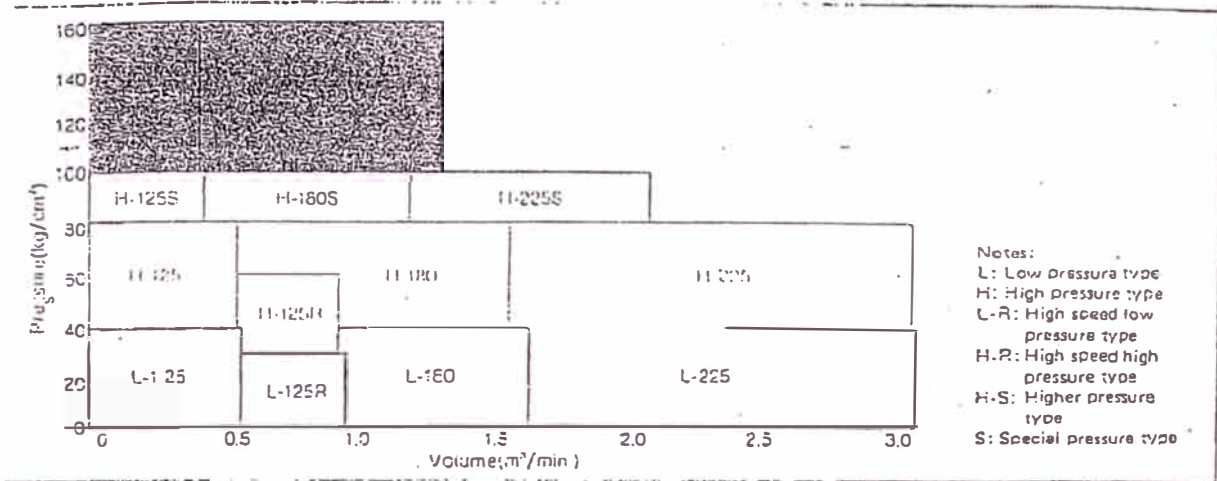
Pump type	Volumetric efficiency	Mechanical efficiency
L-225, H-225	90%	94%
L-125, H-125		
L-125R, H-125R	85%	94%
L-180, H-180, H-225S		
H-125S, H-180S	80%	94%
S-180	75%	94%
S-125	70%	94%

Note 2) Output required of each pump is based on its max. pressure.

Note 3) When high speed type is used under some condition, a booster pump is needed.

Please consult with us on operating condition.

## Selection of Pump type



### type and Capacity (1)

low pressure "L" type: 40kg/cm<sup>2</sup> or 569 psi

Pressure of pump	Cylinder dia.	Capacity	R.P.M.	55	50	45	40	35	30
15	225	Discharge m <sup>3</sup> /min.			3.105	2.795	2.485	2.174	1.864
		Output required kW			241	217	193	169	144
	200	Discharge m <sup>3</sup> /min.			2.430	2.184	1.944	1.701	1.460
		Output required kW			189	170	151	132	113
30	180	Discharge m <sup>3</sup> /min.			1.946	1.751	1.557	1.362	1.168
		Output required kW			151	136	121	106	91
	160	Discharge m <sup>3</sup> /min.		1.504	1.458	1.312	1.166	1.020	0.875
		Output required kW		131	119	107	95	83	71
	160	Discharge m <sup>3</sup> /min.		1.254	1.140	1.026	0.912	0.798	0.684
		Output required kW		102	93	84	74	65	56
140	Discharge m <sup>3</sup> /min.		0.946	0.860	0.774	0.688	0.602	0.516	
	Output required kW		77	70	63	56	49	42	
25	125	Discharge m <sup>3</sup> /min.		0.552	0.502	0.451	0.401	0.351	0.301
		Output required kW		45	41	37	33	29	25
25	100	Discharge m <sup>3</sup> /min.		0.344	0.313	0.282	0.250	0.219	0.188
		Output required kW		28	26	23	20	18	15

high pressure "H" type: 80kg/cm<sup>2</sup> or 1,137 psi

Pressure of pump	Cylinder dia.	Capacity	R.P.M.	55	50	45	40	35	30
125	225	Discharge m <sup>3</sup> /min.			3.017	2.715	2.414	2.112	1.810
		Output required kW			463	417	370	324	278
	200	Discharge m <sup>3</sup> /min.			2.341	2.107	1.873	1.639	1.405
		Output required kW			359	323	287	251	216
30	180	Discharge m <sup>3</sup> /min.			1.858	1.672	1.486	1.300	1.115
		Output required kW			285	257	228	199	171
	120	Discharge m <sup>3</sup> /min.		1.557	1.415	1.274	1.132	0.991	0.849
		Output required kW		252	231	207	185	161	138
	160	Discharge m <sup>3</sup> /min.		1.207	1.098	0.988	0.878	0.768	0.659
		Output required kW		197	179	161	143	125	108
140	Discharge m <sup>3</sup> /min.		0.899	0.818	0.736	0.654	0.572	0.491	
	Output required kW		147	133	124	107	93	80	
25	125	Discharge m <sup>3</sup> /min.		0.538	0.489	0.440	0.391	0.342	0.293
		Output required kW		88	80	72	64	56	48
25	100	Discharge m <sup>3</sup> /min.		0.330	0.300	0.270	0.240	0.210	0.180
		Output required kW		51	49	44	39	34	29

## Actual Applications

### ■ Long distance transportation

As an example of actual applications to long-distance transportation, the Mitsubishi Mars Pumps are used to transport mill tailings for a distance of 68.1km from Odate City to Noshiro City, both located in Akita Prefecture.

