

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR - JOSÉ MIGUEL CARRERA

PROTOCOLO PARA LA DE MEDICIÓN DE VIBRACIONES EN BOMBAS
CENTRÍGUFAS REPARADAS POR EMPRESA PROSEAL

Trabajo de Titulación para optar al
Título de Técnico Universitario en
MECÁNICA INDUSTRIAL

Alumnos:

Mario Esteban Stokebran Ahumada

Sebastián Ignacio Gajardo Rebolledo

Profesor guía:

Claudio Olguín Bermúdez

RESUMEN

KEYWORDS: BOMBAS CENTRÍFUGAS, PROGRAMA DE MEDICIONES PROTOCOLO.

Se pretende establecer un protocolo de medición de vibraciones en bombas centrífugas horizontales y verticales para que cada vez que se repare una bomba y posteriormente sea puesta en marcha, el personal de la empresa Proseal pueda regirse estrictamente por dicho protocolo para realizar la medición en los puntos correctos de cada bomba e interpretar los resultados de cada medición. Sumado a lo anteriormente mencionado el protocolo también se extenderá para personal de faena, ya que se establecerán los tiempos de medición en cada punto de las bombas para realizar un monitoreo constante del funcionamiento de los equipos y así poder prever con antelación posibles fallas.

Como parte inicial, se detallan los antecedentes generales, distribuidos en: la presentación de la empresa, definiciones de conceptos generales y los motivos por el cual se realiza este trabajo, así como también los beneficios que se obtendrán al establecer un protocolo para la medición de las vibraciones en bombas.

En segunda instancia hablaremos de las bombas centrífugas, describiendo su funcionamiento, clasificación, tipos y ahondaremos principalmente en las bombas verticales y horizontales. También se describirá todo lo relacionado al análisis de vibraciones dando a conocer conceptos básicos, las etapas de la medición en máquinas, la instrumentación utilizada por Proseal, las normas que rigen para las maquinarias y más específicamente la norma que rige para controlar y analizar las vibraciones en bombas centrífugas.

Finalmente explicaremos el protocolo el cual se divide en 5 documentos distintos, “Causas y soluciones de los altos niveles de vibraciones”, “Control de medición de vibraciones”, “Guía para la medición de vibraciones en bombas”, “Procedimiento de medición con analizador de vibraciones”, “Procedimiento de medición con medidor de vibraciones” y a lo que se suma un programa para la medición de vibraciones en bombas. Se mostraran los resultados y los impactos que tienen para Proseal y para sus trabajadores la existencia y utilización de este protocolo de medición.

ÍNDICE

RESUMEN

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

INTRODUCCIÓN

OBJETIVOS GENERALES Y ESPECIFICOS

OBJETIVO GENERAL

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES

1.1. PRESENTACION DE LA EMPRESA

1.1.1. Historia, fundación y antecedentes

1.1.2. Ubicación geográfica

1.1.3. Actividad de la empresa

1.2. PRESENTACIÓN DEL TRABAJO DE TITULO

1.2.1. Antecedentes generales y específicos del trabajo de título

1.2.2. Definición de situación actual

1.2.3. Problemática y solución

1.2.4. Beneficios del trabajo de título

1.3. MANTENCIÓN INDUSTRIAL

1.3.1. Antecedentes

1.3.2. Definición de Mantenimiento

1.3.3. Tipos de mantenimiento

1.4. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

1.4.1. Ensayos no destructivos más comunes

1.5. DEFINICION DE VIBRACIONES

1.5.1. Vibraciones mecánicas

1.5.2. Conceptos básicos de la vibración

1.5.3. Medición de la vibración global

1.5.4. Espectro vibratorio

CAPÍTULO 2: VIBRACIONES EN BOMBAS CENTRÍFUGAS

2.1. COMPOSICIÓN DE LA CADENA DE MEDICIÓN

2.1.1. Adquisición de datos

2.1.2. Transductores de vibración

2.1.3. Instrumentos de medición

- 2.1.4. Instrumento de medición utilizado en Proseal
- 2.1.5. Interpretación de datos
- 2.2. NORMAS QUE RIGEN LAS VIBRACIONES EN MÁQUINAS
 - 2.2.1. Severidad de la vibración
 - 2.2.2. Normas de evaluación
 - 2.2.3. Estándares de severidad vibratoria
 - 2.2.4. Normas de evaluación de severidad vibratoria existentes
 - 2.2.5. Condición de la maquinaria inspeccionada
 - 2.2.6. Criterios de evaluación
- 2.3. EQUIPOS DE BOMBEO
 - 2.3.1. Conceptos básicos en bombas
 - 2.3.2. Concepto de bomba
 - 2.3.3. Bomba Centrífuga
 - 2.3.4. Norma de evaluación de la severidad vibratoria para bombas
 - 2.3.5. Medición y análisis de vibraciones en bombas centrífugas
 - 2.3.6. Causa de vibraciones en bombas centrífugas

CAPÍTULO 3: PROTOCOLO DE MEDICION Y PROGRAMA DE MEDICIONES

- 3.1. PROTOCOLO DE MEDICIÓN
 - 3.1.1. Definición de protocolo
 - 3.1.2. Protocolo de medición de vibraciones para bombas reparadas por Proseal
 - 3.1.3. Documentos que constituyen el protocolo de medición de vibraciones para bombas reparadas por Proseal
 - 3.1.3. Documentos bajo el sistema de gestión de la calidad ISO 9001:2008
- 3.2. PROGRAMA DE MEDICIÓN DE VIBRACIONES
 - 3.2.1. Definición de programación
 - 3.2.2. Objetivo de la creación del programa de medición de vibraciones
 - 3.2.3. Programa de medición de vibraciones para bombas reparadas por Proseal
- 3.3. MEDICIONES EN TERRENO DE VIBRACIONES EN BOMBAS CENTRÍFUGAS
 - 3.3.1. Medición de vibraciones en bomba centrífuga vertical
 - 3.3.2. Medición de vibraciones en bomba centrífuga horizontal
- 3.4. PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN
 - 3.4.1. Implementación del protocolo de medición para las puestas en marchas
 - 3.4.2. Implementación para personal de faena

- 3.4.3. Implementación del programa de medición de vibraciones para personal de faena
- 3.5. RESULTADOS Y OBSERVACIONES FINALES
 - 3.5.1. Resultados antes y después de la implementación del protocolo en las puestas en marchas
 - 3.5.2. Resultados antes y después de la implementación del protocolo para personal de faena
 - 3.5.3. Resultados antes y después de la implementación del programa de medición de vibraciones
 - 3.5.4. Observaciones finales

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

- ANEXO A: DOCUMENTO CONTROL DE VIBRACIONES
- ANEXO B: GUÍA PARA LA MEDICIÓN DE VIBRACIONES EN BOMBAS
- ANEXO C: PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN CON EQUIPO MEDIDOR DE VIBRACIONES
- ANEXO D: PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN CON EQUIPO ANALIZADOR DE VIBRACIONES
- ANEXO E: CAUSAS Y SOLUCIONES DE LOS ALTOS NIVELES DE VIBRACIONES EN BOMBAS

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1-1. Ubicación geográfica sucursal Marga Marga
- Figura 1-2. Ubicación geográfica Casa Matriz
- Figura 1-3. Denominaciones utilizadas en una curva sinusoidal
- Figura 2-1. Sentido (dirección) de toma de datos de vibraciones
- Figura 2-2. ADASH Vibrio 4900 con accesorios
- Figura 2-3. Principio de funcionamiento de una bomba centrífuga
- Figura 2-4. Partes componentes principales de una bomba centrífuga
- Figura 2-5. Impulsor abierto
- Figura 2-6. Impulsor semiabierto
- Figura 2-7. Impulsor cerrado

- Figura 2-8. Bomba centrífuga de configuración horizontal
- Figura 2-9. Bomba centrífuga de configuración vertical
- Figura 2-10. Puntos de medición en una bomba centrífuga
- Figura 2-11. Distribución de desbalanceo
- Figura 2-12. Ejes desalineados, desalineamiento angular
- Figura 2-13. Ejes desalineados, desalineamiento paralelo
- Figura 2-14. Ejes desalineados, desalineamiento mixto
- Figura 2-15. Desgaste producido por la cavitación en un rodete
- Figura 3-1. Montaje de bomba vertical inspeccionada
- Figura 3-2. Proceso de sujeción de la bomba a los cimientos
- Figura 3-3. Sujeción entre la bomba y el motor eléctrico
- Figura 3-4. Medición en sentido axial del lado acople del motor
- Figura 3-5. Medición en sentido horizontal del lado acople del motor
- Figura 3-6. Medición en sentido vertical del lado acople del motor
- Figura 3-7. Medición en sentido axial caja porta rodamiento
- Figura 3-8. Medición en sentido horizontal caja porta rodamiento
- Figura 3-9. Medición en sentido vertical caja porta rodamiento
- Figura 3-10. Medición en sentido axial caja porta rodamiento lado libre
- Figura 3-11. Medición en sentido vertical caja porta rodamiento lado acople
- Figura 3-12. Medición en sentido horizontal motor eléctrico lado acople
- Figura 3-13. Medición en sentido axial motor eléctrico lado libre

ÍNDICE DE FORMULAS

Formula 1-1. Ecuación para calcular el valor RMS de una vibración

ÍNDICE DE GRÁFICOS

- Grafico 1-1. Denominación de periodo y ciclo en una onda sinusoidal
- Gráfico 1-2. Representación de magnitudes Pico y Pico a Pico
- Grafico 1-3. Formas de ondas y espectros de vibraciones generadas en las máquinas

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1.	Fechas y horarios de capacitaciones
Tabla 2-1.	Normas más utilizadas y sus principales características
Tabla 2-2.	Cuadro de evaluación vibratoria norma ISO 10816-3
Tabla 2-3.	Zonas de clasificación del estado de la maquinaria norma ISO 10816-3
Tabla 2-4.	Clasificación del tipo de maquinaria según norma ISO 10816-3
Tabla 3-1.	Programa de medición de vibraciones para bombas centrífugas
Tabla 3-2.	Condiciones operacionales bomba Neptuno VTP 850 X-7
Tabla 3-3.	Resultados obtenidos de la medición en lado acople del motor
Tabla 3-4.	Resultados obtenidos de la medición en caja porta rodamientos
Tabla 3-5.	Evaluación de resultados obtenidos lado acople motor, bomba vertical
Tabla 3-6.	Evaluación de resultados obtenidos caja porta rodamientos, bomba vertical
Tabla 3-7.	Datos operacionales de la bomba Goulds 3600 8x10-13D
Tabla 3-8.	Resultados obtenidos de la medición en caja porta rodamientos lado libre
Tabla 3-9.	Resultados obtenidos de la medición en caja porta rodamientos lado acople
Tabla 3-10.	Resultados obtenidos de la medición en motor eléctrico lado acople
Tabla 3-11.	Resultados obtenidos de la medición en motor eléctrico lado libre
Tabla 3-12.	Evaluación de los resultados obtenidos caja porta rodamientos lado libre, bomba horizontal
Tabla 3-13.	Evaluación de los resultados obtenidos caja porta rodamientos lado acople, bomba horizontal
Tabla 3-14.	Evaluación de los resultados obtenidos lado acople motor, bomba horizontal
Tabla 3-15.	Evaluación de los resultados obtenidos lado libre motor, bomba horizontal

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

SIGLAS

AAS:	Anglo American Sur
CPM:	Ciclos por minuto
DC:	Direct Current
END:	Ensayo no destructivo
GPM:	Galones por minuto
ICP:	Integrated circuit piezoelectric
ISO:	International Organization for Standardization
PM:	Mantenimiento productivo
RMS:	Raíz media cuadrática
RPM:	Revoluciones por minuto
SAG:	Semiautógeno
TPM:	Mantenimiento productivo total

SIGLA

Hz	Hertz
l	Litros
m	Metros
m3	Metros cúbicos
mca	Metros columna de agua
MHz	Mega Hertz
min	Minuto
mm	Milímetro
s	Segundo

INTRODUCCIÓN

En la actualidad una gran parte de la industria nacional, proyecta en el departamento de mantención lo que serán sus mayores utilidades o por el contrario parte de sus grandes pérdidas. Ya es conocido que el mantenimiento industrial es fundamental para una empresa y la correcta planificación de éste puede traer muchos beneficios en términos de productividad y en términos económicos.

Los ensayos no destructivos nos dan una idea de la condición de un equipo y el tiempo en que se puede producir una falla leve, media o catastrófica. Dentro de este tipo de ensayos, el análisis de vibraciones es uno de los utilizados con mayor frecuencia por ser un ensayo relativamente sencillo de realizar, siempre y cuando se tengan los datos y los conocimientos técnicos suficientes para realizarlo.

En la industria nacional, principalmente en el área de minería, energía, plantas petroquímicas y plantas desaladoras, se utilizan equipos de impulsión de líquidos (equipos de bombeo) que son fundamentales para el normal desarrollo de dichas industrias y en donde sí se presentan fallas puede significar gran pérdida de producción y por ende gran pérdida económica. Controlar y monitorear constantemente dichos equipos bajo el análisis de vibraciones es algo que se debe realizar correctamente y bajo una planificación que nos indique parámetros de medición, tiempos de ejecución y pasos a seguir a modo de disminuir fallas catastróficas que conllevan en muchas ocasiones a un prolongado tiempo de improductividad.

En el siguiente trabajo se entregará información teórica y práctica acerca de la medición de vibraciones, poniendo especial énfasis en la explicación de la vibración, su efecto en bombas centrífugas horizontales y verticales y las ventajas que se producen al controlar este espectro. Además se entregará información del funcionamiento de los distintos equipos de bombeo que serán analizados y se dará a conocer los criterios que hay que tomar para elegir los correctos puntos de medición.

Adicionalmente se mostrará el correcto uso, las formas de medir y los aspectos de seguridad que se deben tener para manipular el equipo de medición en las diferentes bombas centrífugas. Además se dará a conocer el programa que el personal de faena debe seguir para controlar las vibraciones en los equipos y tomar las medidas correspondientes según lo indiquen los resultados de las vibraciones.