Outline of pipeline is as follows.

#### ● Operating conditions

Specific Gravity of Solids: 2.8

Size of Solids: less than 65 mesh

pH Value of Slurry: 6 - 8

Density of Slurry: 18.8

Viscosity: 35 dyne

Discharge Volume: 5.9m<sup>3</sup>/min.

Discharge Pressure of Pump:

Max. 50kg/cm<sup>2</sup>

Current Speed in Pipe: 1.36m/sec.

Pipe Dia.: 300mm

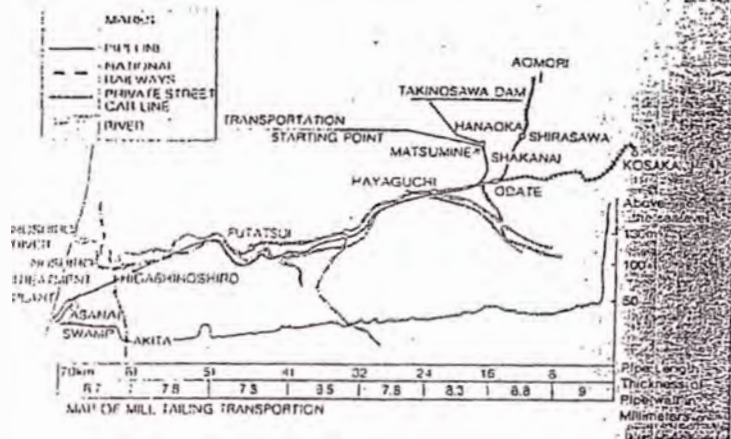
#### ● Pump Specifications

Pump Type: H-225

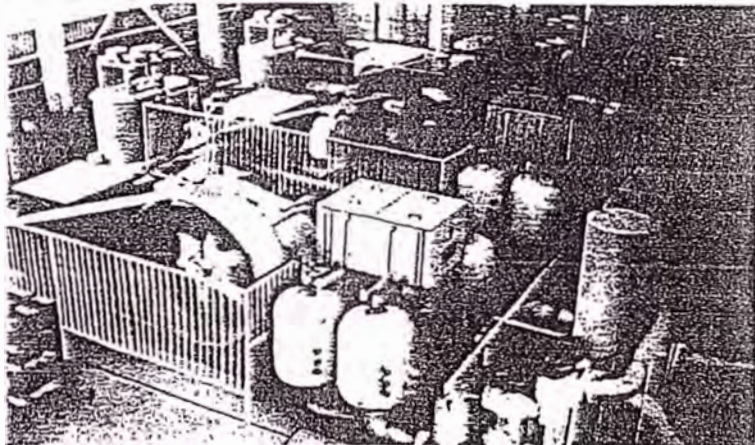
Number of Pumps: 3 sets

(1 set is for stand-by)

Motor: 370kW X 8P.



TAILING route map. The profile of the pipe line is shown to vertical scale on the diagram near bottom. Eight different wall thicknesses of pipe are used in line for lengths indicated on graph.



### ■ Other actual applications

Purpose	Type of pump	Pump specifications			Operating conditions							Remarks
		Pumping capacity m <sup>3</sup> /min.	Discharge pressure kg/cm <sup>2</sup>	Motor kW X P	Actual lift-head mm	Distance of trans. m	Pipe dia. mm	Liquid density % (wt)	Liquid specific gravity	Nature of material		
Mine slurry lifting	H-225	1.88 ~ 2.38	51 ~ 79	410-495 X 10	395 ~ 610	450 ~ 650	150	30	1.22 ~ 1.28	Fine gold ore	4 sets in 4 stages	
Mine slurry lifting	H-225	2.72	66.6	450 X 8	615	1215	180	5	1.1	Fine ccal	-	
Mine slurry transportation	L-180	1.23	30	95 X 10	-144	7894	125	32	1.72	Copper concentrate	-	
Plant slurry transportation	L-180	0.75	40	75 X 8	10	4000	75	14 ~ 18	1.12 ~ 1.16	Ferric oxide	Iron plant	
Mine slurry lifting	S-125	0.36	160	176 X 8	1090	1640	50	35	1.304	Mud	High pressure	
Lake mud transportation	H-180	1.57	40	150 X 10	4	3000	200	33.3	1.26	With organic matter	Sat on dredger	
Quarry mud transportation	H-125	0.50	40	45 X 4	80	1000	75	33	1.225	Mud	After sand washing	
Plant slurry feeding	L-180	1.35	30	190 X 8	-	-	125	40	-	Sauxite	With bailvalv	
Tunnel slurry lifting	H-125	0.50	65	95 X 6	293	1580	65	50	1.52	Mud	Construction working	
Plant slurry transportation	L-225	1.91	15	55 X 6	-	-	-	-	1.28	China clay	-	

## Features

High-concentration slimes and slurries cannot be pumped effectively using centrifugal pumps, hence piston or plunger pumps are used in such situations. These conventional pumps draw slurry to enter their working cylinders causing extremely high wear, regardless of the materials used. As a result piston and plunger pumps working with abrasive slurries require constant attention, maintenance and replacement, sometimes resulting in unscheduled and costly plant shutdowns. Diaphragm pumps have the advantage of being less prone to abrasive wear but by virtue of their construction, cannot be used in high-pressure applications. Mitsubishi Mars Pumps are based on a new design which completely overcomes the limitations of both conventional one-cylinder pumps and diaphragm pumps. Mars Pumps are designed to withstand high-lifts and high-concentrations. Except for valves, all working parts are freed from contact with abrasive slurries or slimes. Consequently operating costs are markedly reduced. Mars Pumps have set high standards of efficiency and reliability in comparative tests against conventional pumps. They also allow longer intervals between routine inspections and longer maintenance schedules.