OBJETIVOS GENERALES Y ESPECIFICOS

OBJETIVO GENERAL

Establecer un protocolo de medición de vibraciones para bombas centrífugas horizontales y verticales reparadas por la empresa Proseal, para su puesta en marcha y para su posterior funcionamiento en las plantas de producción.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener información acerca del funcionamiento y el campo de operaciones de las bombas centrífugas horizontales y verticales.
- Identificar y establecer puntos de medición en bombas centrífugas horizontales y verticales para realizar las mediciones adecuadas en dichos puntos.
- Identificar la Norma que rige para el análisis de vibraciones en bombas centrífugas.
- Realizar medición de una bomba centrífuga en terreno, corroborar puntos de medición y controlar mediciones según Norma.
- Dar a conocer al personal de Posventa y personal de faena de la empresa Proseal los diferentes documentos que componen el protocolo de medición.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1. PRESENTACION DE LA EMPRESA

1.1.1. Historia, fundación y antecedentes

Ingeniería, Desarrollo y Servicios Tecnológicos Limitada (Proseal & Tech Ltda. o simplemente Proseal) se funda el 10 de febrero del año 2005 bajo el concepto de sociedad limitada, conformada por los señores Manuel Alfaro, Iván Alfaro, Jaime Moreno y Raúl Oróstica, en la ciudad de Quilpué. La empresa fue creada con el objetivo de ser la principal empresa nacional en cuanto a reparación y venta de bombas centrífugas y para atender a las diversas industrias del país enfocados principalmente en la minería.

La empresa cuenta con un número de 150 trabajadores, formados por Ingenieros y Técnicos con más de 25 años de experiencia en industrias, Mineras, Petroquímicas y de Generación Eléctrica, con un alto grado de calificación en procesos de fabricación, reconstrucción y mantenimiento de equipos de bombeos, reductores y equipos rotativos.

Proseal cuenta con dos unidades de principales de negocio, las cuales son Venta de equipos de bombeo, en donde se destaca el suministro de bombas y repuestos para bombas centrífugas verticales, horizontales, tipo cantiléver, bombas de pulpa, tipo turbina, bombas sumergibles, bombas para red contra incendios, etc. y Reparación de equipos de bombeo, siendo esta última unidad quien aporta con el 75% de las utilidades de la empresa. Es por ello que Proseal se concentra en mantener personal calificado y capacitado para realizar las tareas de reparación de equipos que son entre otras el armado y desarmado de bombas, control dimensional de piezas, fabricación y reparación de partes componentes de bombas, soldadura, control de calidad, además de contar con profesionales encargados del mantenimiento de equipos de bombeo en faenas mineras, más específicamente en la empresa Anglo American Sur División “Los Bronces y División “Las Tórtolas” con quien Proseal mantiene un contrato de reparación y mantención de bombas.

El equipo de profesionales de Proseal, está dotado de una amplia experiencia en fabricación de componentes y piezas para bombas centrífugas en acero Hastelloy C-276, Súper Dúplex 2205, AISI 904L, Alloy 20, 316 SS, 254 SMO, Titanio, Bronce.

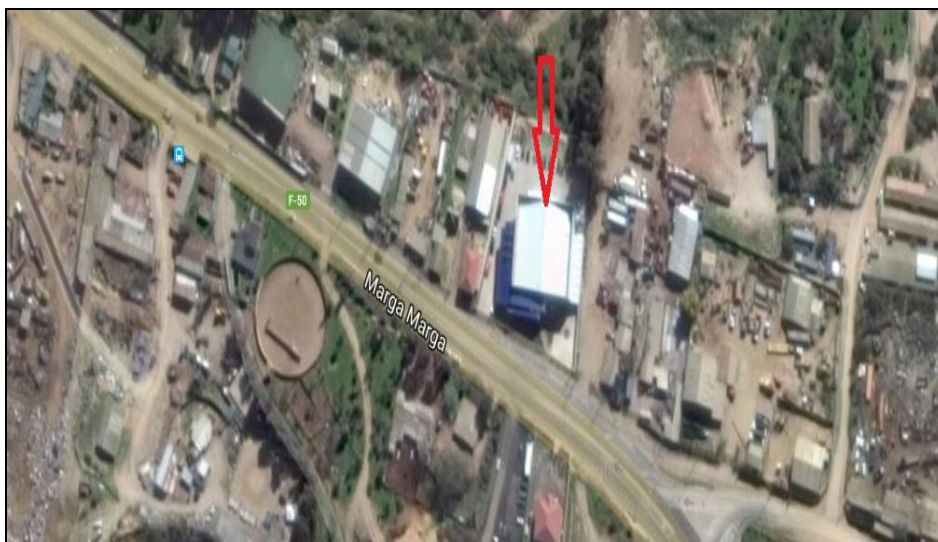
Las operaciones de Proseal se rigen bajo una política de calidad de altos estándares, estrictos manejos de normas ambientales y en la búsqueda de los beneficios del desarrollo sustentable, junto a la aplicación de políticas de administración de recursos humanos y técnicos basados en la norma de calidad ISO 9001, que se encuentra en estado de implementación a partir del año 2009, y que promueve la entrega del mejor servicio a los clientes y transmite a sus trabajadores los beneficios de la creación de nuevas oportunidades y capacitaciones laborales.

1.1.2. Ubicación geográfica

En la actualidad la empresa Proseal cuenta con 5 sucursales ubicadas en el Norte y en la zona Central del país. En la zona Norte se encuentra la sucursal Iquique ubicada en Avenida 18 de septiembre #1890 la cual cuenta con oficinas comerciales y un taller para la inspección visual y evaluación de bombas centrífugas. La otra sucursal de la zona es la de Antofagasta, oficina comercial, ubicada en Avenida Cerro Paranal #210, edificio Trancura, oficina 191. En la zona Central se encuentra la oficina comercial ubicada en Calle Miguel Claro #195, oficina 801, Santiago.

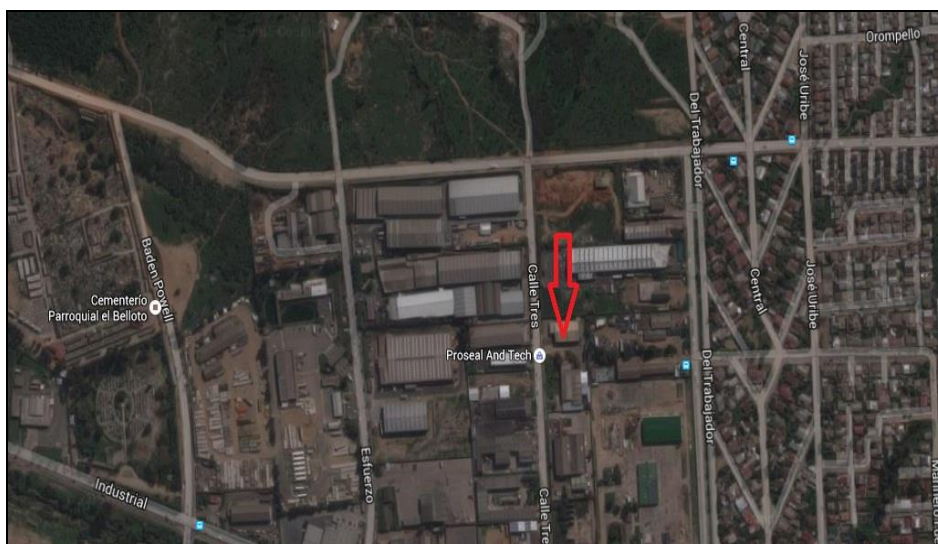
El rápido crecimiento de esta empresa ha permitido a sus dueños poder construir las sucursales anteriormente nombradas y de esta manera expandir sus operaciones fuera de la zona en que se creó la empresa. Desde la quinta región, más específicamente Quilpué se atiende y se da soporte técnico y comercial a las demás sucursales. En el sector de El Belloto se encuentra la casa Matriz de la empresa en donde se reciben, se inspeccionan y se reparan las bombas centrífugas. Para cumplir esa labor es que en la casa Matriz se encuentra el área de Soldadura, el área Reparación, Ingeniería, Control de calidad, Abastecimiento y Posventa. La segunda sucursal más grande e importante de la empresa también se encuentra ubicada en Quilpué, en calle Marga Marga #3731, acá encontramos oficinas comerciales, oficinas de gerencia, área de contabilidad, centro de mecanizado y distribución, además se encuentra un equipo técnico-comercial encargado de venta y arriendo de equipos bombeo y repuestos.

Gracias al gran crecimiento que ha experimentado la empresa, surge la necesidad de abrir nuevas sucursales inclusive fuera de los límites nacionales.



Fuente: Google Earth

Figura 1-1. Ubicación geográfica sucursal Marga Marga



Fuente: Google Earth

Figura 1-2. Ubicación geográfica Casa Matriz

1.1.3. Actividad de la empresa

Proseal es una empresa especializada en la reparación, fabricación y ensamblado de componentes de bombas centrífugas. Además cuenta con una unidad dedicada a la venta y arriendo de equipos de bombeo así como también repuestos. Por otra parte Proseal ha desarrollado un contrato con el grupo minero Anglo American Sur hasta el año 2017, en donde para sus divisiones “El Soldado” y “Las Tórtolas” cuenta con una cuadrilla de técnicos y supervisores mecánicos encargados de las tareas de

Overhaul que requieren para las distintas bombas centrífugas con que cuentan las faenas mineras mencionadas. Por último podemos mencionar que la empresa en este último tiempo se encuentra explorando una nueva unidad de negocio la cual consiste en el servicio de Microfiltrado de aceites en molinos SAG de faenas mineras. Actualmente la empresa se encuentra ejecutando por primera vez este servicio en Minera Escondida Limitada, específicamente en la concentradora Laguna Seca, servicio que comenzó en Junio del año 2015 y terminó en Agosto de ese mismo año pero que gracias a los buenos resultados obtenidos se extendió por un año más, ampliando así el servicio hasta Agosto del año 2016.

Si bien Proseal cuenta con las unidades de negocios que se mencionaron anteriormente, se especializa principalmente en la construcción, ensamblado y reconstrucción de equipos rotativos que se encuentran en operaciones mineras, petroleras, generadoras, químicas y de distribución de aguas. Debiendo para ello rediseñar, fundir y fabricar diferentes componentes como ejes, impulsores, carcazas, bujes, anillos de desgaste, columnas y soportes metálicos de motobombas.

Este proceso involucra importación de materias primas, ejecución de planos, diseño, fabricación de modelos, fundición de piezas y mecanizado antes del armado de bombas.

La fabricación de repuestos y partes de bombas centrífugas realizados por Proseal, se complementa con servicios hacia sus clientes en actividades externas extras como:

- Registro, control y monitoreo de bombas centrífugas.
- Asistencia en campo en ensamblado y puesta en marcha de unidades de bombeo.
- Capacitación del correcto uso y mantenimiento de bombas a personal externo.
- Traspaso de información, referente a prolongaciones de vida útil de
- Traspaso de información, referente a la eficiencia en consumo energético.

1.2. PRESENTACIÓN DEL TRABAJO DE TÍTULO

1.2.1. Antecedentes generales y específicos del trabajo de título

Cuando una bomba centrífuga llega a Proseal para ser reparada se debe cumplir un protocolo y un procedimiento de reparación. La parte final de ese procedimiento se cumple cuando la bomba es llevada a la faena correspondiente y es allí en donde el personal de Proseal realiza un trabajo de puesta en marcha del equipo en donde se miden

las distintas variantes de las bombas y se asegura que se cumplan con todas las normas correspondientes. La empresa cuenta con un especialista en las puestas en marcha de los equipos y con instrumentos necesarios y de gran tecnología los cuales se ocupan para realizar las mediciones en las bombas y otras verificaciones tanto en la bomba como en el sistema que irán instaladas.

Los distintos parámetros y verificaciones que se miden al momento de poner en marcha una unidad de bombeo y las verificaciones son los siguientes.

- Verificación del correcto almacenamiento del equipo.
- Verificar que los flanges de la bomba estén libres de tensiones.
- Verificar Alineamiento.
- Chequear conexiones eléctricas del motor.
- Asegurarse que la bomba este llena de líquido.
- Verificar la lubricación de la bomba y del motor.
- Chequear en sentido de rotación.
- Ajustar prensa estopa.
- Revisar sellos mecánicos.
- Medir vibraciones.

Se debe tener el control de los parámetros anteriormente mencionados, se debe asegurar que al momento de la puesta en marcha todos los parámetros cumplan con la norma correspondiente que lo rige, solo de esta manera se asegurará un buen y correcto funcionamiento de la bomba reparada, sin embargo si no se lleva un control sistemático y periódico de alguno de estos parámetros, las mediciones realizadas al comienzo pueden cambiar radicalmente y llevaran seguramente a la falla del equipo. Por ende es sumamente importante que no solo se preocupe de la medición al momento de la puesta en marcha si no también se ponga énfasis en la medición constante de la unidad de bombeo para prevenir las fallas catastróficas.

Proseal cuenta con un documento llamado “Pump Start up & acceptance test” (o simplemente “Start Up”) en donde se va anotando datos de operación de la bomba, información sobre el cliente, condiciones del sistema en que operara la bomba y se anotan los resultados obtenidos de los parámetros que se describieron anteriormente, con el fin de dejar un registro de que la bomba se entregó operando en condiciones óptimas y dentro de la normativa correspondiente según los distintos parámetros.

1.2.2. Definición de situación actual

Cuando se realiza la puesta en marcha de una bomba y se completa el correspondiente “Start Up” con todos los parámetros dentro de norma, se puede decir que la empresa ha entregado el equipo en condiciones óptimas y por ende se puede dar por finalizado ese servicio de reparación. Actualmente el “Start Up” es el único documento con el que cuenta la empresa para las puestas en marcha, pero este documento solo se debe completar y en ningún caso describe algún procedimiento de cómo realizar las mediciones y/o verificaciones.

Estrictamente son solo dos parámetros que se miden y que son el alineamiento y las vibraciones, este último es de vital importancia controlar puesto que nos ayudara a visualizar e identificar si la bomba ha quedado mal montada o bien si existe algún riesgo cercano de falla.