## Outline of design and operation

(Please refer to explanatory diag.,)

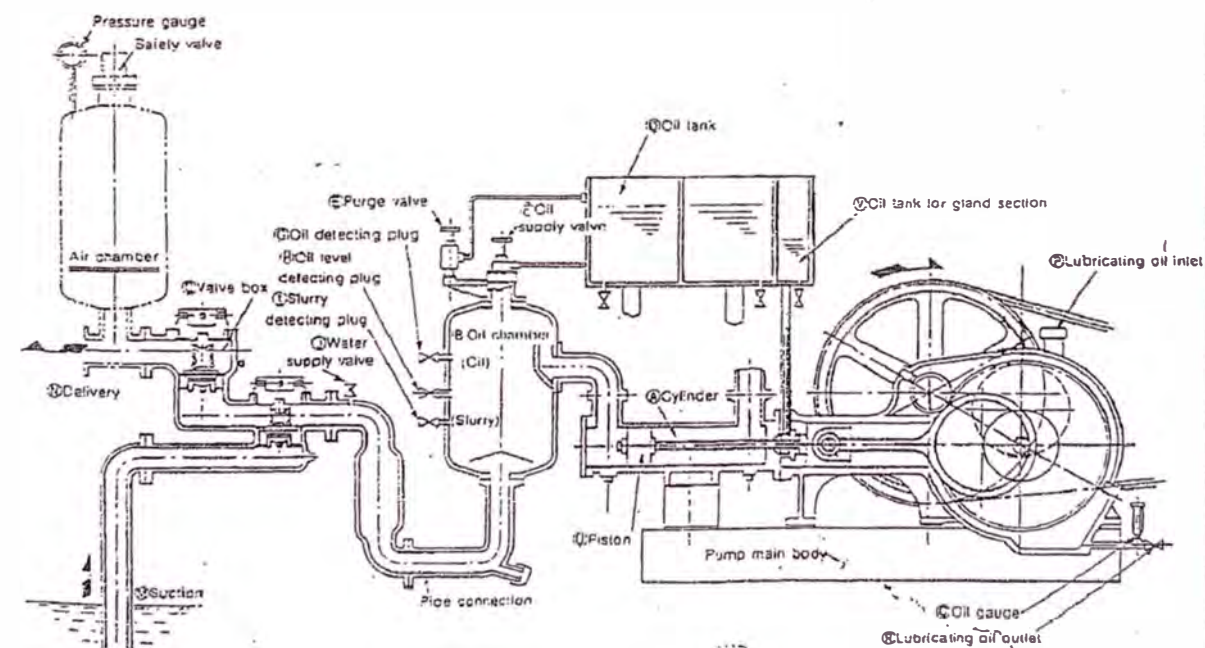
Between the cylinder (A) and the valve box (C) is the vertical oil chamber (B) containing a fixed quantity of oil. Oil and slurry (or clean water) in the chamber separate due to the difference between their respective specific gravities; the oil occupies the upper portion of the chamber, the slurry remaining in the lower portion.

The oil chamber is so constructed that slurry cannot penetrate into the working cylinder during pumping or at rest. This construction eliminates excessive abrasion since the piston and cylinder work on and in oil. The only expendables in Mars Pumps are valves, designed for easy and fast inspection and replacement.

Mars Pumps do not use a rubber diaphragm as in a diaphragm-type pumps, hence pumps for high-pressure are readily manufactured.

Since Mars' design interposes an oil chamber between cylinder and valve box, the pump is subject to greater suction resistance than more-conventional pumps. Therefore, where the capacity required is large and the pumping cycle exceeds 50rpm, forced operation is recommended. Where this is not practicable Mars Pumps should be installed in such a way that suction resistance is minimized.

Explanatory diagram of Mitsubishi Mars Pump



**Decreto Supremo que aprueba el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional y otras medidas complementarias en minería**

**DECRETO SUPREMO N° 055-2010-EM**

**Artículo 1.- Aprobación**

Apruébese el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, el mismo que consta de trescientos noventa y seis (396) artículos, 32 Anexos y 3 Guías, los cuales forman parte integrante del presente Decreto Supremo.

**Artículo 2.- Publicación de anexos**

Los anexos y guías que forman parte del Reglamento aprobado por el presente Decreto Supremo, serán publicados mediante el portal electrónico del Ministerio de Energía y Minas.