En la faena minera en donde Proseal posee un contrato de servicios Overhaul de bombas centrífugas, una vez que las bombas son puestas en marchas, no se verifica si después de un tiempo el nivel de vibraciones sigue siendo lo permitido por norma, por consiguiente no se puede llevar un control de las bombas reparadas y solo se le informa al personal de Proseal para realizar tareas de mantenimiento correctivo.

1.2.3. Problemática y solución

Como se mencionó en párrafos anteriores existen dos grandes problemáticas, la primera es no contar con documentos de registro y procedimiento que indique el paso a paso y también los parámetros que se deben cumplir cuando se miden vibraciones en bombas centrífugas. La segunda problemática es que en las faenas de AAS el personal de Proseal solo se encarga de asistir en el montaje y en tareas de mantenimiento correctivo debido al nulo control que se tiene posteriormente de reparar una bomba y si bien el mantenimiento correctivo que se le hace a las bombas es cobrado mes a mes en un estado de pago, el monto de facturación puede ser mayor si agregamos el mantenimiento predictivo a las tareas realizadas.

Para dar solución a ambas problemáticas se ha decidido confeccionar un protocolo de medición de análisis de vibraciones y un programa de medición de vibraciones para el caso de las bombas reparadas que se encuentran en funcionamiento en faena.

El protocolo de medición consta de 5 documentos en los cuales se explican y mencionan los puntos de medición en bombas verticales y horizontales, la norma que rige las vibraciones en bombas centrífugas el paso a paso de la medición en estos

equipos, las causas de las vibraciones y cómo podemos solucionarlas. Para el caso de las bombas reparadas que se encuentren en las faenas de AAS, se realizó un programa de mediciones, indicando en él la frecuencia con cual se deben realizar dichas mediciones. El objetivo de este conjunto de documentos es que personal de Posventa y personal de faena conozca todo lo relacionado a vibraciones en bombas centrífugas.

1.2.4. Beneficios del trabajo de título

Al tener solo una persona especializada en las puestas en marchas, que se encarga de realizar las mediciones y también controlar los parámetros, se hace sumamente dificultoso cuando esta persona no se encuentra disponible (ya sea por enfermedad, vacaciones o puestas en marchas paralelas), encontrar el reemplazo indicado y que pueda cumplir a cabalidad con los objetivos. La realización del protocolo está enfocada para que aquella dificultad se convierta en un beneficio y se enfoca para que cualquier trabajador que llegue al departamento de Posventa o bien personal que se encuentre en faena que posea una experiencia básica en el armado, desarmado y mantenimiento de bombas, pueda realizar este trabajo con el simple hecho de seguir las instrucciones descritas en los documentos del protocolo, teniendo la empresa una ganancia ya que se podrán asistir a prácticamente todas las puestas en marchas sin mayor dificultad y ganando también el personal en la experiencia que esto aportará para su desarrollo profesional.

Para el caso de las faenas en AAS sucede algo similar puesto que son solo los líderes de cuadrilla quien son aptos para realizar la puesta en marcha de los equipos, también aquí la idea es que si no se encuentra disponible el especialista, cualquier supervisor o mecánico podrá asistir para la puesta en marcha de los equipos y controlar los parámetros de vibración, además podrán completar el documento Control de vibraciones, como también el Star Up. Adicionalmente se suma el programa de medición de vibraciones que traerá beneficios para Proseal, los trabajadores y la empresa mandante, ya que si aplicamos este programa las paradas inesperadas se disminuirán, la disponibilidad crecerá y por consiguiente la productividad se verá aumentada. Por otro lado el personal se beneficiará al contar con más herramientas que ayuden para la realización de su trabajo diario y que lo apoyen en el desarrollo de su vida laboral. Para que lo anterior suceda no bastará con solo confeccionar los documentos del protocolo de medición de vibraciones, también se deben dar a conocer al personal involucrado, para ello y bajo la implementación de capacitaciones que la empresa Proseal se encuentra realizando, los documentos se entregaran al personal que asista a las capacitaciones que

se realizarán en las dependencias de la empresa. Las fechas y asistentes a las capacitaciones se detallan en el siguiente cuadro:

Tabla 1-1. Fechas y horarios de capacitaciones

	29/08/16 8:30 a 10:00 Hrs.	07/08/16 15:30 a 17:30 Hrs.	14/09/16 16:00 a 18:00 Hrs.	15/09/16 16:00 a 18:00 Hrs.	03/10/16 16:00 a 18:00 Hrs.	04/10/16 16:00 a 18:00 Hrs.
Área Comercial	X					
Personal Posventa		X				
Personal Faena, grupo 1			X	X		
Personal Faena, grupo 2					X	X

Fuente: Elaboración propia, basado datos de la empresa

Con este pequeño programa de capacitación, se pretende dar los conocimientos básicos para que todo personal que pertenezca al departamento de Posventa y al departamento de Faenas pueda realizar y controlar los parámetros de las vibraciones en bombas centrífugas sin que existan dificultades en el proceso y también para que puedan solucionar y dar respuestas rápidas a los clientes cuando se presenten problemas derivados de los altos niveles de vibraciones.

1.3. MANTENCIÓN INDUSTRIAL

1.3.1. Antecedentes

El término "Mantenimiento" se empezó a utilizar en la industria hacia 1950. El concepto ha ido evolucionando desde la simple función de arreglar y reparar los equipos para asegurar la producción hasta la concepción actual del Mantenimiento con funciones de prevenir, corregir y revisar los equipos a fin de optimizar el coste global.

A lo largo del proceso industrial vivido desde finales del siglo XIX, la función mantenimiento ha pasado diferentes etapas. En los inicios de la revolución industrial, los propios operarios se encargaban de las reparaciones de los equipos. Cuando las máquinas se fueron haciendo más complejas y la dedicación a tareas de reparación aumentaba, empezaron a crearse los primeros departamentos de mantenimiento, con una actividad diferenciada de los operarios de producción. Las tareas en estas dos épocas eran básicamente correctivas, dedicadas a solucionar las fallas que se producían en el equipo.

Por lo cual podemos concluir que la historia del mantenimiento va de la mano con el desarrollo técnico-industrial, ya que con las primeras máquinas se empezó a tener la necesidad de las primeras reparaciones. La mayoría de las fallas que se presentaban en ese entonces eran el resultado del abuso o de los grandes esfuerzos a los que eran sometidas las máquinas. En ese entonces el mantenimiento se realizaba hasta cuando ya era imposible seguir usando el equipo. Hasta 1914, el mantenimiento tenía importancia secundaria y era ejecutado por el mismo personal de operación y producción.

Entre la segunda guerra mundial y finales de los años 70 se descubre la relación entre edad de los equipos y posibilidad de fallo. Se comienzan a realizar sustituciones preventivas, lo que conlleva al surgimiento del Mantenimiento Preventivo.

El 1971, Seiichi Nakajima, ideó el mantenimiento productivo total TPM basado en el PM, integrando a todo el personal de la empresa (incluyendo a los proveedores) para ejecutar todo tipo de mantenimiento, en el que algunas de las tareas normalmente realizadas por el personal de mantenimiento son ahora realizadas por operarios de producción. Esas tareas ‘transferidas’ son trabajos de limpieza, lubricación, ajustes, reaprietes de tornillos y pequeñas reparaciones. Se pretende conseguir con ello que el operario de producción se implique más en el cuidado de la máquina, siendo el objetivo último de TPM conseguir Cero Averías. Como filosofía de mantenimiento, TPM se basa en la formación, motivación e implicación del equipo humano, en lugar de la tecnología. El sistema tiene sus inicios en la empresa Toyota Motors y va expandiéndose en el sector de la automoción Japonés. Se implementará más tarde fuera del país.

En los años 80, se empieza a desarrollar el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad RCM basado en el mantenimiento planificado y el enfoque hacia la confiabilidad y los costos. La cual originó, el desarrollo de técnicas predictivas efectivas consensuadas con las condiciones de los equipos, así como por la propagación de los conocimientos de la confiabilidad en el mantenimiento.

1.3.2. Definición de mantenimiento

Mantenimiento son todas las actividades necesarias para mantener el equipo e instalaciones en condiciones adecuadas para la función que fueron creadas, además de mejorar la producción buscando la máxima disponibilidad y confiabilidad de los equipos e instalaciones para cumplir un servicio determinado en condiciones económicamente y productivamente favorables y de acuerdo a las normas de protección integral.

El mantenimiento no debe verse como un costo si no como una inversión ya que está ligado directamente a la producción, disponibilidad, calidad y eficiencia. Así mismo el equipo de mantenimiento debe estar perfectamente entrenado y motivado para llevar a cabo la tarea de mantención. Se debe tener presente la construcción, diseño y modificaciones de la planta industrial como también se debe tener a mano la información de la maquinaria, las herramientas y los insumos necesarios para realizar la tarea de mantenimiento. El mantenimiento requiere planificación, calidad, productividad, trabajo en equipo, para reducir costos y pérdidas.

El objetivo principal o general de la mantención es mantener en condiciones operativas el equipo y las instalaciones restableciendo el equipo a las condiciones de funcionamiento predeterminadas con eficiencia y eficacia para obtener la máxima productividad y los menores costos. El mantenimiento incide por lo tanto, en la calidad y la cantidad de la producción. En consecuencia la finalidad del mantenimiento es brindar la máxima capacidad de producción a la planta, aplicando y cumpliendo los siguientes pasos:

- Garantizar la disponibilidad y confiabilidad de las maquinarias.
- Satisfacer los requisitos del sistema de calidad de la empresa.
- Cumplir todas las normas de seguridad y medio ambiente
- Maximizar la calidad y eficiencia.

1.3.3. Tipos de mantenimiento

Como se mencionó anteriormente el mantenimiento se basa principalmente en solucionar y prever las posibles averías que puedan ocasionarse en nuestros equipos, máquinas o instalaciones, con el fin de reducir los costos debido a las intervenciones y paradas de máquinas no programadas, de tal forma que aumente la calidad en nuestro proceso productivo. De forma más general es el conjunto de todas las acciones mínimas y necesarias para mantener y garantizar un funcionamiento óptimo de nuestros activos a un costo mínimo.

Todos nosotros, incluso sin ser conscientes, realizamos tareas de mantenimiento diarias continuamente, como pueden ser desde revisiones clínicas periódicas que implican un mantenimiento de nuestra salud, hasta actualizaciones de versiones y antivirus de nuestros equipos personales, inspecciones a nuestros vehículos, etc.

El mantenimiento tradicional ha adquirido mayor peso económico en las grandes y medianas empresas, adquiriendo mayor presencia en ámbitos financieros, de ingeniería, logística y producción. No todos los tipos de mantenimiento son aplicables a todas las empresas, pero tampoco alguno es mejor que otro, la elección del tipo de mantenimiento va a depender exclusivamente de las necesidades económicas y de producción que tenga cada empresa.

1.3.3.1. Mantenimiento correctivo

Como mantenimiento correctivo se denomina aquel que se realiza con la finalidad de reparar fallos o defectos que se presenten en equipos y maquinarias.

Como tal, es la forma más básica de brindar mantenimiento, pues supone simplemente reparar aquello que se ha descompuesto. En este sentido, el mantenimiento correctivo es un proceso que consiste básicamente en localizar y corregir las averías o desperfectos que estén impidiendo que la máquina realice su función de manera normal.

Existen dos formas diferenciadas de mantenimiento correctivo, el programado y el no programado. La diferencia entre ambos radica en que el no programado supone la reparación de la falla inmediatamente después de presentarse, el mantenimiento correctivo programado supone la corrección de la falla cuando se cuente con el personal, las herramientas, la información, los materiales necesarios y además el momento de realizar la reparación se adapta a las necesidades de producción.

La decisión entre corregir un fallo de forma programada o de forma inmediata suele pasar por la importancia del equipo en el sistema productivo. Si la avería o falla supone la parada inmediata de un equipo necesario, la reparación comienza sin una planificación previa. Por el contrario, si el equipo puede mantenerse operativo con ese fallo presente, puede posponerse la reparación hasta que llegue el momento mas adecuado de realizar la reparación.

Dentro de este tipo de mantenimiento podemos destacar las siguientes ventajas que genera su implementación:

- Nula inversión en tiempo, programación, planificación, etc.
- No requiere de personal especializado.
- Rentable para equipos no significativos en cuanto a producción, costos, etc.

Si bien en algunos casos la implementación del mantenimiento correctivo resulta ventajosa, para algunas industrias en donde su principal foco es la producción es totalmente inconveniente, entre algunas por las siguientes razones:

- Posibilidad de daños irreparables en equipos o elementos de gran costo.
- Costos imprevistos por compra urgente de repuestos o elementos sustitutivos.
- Imposibilidad de optimización de plantilla para departamento de Mantenimiento.
- Aumento del riesgo y gravedad de accidentes laborales.
- No se lleva un registro del estado de las máquinas de la planta.

1.3.3.2. Mantenimiento preventivo

En este tipo de mantenimiento se interviene la máquina a ciertos intervalos de tiempo prefijados o según determinados criterios para realizar ciertas reparaciones o cambios de componentes o piezas de la unidad, aun cuando la máquina se encuentre operando satisfactoriamente. El tiempo de reemplazo de los componentes es determinado de manera estadística. Generalmente el fabricante de la máquina es el que recomienda estos tiempos, basado en los datos de un gran número de casos que ha experimentado.

El objetivo del mantenimiento preventivo es reducir la probabilidad de fallas o pérdidas de rendimiento de una unidad. En esta estrategia del mantenimiento, excepto cuando un componente falla antes de su vida esperada, los costos de mantenimientos disminuyen respecto al mantenimiento correctivo debido a que la detención siempre es programada o planificada.

Sin embargo esta estrategia del mantenimiento también presenta desventajas, las cuales son:

- Algunas fallas pueden ocurrir entre las mantenciones programadas.
- Se desmontan componentes en buenas condiciones.
- Al momento de ensamblar se pueden cometer errores dañando los componentes.
- Reemplazo de componentes que aún les queda vida útil.
- Toma un tiempo considerable y se pierde producción.

1.3.3.3. Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo pretende establecer el estado de funcionamiento de un equipo en cualquier momento, sin que para ello sea necesario interrumpir el proceso productivo. Está basado en el hecho que la mayoría de los componentes de las máquinas

manifiestan síntomas antes de se produzca una falla (temperatura, presión, nivel de ruidos, rendimientos, vibraciones, etc.).

Esta estrategia de mantenimiento evalúa la condición mecánica de la máquina y como 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.

Una de las características del mantenimiento predictivo y que lo hace ser uno de los más implementados en las industrias, es que solo se detiene la máquina cuando sea estrictamente necesario, evitando las fallas prematuras que se generan en toda puesta en operación y dando una continuidad a la producción.

Además de la característica mencionada algunas de las ventajas de este tipo de mantenimiento son las extensiones de los intervalos entre mantenimientos de forma segura. La condición de la máquina se conoce en todo momento y ésta se puede detener justo antes que la falla llegue a ser catastrófica. También podemos agregar como otra situación favorable que el inventario de partes de repuestos que es necesario mantener en bodega es menor comparado con los otros tipos de mantenimiento, pues al conocerse con anticipación el tipo específico de falla que está desarrollando la unidad se puede planificar con tiempo su la adquisición de los repuestos correspondientes.

La medición de las vibraciones mecánicas generadas por equipos rotatorios y el análisis de las vibraciones obtenidas mediante instrumentos o equipos diseñados para este propósito es una de las herramientas básicas que utiliza el mantenimiento predictivo.

De todos los parámetros de funcionamiento que se pueden medir, estando la máquina en funcionamiento, el que más información aporta sobre el estado de los componentes dinámicos del equipo es el espectro de vibraciones.

1.3.3.4. Mantenimiento proactivo

El Mantenimiento Proactivo, es una filosofía de mantenimiento, dirigida fundamentalmente a la detección y corrección de las causas que generan el desgaste y que conducen a la falla de la maquinaria. Una vez que las causas que generan el desgaste han sido localizadas, no debemos permitir que éstas continúen presentes en la maquinaria, ya que de hacerlo, su vida y desempeño, se verán reducidos. La longevidad de los componentes del sistema depende de que los parámetros de causas de falla sean mantenidos dentro de límites aceptables, utilizando una práctica de "detección y corrección" de las desviaciones según el programa de Mantenimiento Proactivo. Límites

aceptables, significa que los parámetros de causas de falla están dentro del rango de severidad operacional que conducirá a una vida aceptable del componente en servicio.

En resumidas cuentas este mantenimiento tiene una filosofía similar al mantenimiento predictivo, es decir, debemos y podemos ir controlando las condiciones en que se encuentra la maquinaria pero además se presenta un método propio de la ingeniería, que es en caso de existir algún parámetro fuera de las condiciones aceptables, se investiga por qué ocurre esta situación, se va al fondo del problema para poder eliminar el problema de raíz y evitar que vuelva a ocurrir en el corto o mediano plazo.

Este mantenimiento además tiene como fundamento los principios de solidaridad, colaboración, iniciativa propia, trabajo en equipo de modo tal que todos los involucrados directa o indirectamente en la gestión del mantenimiento, es decir, que tantos técnicos, profesionales, ejecutivos y directivos deben estar conscientes de las actividades que se llevan a cabo para desarrollar las labores de mantenimiento. Cada individuo desde su cargo o función dentro de la organización, actuará de acuerdo a este cargo, asumiendo un rol en las operaciones de mantenimiento, bajo la premisa de que se debe atender las prioridades del mantenimiento en forma oportuna y eficiente. El mantenimiento proactivo implica contar con una planificación de operaciones, la cual debe estar incluida en el plan estratégico de la organización. Este mantenimiento a su vez debe brindar indicadores (informes) hacia la gerencia, respecto del progreso de las actividades, los logros, los aciertos y los errores.

1.4. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

1.4.1. Ensayos no destructivos más comunes

En lo referente a los END podemos indicar que existe una gran variedad de ellos. Destacan varias técnicas utilizadas en función del tipo de control a realizar, de la pieza a inspeccionar y de los daños que se pretenden encontrar.

Los Ensayos No Destructivos son aplicables en conjunto para detectar todos los tipos de discontinuidades, eso quiere decir que el uso de un ensayo no excluye el uso de otros.

Dentro de los ensayos más comunes encontramos el análisis de aceite, análisis de vibraciones, inspección por líquidos penetrantes, inspección por partículas magnéticas, inspección por ultrasonido, termografía y a análisis de corrientes eléctricas. Dentro de todos estos ensayos nombrado, el más utilizado en la industria es el análisis de

vibraciones, ya que con este tipo de análisis no debemos detener la máquina para realizar la inspección favoreciendo la productividad, además este tipo de análisis es el que nos entrega mayor información sobre el estado de la máquina.

1.4.1.1. Análisis de vibraciones

De las distintas tecnologías aplicables al mantenimiento predictivo, el análisis de vibraciones es la más popular. La razón la encontramos en la posibilidad de determinar una gran cantidad de defectos, en una amplia gama de máquinas con una inversión económica inicial razonable. La vibración es uno de los indicadores más claros del estado de una máquina. Bajos niveles de vibración indican equipo en buen estado, cuando estos niveles se elevan está claro que algo comienza a ir mal.

La vibración en máquinas es el resultado de fuerzas dinámicas producidas por sus partes en movimiento. Como toda máquina está compuesta por distintas partes, cada una de estas vibrará con diferentes frecuencias y amplitudes, causando desgaste y fatiga a los componentes, siendo muchas veces esta la causa de fallas catastróficas.

Los equipos utilizados para la adquisición de datos de vibraciones en las máquinas van desde los portátiles o de campo hasta la monitorización en continuo u "on line". El análisis espectral de vibraciones consiste simplemente en realizar una transformación de una señal en el tiempo al dominio de la frecuencia, donde podemos identificar la vibración característica de cada uno de los componentes o defectos que puede presentar nuestro equipo.

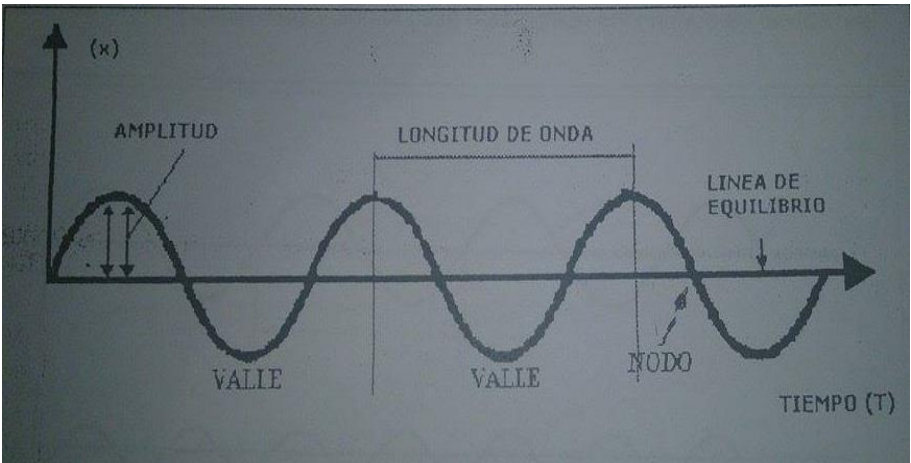
1.5. DEFINICION DE VIBRACIONES

Una vibración se puede considerar como la oscilación o el movimiento repetitivo de un objeto alrededor de una posición de equilibrio. La posición de equilibrio es a la que llegará cuando la fuerza que actúa sobre él sea cero. Este tipo de vibración se llama vibración de cuerpo entero, lo que quiere decir que todas las partes del cuerpo se mueven juntas en la misma dirección en cualquier momento.

Cuando medimos el “nivel de ruido” en un punto, en general obtenemos el nivel de presión sonora. En el caso de las vibraciones, lo que se mide es la aceleración, la velocidad o el desplazamiento de la vibración.

Una vibración o movimiento vibratorio, forma parte de un tipo general de fenómenos, denominados fenómenos periódicos.

Las vibraciones periódicas se repiten a sí mismas luego de un intervalo de tiempo específico (sólo en movimiento armónico simple y senoidal). Se denomina periodo (T) al intervalo de tiempo que caracteriza la repetición del fenómeno.



Fuente: Apunte de cátedra de Inspección del mantenimiento

Figura 1-3. Denominaciones utilizadas en una curva sinusoidal

La base principal de las señales de vibración en el dominio del tiempo son las ondas sinusoidales. Estas son las más simples y son la representación de las oscilaciones puras. A las vibraciones que se representan en forma de ondas sinusoidales se les conoce como vibración armónica simple, sin embargo en muy difícil encontrarnos con este tipo de vibraciones, ya que la gran mayoría de las vibraciones se representa en forma de ondas más complejas.

1.5.1. Vibraciones mecánicas

Las vibraciones mecánicas estudian los movimientos oscilatorios de los cuerpos o sistemas y de las fuerzas asociadas con ella. Vibración mecánica es el movimiento de vaivén de las moléculas de un cuerpo o sistema debido a que posee características energéticas cinéticas y potenciales. En cualquiera que sea el caso, la excitación es el suministro de energía.

En nuestro entorno, en nuestro medio que es la mecánica industrial podemos definir estas vibraciones como las oscilaciones perceptibles y medibles en la superficie de las máquinas, ejes, elementos constructivos, etc. O bien como el movimiento de un cuerpo respecto de su posición de referencia.

Las vibraciones mecánicas solo pueden ocurrir técnicamente cuando las masas se mueven. Para que las masas se muevan, tiene que existir una fuerza de excitación que genere la vibración, determinar la causa que origina esta fuerza es una de las funciones que debe desarrollar el analista de vibraciones. Ahora bien, cuando un cuerpo vibra resulta importante definir la causa de la vibración, es decir, si el cuerpo vibra por su condición natural debido a una perturbación instantánea y ajeno a toda excitación permanente, o bien si se debe a que existen fuerzas perturbadoras que hacen vibrar al sistema.

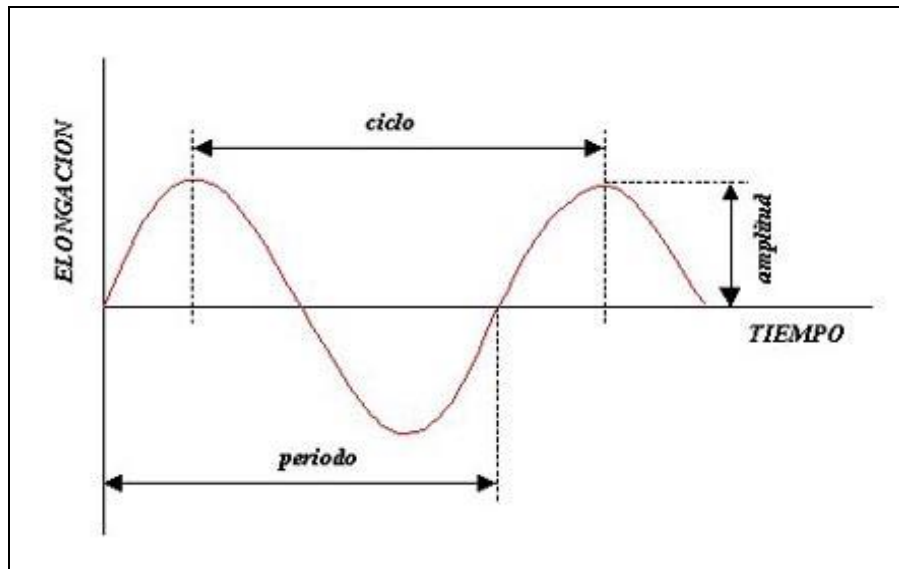
Hay dos clases generales de vibraciones mecánicas que son vibraciones libres y forzadas. La primera es la que ocurre cuando un sistema oscila bajo la acción de fuerzas inherentes al sistema mismo y cuando las fuerzas son externamente aplicadas son inexistentes. El sistema bajo vibración libre, vibrará a una o más de sus frecuencias naturales que son propiedades del sistema dinámico que dependen de su distribución de masa y de rigidez.

La vibración que tiene lugar bajo la extensión de fuerzas externas, es una vibración forzada. Cuando la excitación es oscilatoria, el sistema es obligado a vibrar a la frecuencia de excitación. Si esta coincide con una de las frecuencias naturales del sistema, se produce una situación de resonancia y ocurren oscilaciones peligrosamente grandes. En resumen podemos decir que la vibración libre es cuando un sistema vibra debido a una excitación instantánea y la vibración forzada es cuando un sistema vibra debida a una excitación constante.

1.5.2. Conceptos básicos de la vibración

Las características más importantes cuando hablamos de vibración son la frecuencia, el desplazamiento, la velocidad, la aceleración y la energía de impulsos. Por ende es de suma importancia tener claridad y conocer bien cada uno de estos conceptos cuando hablamos de vibraciones.

La frecuencia es una característica simple y significativa en este análisis. Se define como el número de ciclos completos en un período de tiempo. La unidad característica es CPM (ciclos por minuto). Existe una relación importante entre frecuencia y velocidad angular de los elementos rotativos. La correspondencia entre CPM y RPM (revoluciones por minuto) identificará el problema y la pieza responsable de la vibración. Esta relación es debida a que las fuerzas cambian de dirección y amplitud de acuerdo a la velocidad de giro. Los diferentes problemas son detectados por las frecuencias iguales a la velocidad de giro o bien múltiplos suyos. Cada tipo de problema muestra una frecuencia de vibración distinta.



Fuente: www.rabfis15.uco.es

Grafico 1-1. Denominación de periodo y ciclo en una onda sinusoidal

La amplitud de la vibración indica la importancia, gravedad del problema, esta característica da una idea de la condición de la máquina. Se podrá medir la amplitud de desplazamiento, velocidad o aceleración. La velocidad de vibración tiene en cuenta el desplazamiento y la frecuencia, es por tanto un indicador directo de la severidad de vibración. La severidad de vibración es indicada de una forma más precisa midiendo la velocidad, aceleración o desplazamiento según el intervalo de frecuencias entre la que tiene lugar, así para bajas frecuencias, por debajo de 600 CPM, se toman medidas de desplazamiento. En el intervalo entre 600 y 60.000 CPM, se mide velocidad, y para altas frecuencia, mayores a 60.000 CPM, se toman aceleraciones.