**Artículo 3.- Registro de procedencia de sustancias beneficiadas en planta.**

Para efectos del cumplimiento de lo dispuesto en el artículo 4 del TUO de la Ley General de Minería, las plantas de beneficio que adquieren el producto de la actividad minera sin procesamiento o como concentrado, refogado, relave o cualquier otro estado hasta antes de su

refinación; así como las personas naturales o jurídicas que se dedican exclusivamente a la compraventa de oro y/o minerales en bruto, deberán verificar el origen de cualesquiera de ellos y mantener un registro actualizado en medio electrónico o físico, que deberá incluir la siguiente información respecto a cada compra de productos minerales que realicen:

- a) El nombre y documento nacional de identidad o denominación y RUC, dependiendo de si el vendedor es persona natural o jurídica.
- b) El nombre y código único de la(s) concesión(es) minera(s) de donde proviene el oro y/o mineral en bruto y/o relaves.
- c) La naturaleza del producto (con o sin procesamiento, concentrados, refogados, relaves, etc.), la cantidad y/o peso, la ley del mineral (contenido metálico) y el precio de compra.

Asimismo, deberán mantener dicho registro actualizado y, de ser el caso, su respectivo medio de visualización, a disposición de la autoridad que resulte competente en la fiscalización del comprador.

La autoridad fiscalizadora competente dispondrá la paralización de aquellas plantas de beneficio en donde se verifique el origen ilegal de las sustancias a beneficiar.

**Artículo 4.- Competencia para la culminación de procedimientos de fiscalización y/o sanción.**

En cualquiera de los supuestos de pérdida de la calificación de pequeño productor minero o productor minero artesanal, los gobiernos regionales continuarán siendo competentes respecto a los procedimientos de fiscalización y/o sanción que se hayan iniciado con anterioridad a dicha

pérdida de calificación, aún cuando el titular de la actividad minera haya pasado a formar parte del régimen de la mediana o gran minería.

Igualmente, en caso de que la(s) persona(s) natural(es) o jurídica(s) del régimen de la mediana o gran minería se califiquen o pasen a operar dentro de los rangos de las actividades de la pequeña minería y minería artesanal, el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería - OSINERGMIN continuará ejerciendo competencia con respecto a los procedimientos de fiscalización y/o sanción que se hayan iniciado con anterioridad a dicha situación.

**Artículo 5.- Certificado de Inspección**

El titular minero de la Gran o Mediana Minería deberá presentar anualmente al OSINERGMIN, un certificado de inspección del resultado de la evaluación de estabilidad química, física y parámetros operativos de depósitos de relaves, pilas de lixiviación (PADs) y depósito de desmontes (botadero). Dicho certificado de inspección será emitido por una empresa acreditada ante el Organismo Nacional de Acreditación del INDECOP e inscrita en el



**Artículo 91.-** Para lograr que los trabajadores hayan entendido una orden de trabajo, se les explicará los procedimientos de una tarea paso a paso, asegurando su entendimiento y su puesta en práctica, verificándolo en la labor.

**Artículo 92.-** El titular minero, con participación de los trabajadores, elaborará, actualizará e implementará los estándares y PETS de las tareas mineras que ejecuten, teniendo en cuenta los ANEXOS N° 15-A y N° 15-B, respectivamente; los pondrán en sus respectivos manuales y los distribuirán e instruirán a sus trabajadores para su uso obligatorio, colocándolos en sus respectivas labores y áreas de trabajo.

## **CAPÍTULO IX**

### **SALUD OCUPACIONAL**

#### **Subcapítulo I**

##### **Alcances**

**Artículo 93.-** La Gestión de Salud Ocupacional, debe incluir:

a) El reconocimiento y evaluación de la salud de los trabajadores con relación a su exposición a factores de riesgo de origen ocupacional, incluyendo el conocimiento de los niveles de exposición y emisión de las fuentes de riesgo.

b) Participar en la incorporación de prácticas y procedimientos seguros y saludables a todo nivel de la operación.

c) El registro de enfermedades ocurridas por exposición ocupacional, descansos médicos, ausentismo por enfermedades, planes de acción y evaluación estadística de los resultados.

d) El asesoramiento técnico y participación en materia de control de salud del trabajador, enfermedad ocupacional, primeros auxilios, atención de urgencias y emergencias médicas por accidentes de trabajo y enfermedad ocupacional y Equipos de Protección Personal (EPP).

e) Participación en los Comités de Seguridad y Salud Ocupacional respecto a los aspectos de salud ocupacional;

f) La promoción de la participación de los trabajadores en el desarrollo e implementación de actividades de salud ocupacional.

g) El control de riesgos respecto a los agentes físicos, químicos, ergonómicos y biológicos cuando se supere los límites permisibles.

**Artículo 94.-** El titular minero deberá realizar la identificación de peligros, evaluación y control de riesgos que afecte la seguridad y salud ocupacional de los trabajadores en sus puestos de trabajo.

#### **Subcapítulo II**

##### **Agentes Físicos**

**Artículo 95.-** Todo titular minero deberá monitorear los agentes físicos presentes en la operación minera tales como: ruido, temperaturas extremas, vibraciones, iluminación y radiaciones ionizantes y otros.

**Artículo 96.-** Se proporcionará protección auditiva cuando el nivel de ruido o el tiempo de exposición supere los valores de Nivel de Ruido establecidos en el ANEXO N° 7-E.

A partir de 100 decibeles se debe utilizar doble protección auditiva mientras se implementa las medidas de control necesarias.