La velocidad es otra característica importante en la vibración, se mide la velocidad mayor de todo el recorrido que realiza el elemento al vibrar. La unidad es mm/s. El cambio de esta característica trae consigo un cambio de aceleración. La velocidad tiene una relación directa con la severidad de vibración, por este motivo es el parámetro que siempre se mide. Las vibraciones que tienen lugar entre 600 y 60.000 CPM se analizan teniendo en cuenta el valor de la velocidad.

La aceleración está relacionada con la fuerza que provoca la vibración, algunas de ellas se producen a altas frecuencias, aunque velocidad y desplazamiento sean pequeños

La energía de impulsos proporciona información importante a la hora de analizar vibraciones. Este parámetro mide los impulsos de energía de vibración de breve duración y, por lo tanto, de alta frecuencia. Pueden ser impulsos debidos a defectos en la superficie de elementos de rodamientos o engranajes, rozamiento, impacto, contacto

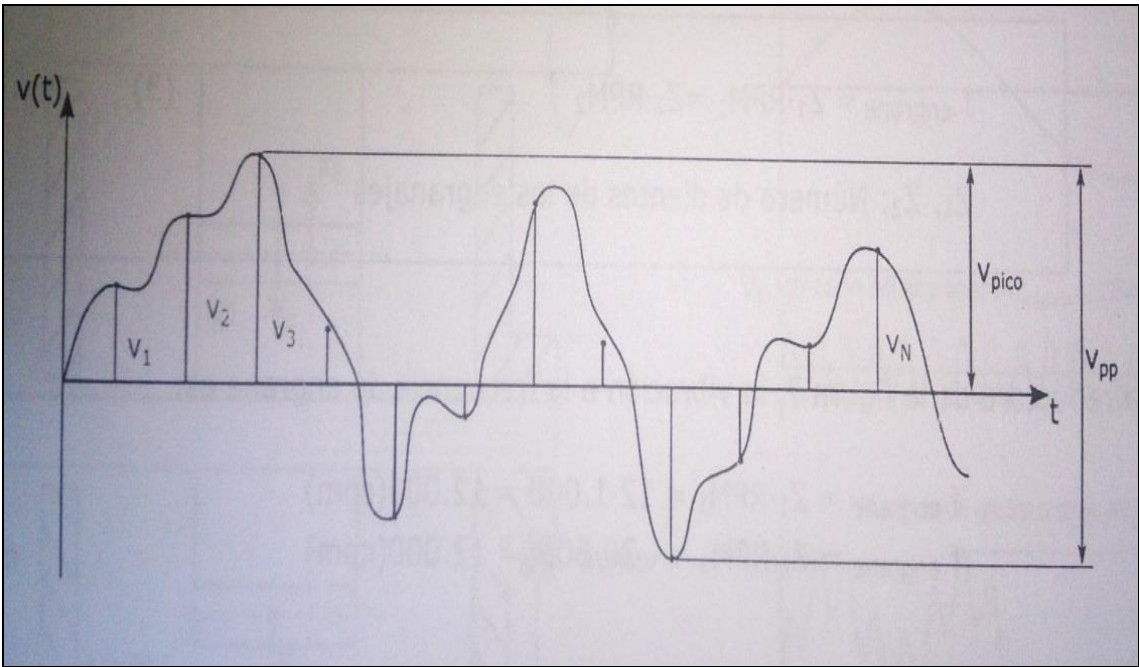
entre metal-metal en máquinas rotativas, fugas de vapor o de aire a alta presión, cavitación debida a turbulencia en fluidos.

Sin este parámetro es muy difícil detectar engranajes o rodamientos defectuosos. Con esta medida se encuentran rápidamente las vibraciones a altas frecuencias provocadas por estos defectos.

1.5.3. Medición de la vibración global

Para especificar el valor del desplazamiento, velocidad o aceleración vibratoria, se utilizan tres magnitudes. Las magnitudes a las que se hace referencia son el valor pico, valor pico a pico y valor RMS.

El valor pico hace referencia al valor máximo de vibración durante el tiempo que dura la medición, por otro lado el valor pico a pico señala la variación de la vibración, es decir, la diferencia entre el mayor valor positivo y el mayor valor negativo durante el tiempo que dura la medición.



Fuente: Curso Análisis de vibraciones, Categoría I, UDC

Gráfico 1-2. Representación de magnitudes Pico y Pico a Pico

Por otra parte el valor RMS hace referencia a la raíz cuadrada del promedio de los valores instantáneos de la vibración al cuadrado durante el tiempo de medición y se define por la fórmula 1-6 mostrada en la siguiente página

$$V_{RMS} = \sqrt{(V_1^2 + V_2^2 + \dots V_N^2)/N}$$

Fuente: Curso Análisis de vibraciones, Categoría I, UDC

Formula 1-1. Ecuación para calcular el valor RMS de una vibración

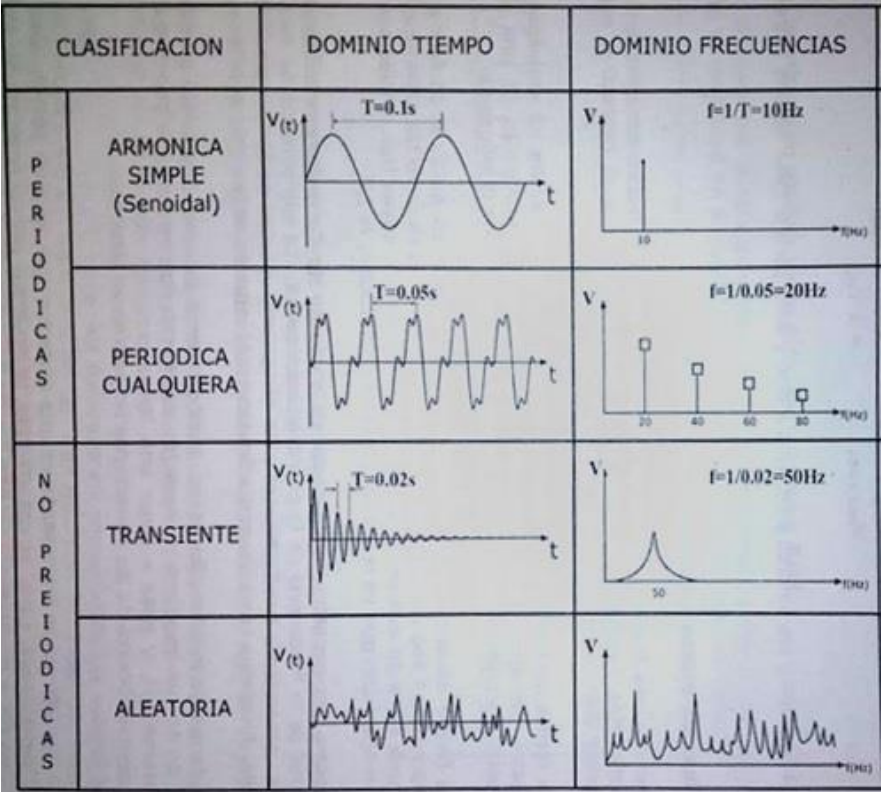
1.5.4. Espectro vibratorio

En las vibraciones en el dominio del tiempo, que son señales directas de las máquinas se encuentra plasmada toda la información acerca del comportamiento de cada componente de la máquina. Pero hay un problema a la hora de realizar un diagnóstico: estas señales están cargadas de mucha información en forma muy compleja, la cual comprende las señales características de cada componente de la máquina, por lo cual prácticamente queda imposible distinguir a simple vista sus comportamientos característicos.

Existen otras formas para realizar un estudio de vibraciones, entre las cuales se encuentra mirar esta señal en el dominio de la frecuencia. Esta es la gráfica de Amplitud vs. Frecuencia y es conocida con el nombre de espectro. Esta es la mejor herramienta que se tiene actualmente para el análisis de maquinaria.

Fue el matemático francés Jean Baptiste Fourier quien encontró la forma de representar una señal compleja en el dominio del tiempo por medio de series de curvas sinusoidales con valores de amplitud y frecuencia específicos.

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



Fuente: Curso Análisis de vibraciones, Categoría I, UDC

Grafico 1-3. Formas de ondas y espectros de vibraciones generadas en las máquinas

En la grafico 1-3 se resumen las formas básicas de vibraciones que son frecuentemente encontradas en máquinas rotatorias, la forma de onda en el dominio tiempo y el respectivo espectro. De la figura podemos señalar que si la forma de onda (en el dominio tiempo) de la vibración es sinusoidal, entonces su espectro vibratorio está compuesto por una sola componente (o una sola línea en el espectro).

Si la forma de onda de la vibración es periódica, es decir, si su forma se repite el tiempo cada T segundos (periodo de la vibración), entonces su espectro vibratorio está compuesto por una serie de componentes, cuyas frecuencias son múltiplos de la frecuencia “f” con que se repite la forma de la vibración. La forma del espectro es entonces un conjunto de componentes a frecuencias múltiplos enteros de la frecuencia de la primera componente. La componente de menor frecuencia se llama componente fundamental y las otras componentes armónicas o múltiplos de ella.

Si la forma de la vibración no es periódica en el tiempo, entonces, su espectro vibratorio deja de ser un espectro a rayas (con componentes a frecuencias discretas bien determinadas) y pasa a tener una forma continua dentro de un determinado rango de frecuencias. Dentro de las vibraciones no periódicas nos encontramos con la vibración transiente que es una vibración que dura un determinado tiempo y luego desaparece, como es por ejemplo la generada por un impacto, su espectro vibratorio no tienen

componentes a frecuencias bien determinadas, las componentes son anchas pero en un limitado rango de frecuencias.

La vibración aleatoria o de ruido es una vibración donde si se conoce su forma de onda durante un cierto tiempo pero no se puede determinar cómo será la forma de onda posteriormente (de forma no predecible). La forma del espectro en este tipo de vibraciones es de forma continua en un amplio rango de frecuencias.

CAPÍTULO 2: VIBRACIONES EN BOMBAS CENTRÍFUGAS

2. VIBRACIONES EN BOMBAS CENTRÍFUGAS

2.1. COMPOSICIÓN DE LA CADENA DE MEDICIÓN

2.1.1. Adquisición de datos

La esencia del estudio de vibraciones es realizar el análisis de las mismas. El análisis de datos consta de dos etapas las cuales son la etapa adquisición y la etapa de interpretación de los datos obtenidos al medir la vibración de la máquina. El fin a alcanzar es determinar las condiciones mecánicas del equipo y detectar posibles fallos específicos, mecánicos o funcionales.

La adquisición de datos es el primer y principal paso a dar para hacer un análisis de vibraciones. Los datos a tomar (desplazamiento, velocidad o aceleración) dependerán de la velocidad de la máquina, de acuerdo con su relación equivalente de frecuencia.

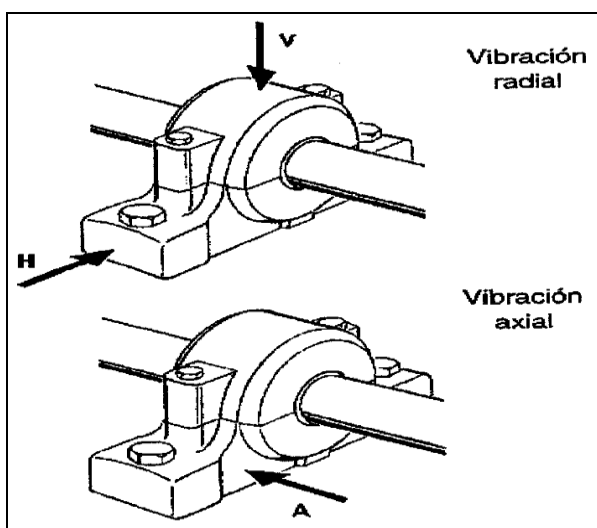
Para la correcta adquisición de datos es fundamental tener un orden, una secuencia que debemos seguir y así asegurarnos que los datos adquiridos serán lo más representativo a la realidad.

El paso uno es la determinación de las características de diseño y funcionamiento de la máquina, como son la velocidad de rotación de la máquina, tipo de rodamiento, engranaje y condiciones del entorno en que esté situada como es el tipo de apoyo, acoplamientos, ruido, etc. También habrá que tener en cuenta las distintas velocidades y cargas entre otras características de funcionamiento que normalmente afectarán a las mediciones de vibración.

Segundo es determinar la finalidad de la vibración que podrá incluir, medidas de rutina para detectar en un momento determinado un posible fallo y determinar las causas que lo originan. Medidas para crear un histórico de datos y con él obtener un valor de base, sobre el que estará el valor de vibración que deba tener la máquina cuando sus condiciones de trabajo sean normales. Toma de datos antes y después de una reparación, la medida de antes pondrá de manifiesto el problema y el elemento defectuoso y será más eficaz así su reparación. Después de la reparación se tomarán medidas que indiquen la evolución del elemento sustituido o la corrección del defecto existente.

Como tercer paso tendremos la selección de los parámetros de medición que son el desplazamiento, la velocidad, la aceleración. Ellos determinarán el transductor a utilizar.

Lo cuarto será identificar la posición y dirección de las medidas con los transductores, la vibración se tomará generalmente en rodamientos de la máquina o puntos donde sea más probable un fallo por acoplamiento, equilibrio y/o puntos donde se transmitan las fuerzas vibratorias. Los tres sentidos principales en una medición son horizontales, verticales y axiales. Sentidos radiales son horizontales y verticales, y se toman con eje del transductor a 90° con respecto al eje de rotación.



Fuente: www.guemisa.com

Figura 2-1. Sentido (dirección) de toma de datos de vibraciones

En quinto lugar deberemos seleccionar el instrumento de medición y correspondientes transductores, para luego determinar el tipo específico de datos requeridos para la interpretación de las medidas realizadas. Así se ahorrará tiempo a la hora de realizar las medidas y se obtendrá de estas, información más útil en el análisis.

Por último en el sexto paso se realizará la toma de datos. Paso esencial en el análisis que precisa de atención y fiabilidad de las medidas tomadas.

Por tanto, se puede decir que la toma de datos es un paso esencial para un buen análisis de vibraciones. Para una buena interpretación de los datos es necesario tener unos datos fiables que hayan sido tomados de una forma metódica y precisa, así podrá hacerse un diagnóstico de algún problema lo más exacto posible.

La adquisición de datos se hace mediante un dispositivo creado exclusivamente para medir vibraciones, con este dispositivo mediremos en la máquina a través de

sensores (transductores). Al momento de medir la señal de vibración, ésta pasará por tres etapas hasta que pueda ser analizada, las etapas son: Etapa Transductora, etapa de acondicionamiento y etapa de medición y análisis.

2.1.1.1. Etapa transductora

Corresponde a la etapa en la que el sensor capta el fenómeno físico a medir y transforma la magnitud sensada en una señal eléctrica, que tiene una relación de proporcionalidad con la magnitud medida.

Es el punto de partida del proceso de medición, idealmente el sensor debería reproducir la situación real de la magnitud medida, de forma totalmente exacta, cosa que en realidad no ocurre, pero debemos tratar de lograr que este valor se acerque lo más posible a la realidad, ya que si la señal obtenida por el sensor no refleja la realidad, se tiene un nivel demasiado alto de ruido, los rangos de frecuencia no corresponden, tenemos una medición con errores de procedimientos, etc. Entonces no sirve de nada tener el resto de la cadena de medición en condiciones óptimas y tener personal altamente calificado si la información que se le entrega al equipo es errónea.

En esta etapa se debe determinar qué tipo de sensor utilizaremos. Los sensores que hay son los sensores de desplazamiento sin contacto, sensor de velocidad y sensor de aceleración.

2.1.1.2. Etapa de acondicionamiento

Todos los instrumentos usados en el monitoreo de la condición de las máquinas rotatorias contienen algún tipo de acondicionamiento de la señal, por tal razón es importante tener claridad de cuáles son las variables que afectan la calidad de la medición y la forma que estas operan.

Una de las variables principales son los filtros, que son componentes electrónicos que solo dejan pasar componentes de la señal cuyas frecuencias estén dentro de la banda designada por el filtro.

Los filtros se clasifican en tres tipos, el primero los filtros pasa bajo, así como su nombre lo indica es un tipo de filtro que elimina todas las componentes que tienen frecuencias de valor mayor a una frecuencia especificada, llamada la frecuencia de corte. Otro tipo es el filtro pasa alto, el cual elimina todas las componentes que tienen frecuencias bajo la frecuencia de corte de filtro especificada y deja pasar todas las componentes que estén sobre dicha frecuencia. Por último se encuentra el filtro pasa

banda que solamente dejara pasar las componentes vibratorias cuyas frecuencias estén dentro de un rango de frecuencias especificadas, llamado el ancho de banda de filtro.

2.1.1.3. Etapas de medición y análisis

Con la vibración medida por el sensor de vibraciones se deben o pueden realizar dos acciones, la primera acción es medirla, es decir, determinar el valor pico a pico o RMS de la vibración global. Este valor permitirá evaluar la severidad de la vibración utilizando las normas de severidad vibratoria existentes al respecto. Este valor sin embargo no permite determinar la causa específica de porqué han aumentado las vibraciones.

Lo otro que podemos o debemos hacer es analizar la señal, esto consiste en rescatar mucha información que la vibración medida contiene a través de diferentes técnicas que traen los recolectores de datos. Los recolectores de datos además de determinar el valor global de la vibración, realizan espectros. Con el análisis de espectro vibratorio y otras técnicas complementarias se puede diagnosticar el tipo de falla existente.

2.1.2. Transductores de vibración

Como se mencionó en párrafos anteriores, el transductor es el primer eslabón en la cadena de medición. Aquí se debería reproducir exactamente las características de las magnitudes que se desea medir. Para que lo anterior ocurra debemos tener mucho cuidado en la selección y montaje del sensor a utilizar, puesto que si escogemos un sensor que no corresponde, nuestra medición nos otorgara resultados erróneos.

2.1.2.1. Sensor de desplazamiento relativo sin contacto

Este sensor mide la distancia relativa entre la punta del sensor y la pieza a medir. Existen diferentes tipos de sensores de desplazamiento, basados en diferentes principios de medición, capacitivos, inductivos y de corrientes parásitas, sin embargo el más utilizado hoy en día en las máquinas rotatorias es el último o también llamado de Foucault o de corriente de Eddy. Este sensor se compone de una sonda o sensor propiamente tal, un cable de extensión, un oscilador demodulador y una fuente de poder.

El sensor es simplemente una bobina eléctrica cubierta por una material estable como fibra de vidrio, este sensor se fija de forma atornillada a la caja del descanso.

El oscilador demodulador le proporciona al sensor un voltaje alterno de alta frecuencia (generalmente 1.5 MHz) que al pasar por la bobina genera un campo magnético variable que induce en la superficie del eje. En este sensor el eje se comportara como el circuito secundario de un transformador absorbiendo energía del campo magnético de la bobina lo que se traduce en una variación de voltaje de la misma. Esta variación de voltaje es proporcional a la distancia o desplazamiento radial del eje (producto de su movimiento vibratorio).

2.1.2.2. Sensor de velocidad

Los sensores de velocidad de vibración operan de acuerdo al principio electrodinámico. Estos sensores se posicionan en la superficie exterior del descanso y miden el desplazamiento de la carcasa, no directamente el desplazamiento de eje, por lo que su uso es mucho más general que el sensor sin contacto.

Su principio de funcionamiento se basa en la suspensión de una bobina, libre de fricciones, mediante dos muelles de membrana que forman (junto a la bobina) un sistema masa-resorte. Al estar suspendida en un campo magnético permanente, la tensión que se genere será proporcional a la velocidad de vibración. Cuando el sensor es apoyado en o unido al objeto que vibra, la bobina permanece estacionaria en el espacio, a cualquier frecuencia por encima de la frecuencia de resonancia de su sistema masa-resorte mientras que el magneto vibra con el objeto.

Un punto importante de este sensor, es que no necesita alimentación de energía externa para poder funcionar. Genera una señal que puede utilizarse directamente en el análisis del sistema de monitoreo sin necesidad de acondicionamiento de ésta.

2.1.2.3. Sensor de aceleración (Acelerómetro)

El sensor de aceleración más usado es del tipo piezo-cerámicos. 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. La carga eléctrica generada es proporcional a la fuerza aplicada y por lo tanto, a la aceleración.

Un acelerómetro piezo-eléctrico es un sensor autogenerador de su señal, pero tiene el inconveniente que la señal de salida es de carga, tiene una impedancia muy alta y es de muy bajo valor. Por consiguiente, no se puede utilizar directamente con la mayoría de los instrumentos usados en la medición, análisis o monitoreo de las vibraciones. Para ser utilizada es necesario bajarle su impedancia y transformar la señal

de carga (Coulomb) a voltaje (Volt) a través de un pre-amplificador. El pre-amplificador es del tipo ICP, el cual entrega una señal de voltaje de baja impedancia. Es importante saber esto, pues para que el pre-amplificador funcione es necesario alimentarlo eléctricamente, dicha alimentación la proporciona el recolector de datos.

El rango de frecuencias del sensor es el rango entre la menor y la mayor frecuencia de la vibración que puede medir sin atenuarla considerablemente. Cada transductor tiene su propio rango de frecuencias y es fundamental que este sea conocido por el analista de vibraciones. El límite de las bajas frecuencias es una característica del sensor, mientras que el límite de las altas frecuencias depende, además del tipo del sensor, de la forma de cómo se monta el acelerómetro en la superficie a la que se quiere medir las vibraciones.

Hay diferentes formas que se utilizan para montar o fijar el acelerómetro tales como el montaje mediante un espárrago, el montaje con disco de montaje, el montaje con base magnética y el montaje manual o apoyado con una punta.

Es importante tomar en cuenta que en la hoja de datos del sensor, el fabricante entrega como rango de frecuencias del sensor, aquel correspondiente al sensor montado con espárrago, por lo tanto debe tenerse presente que cuando se usa una base magnética y aún más cuando se usa apoyado, el rango de frecuencias útil del sensor disminuye significativamente.

2.1.3. Instrumentos de medición

Para medir las vibraciones en alguna máquina rotativa debemos primero definir qué es lo que buscamos como objetivo en esa medición, tal reflexión debe hacerse puesto que existen dos tipos de equipos para realizar dicha tarea y cada cual responde a una necesidad específica.

Encontraremos un tipo de equipos que solo realiza la medición y que es el que la empresa Proseal utiliza para las puestas en marcha de bombas, ya que sólo se necesita verificar que las bombas queden operando dentro delo permitido por la norma. El otro tipo de equipo es más completo y aparte de medir da la opción de realizar un estudio de los resultados obtenidos.

2.1.3.1. Medidor de vibraciones

La función de un medidor de vibraciones es proporcionar los valores pico, pico a pico o RMS de la vibración global del desplazamiento, velocidad o aceleración.

Este aparato se usa cuando uno necesita corroborar en un momento determinado si el equipo que nos encontramos inspeccionando cumple con la normativa correspondiente. En el caso de Proseal, se ocupa un medidor de vibraciones el cual es utilizado para la puesta en marcha de bombas que han sido reparadas, con el claro objetivo de ratificar que al momento de partir la bomba y luego de sesenta minutos de funcionamiento, se encuentra con un nivel de vibraciones dentro de lo permitido, lo que indica que la reparación realizada, el armado y el montaje de la bomba fueron realizados de manera correcta.

2.1.3.2. Analizador de vibraciones

Los analizadores de vibraciones (o colectores) son equipos portátiles que fueron diseñados para realizar una ruta de medición recolectando datos de muchas máquinas para posteriormente descargarlas para su análisis en un computador. En palabras más simples, es un aparato que sirve para medir vibraciones en un conjunto de máquinas (sistema) en más de una ocasión, de esta manera los resultados se podrán almacenar y posteriormente ver la evolución de las mediciones en un computador donde se apreciará la tendencia que tienen las distintas máquinas lo que nos ayudará a tomar las medidas predictivas y/o correctivas correspondientes.

Los equipos analizadores vienen con un software que permitirá crear rutas y posteriormente analizarlas. Una vez creada las rutas y mediante un cable de conexión, la ruta es traspasada al analizador para comenzar así con la medición en los diferentes puntos de las distintas máquinas. Terminado el recorrido, se transfieren los datos recolectados al computador para que la información sea procesada, una vez que la información haya sido procesada, el programa entregara un informe de cuales máquinas se mantienen con valores bajos de vibración, cuales se encuentra cercanas al nivel de alarma, cuales han superado valores de alarma y cuales han superado los valores de peligro que previamente fueron establecido al momento de crear la ruta.

Podemos decir entonces que el analizador de vibraciones se utiliza cuando se pretende realizar un plan de mantenimiento basado en el análisis de vibraciones en donde deseamos realizar más de una medición a una máquina y posteriormente analizar los resultados para saber cómo se va comportando a medida que pasa el tiempo de tal forma que podamos estar atentos a tomar medidas ante que ocurra una falla catastrófica.

2.1.4. Instrumento de medición utilizado en Proseal

El instrumento que se utiliza en Proseal para realizar la medición a las bombas centrífugas, es el Adash Vibrio 4900.



Fuente: Manual digital ADASH Vibrio 4900

Figura 2-2. ADASH Vibrio 4900 con accesorios

Este instrumento corresponde a un medidor de vibraciones y es utilizado cuando se realizan las puestas en marcha de las bombas reparadas y también para inspeccionar bombas en terreno cuando ello sea requerido.

Este instrumento es un equipo portátil de pequeñas dimensiones lo que facilita su traslado. El Adash Vibrio 4900 se caracteriza por entregar la medición de la vibración general de las máquinas y junto con ello entregar la temperatura y la velocidad de giro de la máquina.

Al momento de realizar las mediciones, éstas se deben comparar con la norma correspondiente para cada tipo de máquina, en nuestro caso, en nuestro caso debemos identificar que norma rige para las bombas y luego hacer las comparaciones correspondientes entre lo obtenido y lo permitido por la norma.

De todas maneras el ADASH Vibrio da la posibilidad de generar niveles personalizados de pre alarma y alarmas, así en base a la norma, podemos dejar establecido cuando estaremos cerca de llegar al nivel permitido de vibraciones en la bomba o cuando nos encontremos con resultados fuera de norma.

Cuando se trata de medición en faenas igualmente se utiliza este instrumento, aunque no es el más indicado, puesto que no permite llevar un registro de los resultados obtenidos y no podemos hacer un estudio comparativo para determinar la próxima falla de la bomba. Para este caso lo mejor sería utilizar un analizador de vibraciones y la razón es sencilla, Proseal en su contrato con AAS, dentro de los múltiples alcances que contiene uno de ellos es que se mantenga una cuadrilla permanente en la faena para asistir en los montajes, para reparar las bombas en terreno y para el monitoreo de las bombas que Proseal ha reparado. En este último punto se realiza una medición de distintos parámetros en donde se encuentra la vibración, pero no es bien planificado y como se realiza con el Adash Vibrio, el personal solo puede decir si la bomba está en condiciones de seguir funcionando en el momento que es realizada la medición.

Con un analizador de vibraciones, las bombas que han sido reparadas por Proseal y que se deben monitorear, se podrían identificar y planear una ruta de medición con ellas, es decir, que en el software del analizador identificaríamos cada bomba (por ejemplo bomba 1, bomba 2, etc.) y para cada una de ellas se elegirían parámetros (según su clasificación de norma correspondiente) con los cuales podemos indicar cuando la bomba se encontrará en óptimas condiciones, cuando debemos estar alertas y cuando debemos parar la bomba por un excesivo nivel de vibraciones. Una vez definida la ruta y todos los parámetros comenzaríamos la medición de cada bomba, una vez terminada la ruta de medición los datos se irán registrando en el software. Después de haber realizado la medición en la ruta una determinada cantidad de veces y cada cierto tiempo (definido en un plan de mantenimiento), los resultados que estarán almacenados en el software se podrán comparar y ver la tendencia de vibraciones que tiene la bomba mediante gráficos entregados por el aparato analizador, gracias a ello podremos estimar cuando puede fallar cada bomba, cuando debemos detenerla para hacer algún cambio de componente o bien programar un mantenimiento general y estar preparados con bombas de stand by y con los repuestos correspondientes para que el tiempo de reparación sea el menor posible y la producción no se vea tan afectada.