No debe exponerse al personal a ruido continuo, intermitente o de impacto por encima de un nivel de 140 dB en la escala de ponderación "C".

Para la medición de ruido se utilizará la Guía N° 1.

**Artículo 97.-** En los lugares de trabajo donde se supere las temperaturas térmicas señaladas en el ANEXO N° 3 deberá tomarse medidas preventivas tales como: períodos de descanso dentro del turno de trabajo,

suministro de agua para beber no menor a 600 mililitros por hora de trabajo, aclimatación, tabletas de sal, entre otras, a fin de controlar la fatiga, deshidratación y otros efectos sobre el personal.

Las mediciones de exposición a estrés térmico (calor) deberá realizarse según método descrito en la Guía N° 2 para la Medición de Estrés Térmico.

**Artículo 98.** - En los lugares o áreas de trabajo donde la temperatura del ambiente signifique un riesgo de congelamiento para las partes expuestas del cuerpo del trabajador, el titular minero debe tomar las medidas necesarias a fin de minimizar dicho riesgo. En el ANEXO N° 3-A, Tabla de Riesgo de Congelamiento de las Partes Expuestas del Cuerpo, se indica el nivel de peligro al que puede estar sometido el trabajador.

**Artículo 99.-** Luego de la evaluación médica realizada por personal médico de salud, de enfermería o auxiliar de enfermería, si la temperatura corporal del trabajador supera los 38 °C o

registra menos de 36 °C no deberá permitirse su acceso o que continúe laborando.

**Artículo 100.-** Para el caso de exposición a radiación ionizante se debe cumplir con lo establecido por el Reglamento de Seguridad Radiológica, aprobado por Decreto Supremo N° 009-97-EM, sus modificatorias y demás normas vigentes aplicables.

El titular minero deberá realizar las mediciones de radiaciones de acuerdo a lo establecido por el IPEN (Instituto Peruano de Energía Nuclear) tanto para mediciones de área como para las dosimetrías.

**Artículo 101.-** En trabajos que implican exposición a radiación solar, el titular minero debe proveer protección como ropa de manga larga, bloqueador solar, viseras con protector de nuca y orejas, controlar la exposición en horas de mayor intensidad, entre otros; evitando que el trabajador presente signos de quemadura solar.

El área de salud del titular minero establecerá el tiempo de exposición del trabajador a los rayos solares y en tal sentido, determinará como parte del Equipo de Protección Personal (EPP) el uso de bloqueador solar con el Factor de Protección Solar (FPS) recomendable. De no contar con esta recomendación escrita usarán un bloqueador con un FPS de 30.

**Artículo 102.** - Para el caso de exposición de los trabajadores a vibraciones se debe cumplir con los valores que se indican a continuación.

a) Para Exposición a Vibración en Cuerpo Completo: el valor máximo de la aceleración en 8 horas será de 0.5m/s<sup>2</sup>.

b) Para Exposición a Vibración en Mano-Brazo:

Duración total diaria de la exposición <sup>1</sup>	Valores a no exceder por el componente de la aceleración dominante, rms y ponderada <sup>2</sup>
	(m/s <sup>2</sup> )
4 horas a menos de 8 horas	4
2 horas a menos de 4 horas	6
1 horas a menos de 2 horas	8
Menos de 1 hora	12

1: El tiempo total en que la vibración ingresa a la mano por día, ya sea continua o intermitente.

2: Usualmente uno de los ejes (x, y o z) de la vibración es el dominante (de mayor valor) sobre los otros dos. Si uno o más ejes exceden la exposición total diaria, entonces el límite ha sido excedido.

El titular minero, con la finalidad de tomar medidas correctivas, debe realizar mediciones de vibración con ponderaciones adecuadas para el tipo de labor siguiendo la Guía N° 3, para el Monitoreo de Vibración. El

presente estándar será auditable a partir de los tres (03) años y fiscalizable a partir de los (05) cinco años de vigencia del presente reglamento.

### **Subcapítulo III**

#### **Agentes Químicos**

**Artículo 103.-** El titular minero efectuará mediciones periódicas y las registrará de acuerdo al plan de monitoreo de los agentes químicos presentes en la operación minera tales como: polvos, vapores, gases, humos metálicos, neblinas, entre otros que puedan presentarse en las labores e instalaciones, sobretudo en los lugares susceptibles de mayor concentración, verificando que se encuentren por debajo de los Límites de Exposición Ocupacional para Agentes Químicos de acuerdo a lo señalado en el ANEXO N° 4 y lo demás establecido en el Decreto Supremo N° 015-2005-SA y sus modificatorias para garantizar la salud y seguridad de los trabajadores.

**Artículo 104.-** En las minas subterráneas convencionales o donde operan equipos con motores petroleros, deberá adoptarse las siguientes medidas de seguridad:

a) Deben estar provistos y diseñados para asegurar que las concentraciones de emisión de gases al ambiente de trabajo sean las mínimas posibles y la exposición se encuentre siempre por debajo del límite de exposición ocupacional para agentes químicos.

b) Monitorear y registrar diariamente las concentraciones de monóxido de carbono en el escape de las máquinas operando en el interior de la mina, las que se deben encontrar por debajo de 500 ppm de CO.

c) Monitorear y registrar mensualmente óxidos nitrosos

d) Las operaciones de las máquinas a petróleo se suspenderán, prohibiendo su ingreso a labores de mina subterránea:

1. Cuando las concentraciones de monóxido de carbono (CO) y/o gases nitrosos (NOx) en el ambiente de trabajo estén por encima del límite de exposición ocupacional para agentes químicos establecidos en el ANEXO N° 4 del presente reglamento.

2. Cuando la emisión de gases por el escape de dicha máquina exceda de quinientos (500) ppm de monóxido de carbono y de vapores nitrosos, medidos en las labores subterráneas.

e) Cuando la producción de gases genere peligro a otras labores de la mina, deberán:

1. Contar con equipos de ventilación forzada capaz de diluir los gases a concentraciones por debajo del límite de exposición ocupacional para agentes químicos.

2. Si las labores están gaseadas o abandonadas serán clausuradas por medio de puertas o tapones herméticos que impidan el escape de gases.

### **Subcapítulo IV**

#### **Agentes Biológicos**

**Artículo 105.-** Todo Sistema de Gestión de Seguridad y Salud Ocupacional deberá identificar los peligros, evaluando y controlando los riesgos, monitoreando los agentes biológicos tales como: mohos, hongos, bacterias, parásitos gastrointestinales y otros agentes que puedan presentarse en las labores e instalaciones, incluyendo las áreas de vivienda y oficinas.

### **Subcapítulo V**

#### **Ergonomía**

**Artículo 106.-** Todos los titulares mineros deberán identificar los factores, evaluar y controlar los riesgos ergonómicos.

**Artículo 107.-** Todo Sistema de Gestión de Seguridad y Salud Ocupacional deberá tomar en cuenta la interacción hombre - máquina - ambiente. Deberá identificar los factores, evaluar y controlar los riesgos ergonómicos de manera que la zona de trabajo sea segura, eficiente y cómoda, considerando los siguientes aspectos: diseño del lugar de trabajo, posición en el lugar de trabajo, manejo manual de cargas, carga límite

## GUIA N° 3

### MONITOREO DE VIBRACIÓN

Se realizará mediciones de vibración con ponderaciones adecuadas para el tipo de vibración (tanto para vibración mano-brazo como para vibración de cuerpo entero), midiendo con acelerómetros en los 3 ejes, en el punto de contacto y comparados con lo siguiente:

#### Exposición a Vibración en Cuerpo Completo

El valor máximo de la aceleración en 8 horas será de:  $0.5\text{m/s}^2$ .

#### Exposición a Vibración en Mano-Brazo:

Duración total diaria de la exposición <sup>1</sup>	Valores a no exceder por el componente de la aceleración dominante, rms y ponderada <sup>2</sup>
	( $\text{m/s}^2$ )
4 horas a menos de 8 horas	4
2 horas a menos de 4 horas	6
1 hora a menos de 2 horas	8
Menos de 1 hora	12

1: El tiempo total en que la vibración ingresa a la mano por día, ya sea continúa o intermitente.

2: Usualmente uno de los ejes (x, y o z) de la vibración es el dominante (de mayor valor) sobre los otros dos. Si uno o más ejes exceden la exposición total diaria, entonces el límite ha sido excedido.

#### Del Trabajador Muestreado:

En la medida de lo posible, el trabajador será seleccionado de manera aleatoria dentro del grupo/puesto al cual pertenece o, de lo contrario, se le seleccionará basándose en las observaciones que haya tenido el equipo que va a operar, de parte de otros operadores o de él mismo.

El trabajador que va a ser muestreado deberá recibir instrucciones precisas acerca de lo que debe y no debe hacer mientras lleve el equipo:

- El plato deberá mantenerse directamente en el punto de contacto de la máquina con el cuerpo.
- No sacar el equipo durante la jornada.
- No tocar los botones de programación del equipo.
- No mover o sacar las conexiones entre el equipo y plato.

#### Medición de la exposición a Vibración en Cuerpo Completo:

- Se deberá identificar el (los) punto(s) de contacto a través del cual el cuerpo se expone a la vibración. Por ejemplo: en un tractor, a través del asiento; en los controles de una máquina, a través de los pies.
- Programar el equipo para que mida la aceleración ponderada para cuerpo entero (que mida en aquellas frecuencias que generan efectos adversos) y entregue la aceleración resultante.

3. Colocar el medidor (acelerómetro en los tres ejes) en el punto de transmisión de la vibración.
4. Dar las indicaciones al trabajador.
5. Realizar la medición a lo largo de una jornada de trabajo.
6. Obtener las aceleraciones ponderadas en cada eje X, Y y Z.
7. Calcular la aceleración resultante usando la ecuación 1.