2.1.5. Interpretación de datos

Una vez obtenidos de una forma metódica y precisa los datos de vibraciones de una máquina donde se ha detectado un problema, es necesario identificar cual ha sido su causa y así buscar la forma y momento de reparación más eficiente, es decir, que elimine el fallo y su coste económico sea el mínimo posible.

Un defecto puede localizarse al comparar las amplitudes de las vibraciones tomadas. Normalmente una máquina que funciona correctamente tiene valores que

suelen seguir una línea con tendencia ligeramente ascendente o constante. Cuando en algún momento los valores aumentan o la tendencia asciende de una forma inesperada, se puede pensar en la presencia de algún problema. Generalmente los valores de amplitud que se comparan son los de velocidad, así un fallo puede detectarse al encontrar una tendencia de velocidad ascendente de forma imprevista.

También es posible que existiendo un problema haya valores de energía de impulsos altos y de repente disminuyan y poco a poco aumenten, esto puede dar lugar a un fallo total, donde la máquina deje de funcionar. Valores altos de energía de impulso pueden ser indicadores en la mayor parte de los casos de problemas de rodamientos, acoplamientos y en los casos más extraños de problemas hidráulicos.

Generalmente la máxima amplitud de vibración se da en los puntos donde se localiza el problema, aunque muchas veces la vibración es transmitida a otros puntos de la máquina aunque en ellos no se encuentre el problema. El análisis de las gráficas puede indicar el tipo de defecto existente, pero muy pocas veces aparecen problemas únicos y por tanto espectros donde se refleje un defecto claramente.

Es esencial una vez corregido el problema seguir la evolución de la reparación, de esta forma se conocerá si realmente existía el defecto, si estaba situado en el punto con máxima vibración y lo que es más importante, seguir la evolución tras la reparación y asegurarse que el problema ha desaparecido.

El estudio de los datos de vibraciones, de sus espectros es la base para encontrar las causas y la forma de corregir el defecto que ellas indican. Sólo es importante prestar especial atención a las vibraciones que vayan acompañadas de otros efectos como ruido, pérdida de aceite o cualquier fallo, o bien los valores de amplitudes que sean excesivos comparados con otros en funcionamiento correcto, en esos casos se analizará la forma de los espectros que identificarán las causas de los problemas.

2.2. NORMAS QUE RIGEN LAS VIBRACIONES EN MÁQUINAS

2.2.1. Severidad de la vibración

A la hora de llevar a cabo una clasificación de la severidad de la vibración en una máquina, la variable del movimiento a considerar (desplazamiento, velocidad o aceleración de la vibración) depende del tipo de norma y del rango de frecuencias a analizar.

El análisis del estado vibracional de una máquina en el rango de 10 a 1.000 Hz, se suele llevar a cabo a menudo en función de la velocidad de vibración, al resultar un parámetro prácticamente independiente de la frecuencia en este rango, lo que facilita el llevar a cabo una medida sencilla de la severidad de las vibraciones en una máquina.

Cuando se trata de analizar un movimiento armónico simple, puede llevarse a cabo el estudio midiendo valores pico a pico, o valores RMS, del desplazamiento en vibración. Sin embargo, para máquinas cuyo movimiento es más complejo, el uso de estos dos índices da lugar a resultados claramente diferentes debido al distinto peso aportado por los armónicos de más alta frecuencia.

En máquinas rotativas con velocidad de giro dentro del rango de 600 a 12.000 RPM, el valor RMS de las amplitudes de la velocidad de vibración suele corresponderse bastante bien con el nivel de severidad de la vibración. Así la ISO define como “severidad de la vibración” el mayor valor RMS de la amplitud de velocidad de vibración obtenido en la banda de frecuencia 10 – 1.000 Hz y medido en unos puntos preestablecidos de la estructura (normalmente medidas triaxiales en la tapa de los cojinetes o en los soportes).

Por lo tanto, por regla general, las normas de severidad de vibraciones de maquinaria se basan en dos parámetros de la vibración: amplitud y frecuencia.

2.2.2. Normas de evaluación

Una buena norma debe representar una opinión consensuada de un número importante de usuarios, debe ser de fácil comprensión, fácil de usar y no contener ambigüedades. Toda norma debe contener aquella información que permita comparar, con criterios consensuados, procedimientos habituales de medida y evaluación de datos. En este sentido, los objetivos a alcanzar por una norma pueden ser, entre otros:

- Establecer criterios para la clasificación del rendimiento de un equipo
- Proporcionar una base para comparar las cualidades de mantenimiento de los componentes o piezas de un mismo equipo
- Examinar un equipamiento o instalación cuyo funcionamiento continuado es preciso para asegurar la seguridad industrial o pública.
- Establecer una base a partir de la cual llevar a cabo la selección de equipos o materiales.
- Determinar procedimientos para la calibración de equipos.

Así, algunas normas establecen clasificaciones para los equipos indicando cómo han de llevarse a cabo las medidas y cómo han de analizarse los datos obtenidos;

definiendo, del mismo modo, las condiciones de operación del equipo durante el procedimiento de ensayo.

2.2.2.1. Conceptos fundamentales

A continuación se definen conceptos básicos utilizados, que se deben saber para entender de forma más facilitada lo que respecta a las normas de evaluación.

- **Norma Técnica:** es un documento escrito, aprobado por un organismo reconocido y accesible al público. Para su elaboración se requiere el consenso de todas las partes interesadas, tiene por objetivo el interés general y se aplica a actividades repetidas o continuadas.
- **Alarma:** Para el caso de normas de evaluación de severidad vibratoria, se definen como advertencias, en que las vibraciones acusan, ya sea, una magnitud o un cambio significativo, el cual podría requerir una acción correctiva. En el caso de alcanzarse el valor de alarma, se considera que el equipo puede seguir funcionando por un periodo determinado, el que dependerá principalmente de la criticidad del equipo dentro de la planta.
- **Falla (Peligro):** El límite de peligro de una norma de evaluación de severidad vibratoria está relacionado con la integridad mecánica del equipo en cuestión, dependerá principalmente de las características del diseño. Es siempre necesario tomar acciones inmediatas para corregir esta situación.

2.2.3. Estándares de severidad vibratoria

Los estándares son criterios establecidos por autoridades en el tema a través de un amplio consenso y opinión de los usuarios, por consiguiente son ampliamente aceptados y aplicados.

Existen dos grupos de estándares para la medición y evaluación de la vibración. El primer grupo corresponde a estándares para ensayos de aceptación de máquinas, el segundo grupo considera estándares para el monitoreo de la vibración durante la operación de la máquina.

Los estándares de aceptación de máquinas especifican los requerimientos vibratorios que deben satisfacer diferentes tipos de máquinas en la etapa de puesta en servicio. La vibración medida durante los ensayos de desempeño o performance no deben exceder valores establecidos en el estándar.

Estos estándares establecen procedimientos, puntos donde realizar las mediciones, condiciones de operación bajo las cuales se realizan las mediciones,

técnicas para procesar la medición y niveles de aceptación para la máquina. A modo de ejemplo podemos indicar y citar la Norma API / ANSI 610 (2004) / ISO13709 (2003), en donde se establecen los niveles vibratorios para la aceptación de bombas centrífugas para las industrial del petróleo, petroquímicas y gas natural. Se puede observar la equivalencia total que existe en las Normas API, ANSI, e ISO para este tipo de máquinas, dicha equivalencia también se replica en otros tipos de máquinas en los estándares actualmente existentes.

Los estándares para el monitoreo operacional establecen niveles vibratorios para el monitoreo de una máquina durante su operación con el objeto de evaluar su estado. Estos niveles vibratorios permiten una evaluación cualitativa de su condición, por ejemplo las Normas ISO establecen cuatro zonas de evaluación y cada cual indica un nivel menor o mayor de vibraciones, como se mostrara en capítulos posteriores.

2.2.4. Normas de evaluación de severidad vibratoria existentes

Una vez que hayamos definido la causa o funcionamiento anormal de un equipo tenemos que identificar y saber cuándo una vibración es demasiado grande o a que llamamos niveles de vibraciones elevados.

Para lo anterior se recurre a normas internacionales que representan el conocimiento mundial con respecto a alguna materia en particular. Dichas normas están destinadas a analizar ciertos tipos de equipos y bajo ciertas condiciones, por lo que para una planta completa deberán aplicarse varios estándares distintos.

Entrando específicamente en el tema de normas utilizadas para la evaluación de la severidad vibratoria en máquinas, las Normas ISO son las más indicadas y utilizadas en el mundo para realizar esta evaluación. Existen dos series de normas básicas las cuales son la serie ISO 10816 y la serie ISO 7919. En la primera se evalúa la severidad vibratoria a partir de mediciones realizadas en partes no rotatorias de la máquina (carcasa, caja de rodamientos, etc.). En la ISO 2979 se evalúa la severidad vibratoria a partir de las mediciones realizadas en la parte rotaria de las máquinas, es decir, realizadas directamente en el eje.

En la siguiente tabla se detallan estas dos normas que como ya se mencionó son las normas más ampliamente utilizadas en toda la industria.

Tabla 2-1. Normas más utilizadas y sus principales características

Estándar	Limite nivel vibratorio para:	Parámetro a utilizar	Tipo de máquina a aplicar
ISO 2372 ISO 10816	- Evita degradación por fatiga.	- Valor RMS de la velocidad vibratoria y del desplazamiento vibratorio RMS en la superficie de la máquina, según corresponda.	- Máquinas medidas en terreno, sólo en partes no rotatorias de ellas.
ISO 7919 VDI 2059	- Evita sobrecargas excesivas en metal blanco. - Evita que los desplazamientos radiales sean mayores que los juegos radiales.	- Valor del desplazamiento máximo del eje medido cerca de los descansos.	- Mediciones hechas directamente en partes rotatorias de la máquina.

Fuente: Apuntes del curso “Vibraciones mecánicas” UTFSM sede Concepción

A modo de conocimiento general podemos indicar que existen otras normas vibratorias para el análisis de otros problemas no necesariamente mecánicos y que podemos sentir diariamente en nuestros lugares de trabajo, por ejemplo:

- **ISO 2631:** Evaluación de las vibraciones en el cuerpo humano.
- **ISO 4866:** Evaluación y medición de vibraciones en edificios.
- **VDI 2063:** Medición y evaluación de vibraciones en motores de pistón y compresores de pistón.

2.2.5. Condición de la maquinaria inspeccionada

Para conocer la condición de las máquinas que hemos inspeccionado no basta con realizar la medición de vibración ni tampoco evaluar la severidad de esta vibración con cualquier norma que encontremos. En este punto es de donde debemos ser sumamente precavidos, ya que una mala elección de la norma o bien una mala evaluación de la severidad vibratoria medida nos puede llevar a tener una idea errónea de la condición real de la máquina que acabamos de inspeccionar.

Es importante entonces que tengamos claridad que además de realizar la medición, debemos conocer y saber que norma de severidad vibratoria debemos aplicar, para ello es esencial saber qué tipo de máquina estamos midiendo y las zonas de evaluación que poseen las diferentes normas.

2.2.5.1. Tipos de maquinaria

Desde el punto de vista de la medición y evaluación de la vibración, las máquinas pueden dividirse en cuatro categorías.

La primera categoría corresponde a máquinas de movimiento alternativo con componentes tanto rotativos como alternativos (motores diesel y ciertos tipos de bombas y compresores). En estos casos, la vibración se mide normalmente en la estructura principal de la máquina a bajas frecuencias.

En segundo lugar encontramos máquinas rotativas con rotores rígidos (ciertos tipos de motores eléctricos, bombas de una etapa y bombas de baja velocidad). La vibración habitualmente se mide en la estructura principal de la máquina donde los niveles de vibración resultan indicativos de las fuerzas de excitación generadas en el rotor como consecuencia de desequilibrios, rozamientos, deformaciones térmicas, vórtices y otros tipos de excitación.

La tercera categoría hace referencia a máquinas rotativas con rotores flexibles (grandes generadores de turbina de vapor, bombas multietapas y compresores). La máquina puede vibrar de acuerdo con más de un modo de vibración según pasa por una o más de sus velocidades críticas hasta alcanzar la velocidad correspondiente al régimen de servicio. En este tipo de máquinas, la medida de la amplitud de vibración en un elemento de la estructura puede no ser indicativa del estado vibracional del rotor, por lo tanto, puede resultar esencial medir directamente la vibración en el eje.

Por último tenemos las máquinas rotativas con rotores semirrígidos (turbinas de vapor de baja presión, compresores de flujo axial y ventiladores). En este tipo de máquinas, el tipo de rotor flexible que les caracteriza permite que la medida de amplitud de vibración en la tapa del cojinete resulte indicativa de la vibración del eje.

Es muy importante destacar que estas clasificaciones del tipo de maquinaria corresponden a una clasificación general y que por lo tanto pueden dar una idea global para saber el tipo de máquina que estamos midiendo. Sin embargo para las distintas normas de evaluación de la severidad vibratoria existen clasificaciones específicas que serán propias de cada norma y son estas clasificaciones las que finalmente determinarán con exactitud el tipo de máquina inspeccionada.

2.2.5.2. Clasificación de condición de máquinas

La norma ISO 10816, de evaluación de la vibración de máquinas, define cuatro zonas de evaluación. Éstas se establecen con el fin de una evaluación cualitativa de la

vibración de una máquina dada y, además poder entregar información de cómo tomar acción en ciertas situaciones:

- **Zona A:** Esta zona indica el estado “Buena”. Se trata de máquinas nuevas o recientemente reacondicionadas las cuales no presentan problemas de vibración, es decir, su condición es óptima por lo que su funcionamiento puede ser continuo y prolongado en el tiempo.
- **Zona B:** La zona B indica estado “Satisfactoria”. Esto quiere decir que la máquina lleva poco tiempo operando y sus niveles de vibraciones se consideran aceptables por tanto puede operar a largo plazo sin restricciones.
- **Zona C:** En esta zona el estado de la máquina será “Insatisfactorio”. Las máquinas que se encuentran en estas zonas tienen un nivel de vibraciones muy cercano al límite permitido, por consiguiente se deberá estudiar el origen de las vibraciones para tomar acciones correctivas en el corto plazo, ya que las máquinas en esta zona no pueden operar continuamente por un tiempo prolongado.
- **Zona D:** Aquí se indica un estado “Inaceptable”. Los niveles de vibración que presentan las máquinas en esta zona son de suficiente severidad para causar daños a éstas, es decir, los niveles de vibración se encontrarán por encima de lo que permite la norma. Tal nivel de vibraciones como ya se mencionó, están provocando daños a los componentes interno de la máquina por ende se debe para su funcionamiento de forma inmediata puesto que seguir utilizándola puede llevar a daños mayores e irreparables.