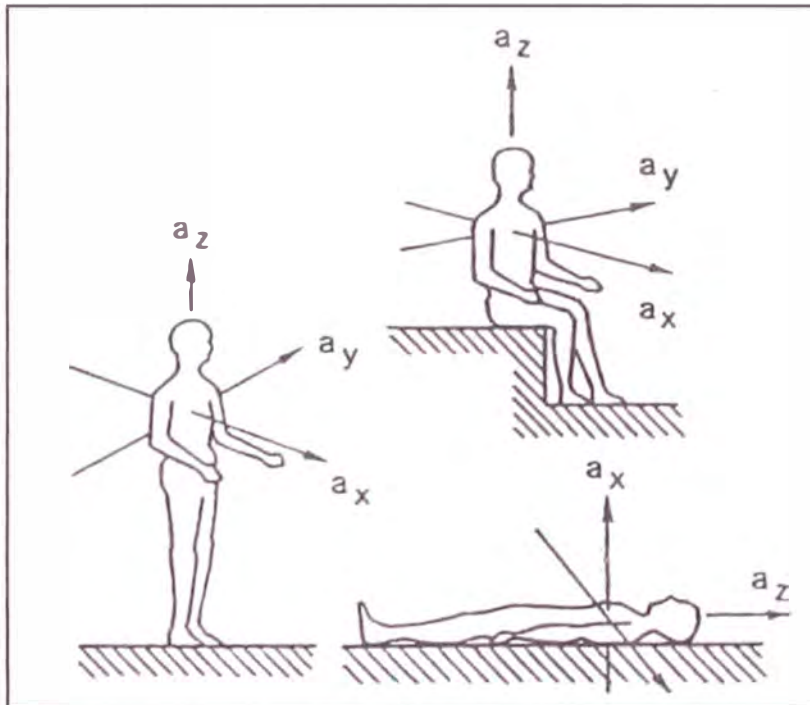
$$A_{wt} = \sqrt{(1.4A_{wx})^2 + (1.4A_{wy})^2 + (A_{wz})^2} \dots (1)$$

Donde:

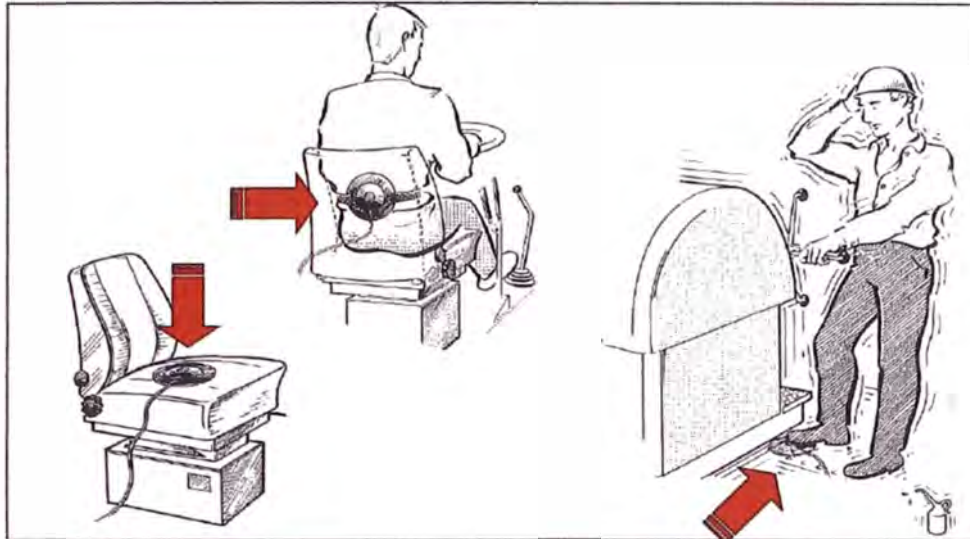
$A_{wx}$ ;  $A_{wy}$ ;  $A_{wz}$ : Aceleraciones ponderadas para cuerpo entero en sus respectivos ejes X, Y y Z

$A_{wt}$ : Aceleración ponderada resultante de la vibración

8. Comparar el valor  $A_{wt}$  con el límite permisible para exposición de cuerpo entero.



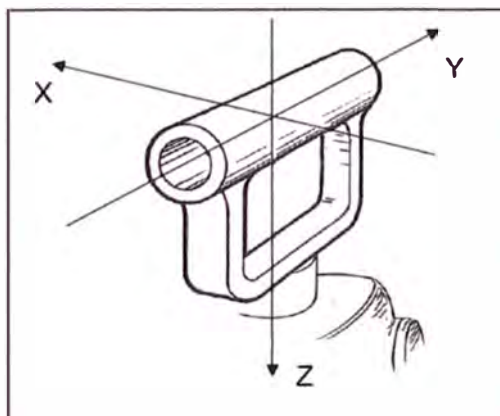
**Figura 1.** Mediciones de Aceleración en el Sistema Coordinado Biodinámico (Adaptado de ISO 2631)  $a_x$ ,  $a_y$ ,  $a_z$  =aceleración en la dirección de los ejes x, y, z; eje x=espalda hacia pecho; eje y= de derecha a izquierda; eje z= de los pies a la cabeza.



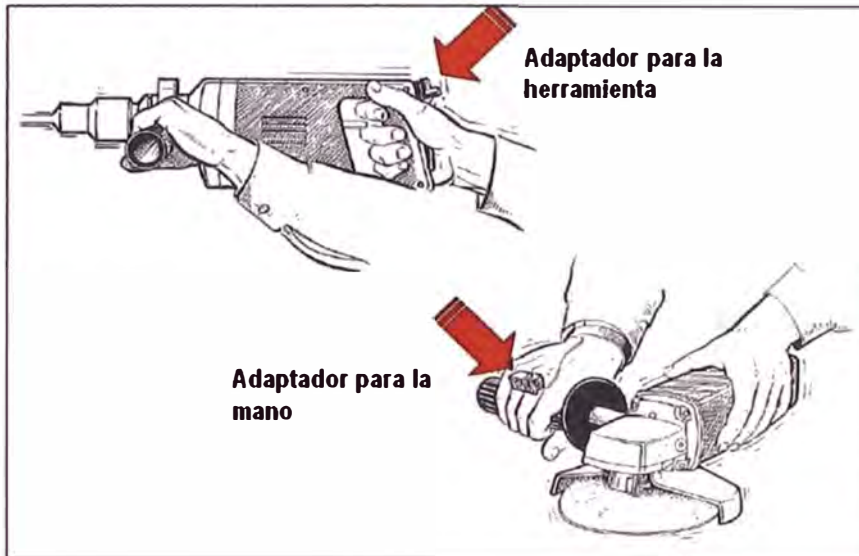
**Figura 2.** Posición correcta de los acelerómetros, de acuerdo al punto de transmisión de la vibración

### Medición de la exposición a Vibración en Mano-Brazo:

1. Se deberá identificar el(los) punto(s) de contacto a través del(los) cual(es) la mano-brazo se expone a la vibración.
2. Programar el equipo para que mida la aceleración ponderada para exposición de mano-brazo (que mida en aquellas frecuencias que generan efectos adversos en esta parte del cuerpo) y entregue la aceleración resultante.
3. Colocar el medidor (acelerómetro en los tres ejes) en el punto de transmisión de la vibración.
4. Dar las indicaciones al trabajador.
5. Realizar la medición a lo largo de una jornada de trabajo o por un periodo de uso del equipo-herramienta.
6. Obtener las aceleraciones ponderadas en cada eje X, Y y Z.
7. Calcular el tiempo de exposición diaria (u horas uso por día del equipo-herramienta).
8. De acuerdo al tiempo de exposición, comparar los valores obtenidos en la medición con el límite permisible correspondiente. Se deberá comparar cada una de los valores de aceleración obtenidos (en cada eje). Basta con que uno de los valores supere el límite permisible para que la exposición del trabajador supere el límite.



**Figura 3.** Ejes de medición en el punto de contacto con el equipo-herramienta



**Figura 4.** Posición correcta del acelerómetro, según el tipo de adaptador que se use.

**Fuente : ACGIH – Conferencia Americana de Higienistas Industriales y Gubernamentales.**

## **ACCIDENTE CATASTRÓFICO OCURRIDO EN LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA SAYANO-SHUSHESKAYA A CAUSA DE VIBRACIÓN MECÁNICA.**

La central hidroeléctrica tiene una presa de 245 metros de altura y una longitud de 1 066 metros, Fue puesta en operación el año 1 978, con 10 turbinas generadoras de 640 MW cada uno y con una producción total de 22 800 millones de KVH al año.

De Enero a Marzo del 2 009, la turbina N° 2 fue objeto de reparaciones programadas, además de una modernización. Esta fue la primer y única turbina de la estación que estaba equipada con un nuevo regulador electro-hidráulico de velocidad de rotación suministrado por la empresa PROMAVTOMATIKA. Durante el transcurso de la reparación, las palas fueron, porque las grietas y cavidades habían aparecido después del largo periodo de operación. Sin embargo, la turbina no fue reajustada correctamente después que estas reparaciones terminaron. Las vibraciones en la turbina N° 2 aumentaron hasta 0.15 milímetros en el rodamiento principal a plena carga. Si bien no superaba las especificaciones, era inaceptable para el uso a largo plazo.

La vibración excedió las especificaciones a comienzos de Julio del mismo año y continuó aumentando a una velocidad acelerada. En la noche del 16 al 17 de Agosto, el nivel de vibración aumentó considerablemente. Hubo varios intentos de detener la turbina. Durante el de 16 de Agosto, hasta las 20:30 horas, la carga de la



turbina N° 2 fue de 600 MW, entonces se redujo entre 100 y 200 MW. El 17 de Agosto del 2 009, a las 3:00, la carga se incrementó de nuevo a 600 MW, a las 3:30 se redujo a 200 MW, y a las 3:45 se volvió a aumentar a 600 MW. Durante este tiempo, el nivel de vibración fue muy alto, tanto que fue registrado por los instrumentos sísmicos de la planta. Durante los intentos de cierre, el rotor de la turbina fue empujado hacia arriba, lo que aumentó la presión en la tapa de la misma. La cubierta era mantenida en su lugar por 80 tornillos de 8 cm. de diámetro, los cuales colapsaron hasta originar la salida intempestiva de la cubierta.

Las sobrecargas dinámicas complementarias así como el deterioro de estructura llegan a ocasionar la avería que ocasionó la paralización total de la central hidroeléctrica, ocasionando 69 muertos y 05 desaparecidos. Más de 1 000 personas fueron movilizadas en la operación de la búsqueda de los desaparecidos hasta el extremo de utilizar un robot submarina en las agua heladas rio debajo de la central.

Una comisión gubernamental aprobó el plan de reparaciones elaborado por el ministerio de Energética y el costo total de reparaciones de la central ha sido evaluado en 1 300 millones de dólares y en un tiempo de 02 años.

Se muestran la Fig.1 y Fig.2 donde se aprecia la magnitud de los daños ocurridos en esta catástrofe, siendo 74 las personas que fallecieron en esta catástrofe.



**Fig.1. Daños causado en la parte intermedia de la central hidroeléctrica**



**Fig.2. Daños causado en la parte alta de la central hidroeléctrica**