Cabe destacar que las zonas de clasificación de la condición de máquinas se rigen según la parte de la máquina que se esté midiendo, así tendremos que cuando realizamos la medición en la carcasa, mediremos desplazamiento y/o velocidad RMS. En cambio cuando la medición la realizamos directamente en el eje de la máquina, los valores de medición serán de desplazamiento Peak to Peak (medición pico a pico).

2.2.5.3. Condiciones de operación de la máquina

Las medición de las vibraciones se deben realizar en el rango de operación de la máquina inspeccionada, esto quiere decir, bajo su velocidad nominal, temperatura de operación, etc.

Para máquinas de velocidad o carga variable, las mediciones deben realizarse para todas las condiciones que se espera que trabaje la máquina por periodos prolongados de tiempo. Para fines de análisis de la severidad vibratoria se consideraran

los valores máximos medidos como representativos de entre todas las velocidades posibles de operación, dicho en otras palabras, se considerará como el valor de medición el valor máximo medido de todas las velocidades a las que la maquina puede operar.

Muy importante también además de las condiciones operacionales es considerar las condiciones ambientales a las que la máquina se encuentra expuesta, pues estas condiciones alterarán el nivel de vibraciones presentes en ella. Los factores ambientales a los que debemos prestar atención como son las variaciones de temperatura, campos magnéticos, fuentes de sonido, variaciones de la fuente de poder que la alimenta, entre otros.

2.2.6. Criterios de evaluación

En todas las normas mencionadas con anterioridad existen dos criterios de evaluación. El primer criterio es la magnitud alcanzada por la vibración, el cual está orientado para cuando no se dispone de los antecedentes de la máquina que esta sienta inspeccionada. El segundo criterio de evaluación es el cambio en la magnitud de la vibración, este criterio aplica para máquinas en donde tenemos un historial de su comportamiento vibracional conocido, por ende cualquier cambio en el nivel de vibraciones nos indicará que existe alguna anomalía.

La aplicación de los criterios anteriormente mencionados varía según la norma que utilizaremos y son función de distintos parámetros.

A pesar de que las normas de evaluación de la severidad vibratoria están orientadas tanto como para monitoreo como para aceptación de máquinas, no establecen niveles vibratorios para su aceptación. En su lugar propone usar los valores entregados en los estándares como guía para establecer acuerdos entre proveedor y clientes.

2.3. EQUIPOS DE BOMBEO

2.3.1. Conceptos básicos en bombas

A continuación y para introducirnos en el mundo de las bombas, se darán a conocer conceptos básicos que se deben manejar cuando trabajamos con estos equipos.

- **Caudal (Q):** Es el volumen líquido desplazado por la bomba en una unidad de tiempo, en otras palabras, es la cantidad de agua que es capaz de entregar una

bomba en un lapso de tiempo determinado. El caudal se mide por lo general en l/min, m³/h, l/s, GPM.

- **Altura de la bomba (H):** La altura de la bomba es la energía neta transmitida al fluido por unidad de peso a su paso por la bomba. Se representa como la altura de una columna de líquido a llevar.
- **Presión:** En una bomba la presión es la fuerza por unidad de área, que provoca una elevación. Comúnmente se conoce esta elevación como Hm (altura manométrica), Altura de la bomba, TDH (Total Dynamic Head) o simplemente Altura. Las unidades que se utilizan son mca, m, bar, PSI, Kilo Pascal (Kpa), entre otras.
- **Carga neta de succión positiva (NPSH):** Es la presión disponible o requerida para forzar un gasto determinado, en litros por segundo, a través de la tubería de succión, al ojo del impulsor, cilindro o carcasa de una bomba. En el bombeo de líquidos la presión en cualquier punto en la línea de succión nunca deberá reducirse a la presión de vapor del líquido.
- **NPSH disponible:** Este depende de la carga de succión o elevación, la carga de fricción, y la presión de vapor del líquido manejado a la temperatura de bombeo, es decir, depende exclusivamente del sistema en el cual se instalará la bomba. Si se varía cualquiera de estos puntos, la NPSH puede alterarse.
- **NPSH requerido:** Este depende sólo del diseño de la bomba y se obtiene del fabricante para cada bomba en particular, según su tipo, modelo, capacidad y velocidad. Es muy importante destacar que para todas las bombas se debe dar que el NPSH disponible sea mayor (a lo menos un 5%) al NPSH requerido, si esta condición no se da nos veremos enfrentados a problemas de cavitación en nuestra bomba.
- **Cebado de las Bombas:** Consiste en la extracción del aire de la tubería de succión de la bomba para permitir un correcto funcionamiento. Esta operación se realiza en todas las bombas centrífugas ya que no son autocebantes, generalmente cuando ésta se encuentra en una posición superior al tanque de aspiración.

2.3.2. Concepto de bomba

Las bombas son dispositivos que se encargan de transferir energía a la corriente del fluido impulsándolo, desde un estado de baja presión estática a otro de mayor presión. Están compuestas por un elemento rotatorio denominado impulsor (o rodete), el cual se encuentra dentro de una carcasa llamada voluta. Inicialmente la energía es

transmitida como energía mecánica a través de un eje que puede proceder de un motor eléctrico, térmico, etc., para posteriormente convertirse en energía hidráulica. El fluido entra axialmente a través del ojo del impulsor, pasando por los canales de éste y suministrándosele energía cinética mediante los álabes que se encuentran en el impulsor para posteriormente descargar el fluido en la voluta, el cual se expande gradualmente, disminuyendo la energía cinética adquirida para convertirse en presión estática.

Todas las bombas pertenecen a uno de los dos grandes grupos que existen, por ello nos encontraremos con bombas que pueden ser centrífugas o bien bombas que pueden ser reciprocantes, cada uno de estos grupos a su vez se subdivide en más tipos de bombas.

Como Proseal solo se dedica al suministro y a la fabricación de bombas centrífugas, solo éstas serán objeto de nuestro estudio y nos centraremos en explicar todo lo relacionado solo a este tipo de bombas.

2.3.3. Bomba Centrífuga

La bomba centrífuga, también denominada bomba rotodinámica, es actualmente la máquina más utilizada para bombear líquidos en general. Las bombas centrífugas son siempre rotativas y son un tipo de bomba hidráulica que transforma la energía mecánica de un impulsor en energía cinética o de presión de un fluido incompresible. El fluido entra por el centro del rodete, que dispone de unos álabes para conducir el fluido, y por efecto de la fuerza centrífuga (de ahí su nombre) es impulsado hacia el exterior, donde es recogido por la carcasa o cuerpo de la bomba.

Una bomba centrífuga tiene dos partes principales las cuales son la parte rotativa de la bomba, en donde se incluyen el impulsor y el eje, y su parte estacionaria, compuesta por la carcasa, prensas y cojinetes.

2.3.3.1. Características principales

La característica principal de la bomba centrífuga es la de convertir la energía de una fuente de movimiento (el motor) primero en velocidad (o energía cinética) y después en energía de presión.

Otra característica importante es que podemos encontrar bombas centrífugas de una etapa (monoetapas) y otras de varias etapas (multietapas).

Las bombas centrífugas sirven para el transporte de líquidos que contengan sólidos en suspensión, pero poco viscosos. Estas bombas presentan un rendimiento

elevado para un intervalo pequeño de caudal pero bajo cuando transportan líquidos viscosos.

Las bombas centrífugas se pueden utilizar en diversas industrias como son industrias químicas, petroleras, sanitarias, plantas desaladoras, pero la que se destaca principalmente es la industria minera, en donde en el proceso de sulfuros se utilizan bombas principalmente verticales y horizontales para la captación e impulsión de agua de mar, en plantas de osmosis, para la recuperación de agua de tranque y para el drenaje de éste, encontramos bombas para la descarga de los molinos, la descarga de espesadores, bombas de PLS e ILS, entre muchas otras bombas utilizadas en casi todos los procesos involucrados en la obtención del mineral o concentrado de cobre según sea el caso.

Otras características importantes de las bombas centrífugas y que es de importancia mencionar son:

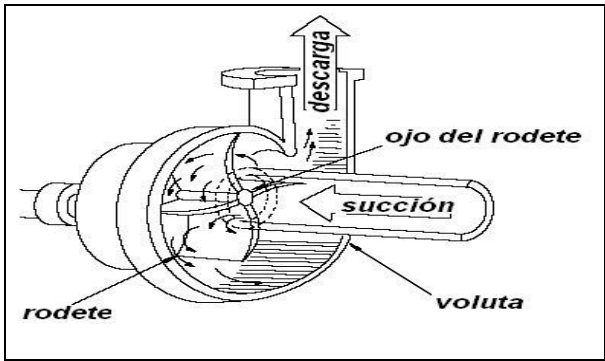
- Aumenta la energía del fluido por la acción de la fuerza centrífuga.
- Se adapta a trabajos a velocidades altas.
- En bombas de alta presión pueden emplearse varios rodetes en serie.
- Las bombas centrífugas, al contrario que las de desplazamiento positivo, no son auto aspirantes y requieren de cebado previo al funcionamiento.
- Se pueden conectar dos o más bombas en serie para aumentar la presión de salida.
- Se pueden conectar dos o más bombas en paralelo para aumentar el caudal.

2.3.3.2. Funcionamiento

Para que un fluido fluya desde donde hay mayor presión hasta donde hay menos presión no se necesita ningún gasto de energía, pero para realizar el movimiento inverso es necesaria una bomba, la cual le comunica al fluido energía, sea de presión, potencial o ambas. Para esto, necesariamente se tiene que absorber energía de alguna máquina motriz.

El funcionamiento es simple, dichas bombas usan el efecto centrífugo para mover el líquido y aumentar su presión. Dentro de una cámara hermética dotada de entrada y salida (voluta) gira una rueda con paleta (rodete). El rodete es el elemento rodante de la bomba que convierte la energía del motor en energía cinética (la parte estática de la bomba, o sea la voluta, convierte en cambio, la energía cinética en energía de presión), éste a su vez está fijado al eje bomba, ensamblado directamente al eje de transmisión del motor o acoplado a él por medio de acoples rígidos o flexibles. Cuando entra líquido dentro del cuerpo de la bomba a través del centro u ojo del rodete, éste

proyecta el fluido a la zona externa del cuerpo-bomba debido a la fuerza centrífuga producida por la velocidad del rodete, el líquido, de esta manera, almacena una energía potencial que se transformará en caudal y altura de elevación (o energía cinética). Este movimiento centrífugo provoca, al mismo tiempo, una depresión capaz de aspirar el fluido que se debe bombear. Conectando después la bomba con la tubería de descarga, el líquido se encañalará fácilmente, llegando fuera de la bomba.

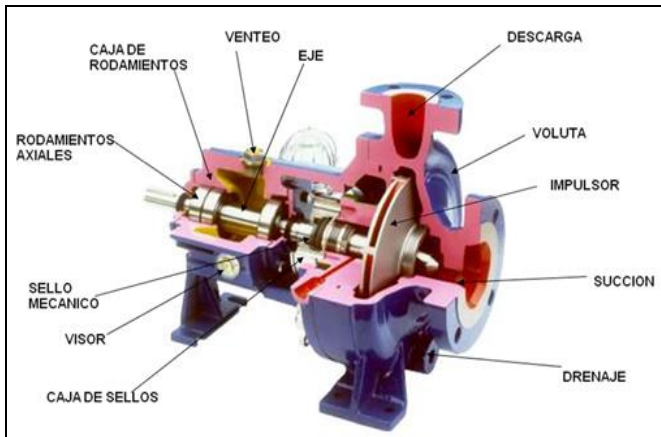


Fuente: www.unet.edu.ve

Figura 2-3. Principio de funcionamiento de una bomba centrífuga

2.3.3.3. Partes constitutivas de una bomba centrífuga

Una bomba centrífuga cuenta con componentes generales y dependiendo del tipo de bomba nos podemos encontrar con algún componente exclusivo del tipo de bomba.



Fuente: www.fluidos.eia.edu.co

Figura 2-4. Partes componentes principales de una bomba centrífuga

Dentro de los componentes de la bomba nos encontramos con algunos de vital importancia como los son la Carcasa o Voluta que es la parte exterior protectora de la bomba y cumple la función de convertir la energía de velocidad impartida al líquido por el impulsor en energía de presión, lo que sucede por la reducción de la velocidad por un aumento gradual del área.

El Impulsor o Rodete es el corazón de la bomba centrífuga, éste recibe el líquido y le imparte una velocidad de la cual depende la carga producida por la bomba. Dentro de los impulsores encontraremos tres clases. Una clase son los abiertos en el cual las paletas están unidas directamente al núcleo del impulsor y se utilizan generalmente en bombas horizontales de una etapa.



Fuente: www.atmosferis.com

Figura 2-5. Impulsor abierto

Otro tipo son los impulsores semiabiertos en el cual se encuentra colocado un plato en el lado opuesto de la entrada del líquido, las paletas se encuentran unidas a este plato y con ello tienen la función de disminuir la presión en la parte posterior del impulsor.



Fuente: www.sulzer.com

Figura 2-6. Impulsor semiabierto

Por último tenemos el impulsor cerrado el cual se caracteriza porque además del plato posterior, lo rodea una corona circular en la parte anterior del impulsor que es unida también a las paletas y posee una abertura por donde el líquido ingresa al impulsor. Este impulsor es el más utilizado debido a su rendimiento que es superior al de los otros dos y se utiliza principalmente en bombas verticales, horizontales multietapas y bombas carcasa partida (Split case).



Fuente: www.sulzer.com

Figura 2-7. Impulsor cerrado

Los anillos de desgaste cumplen la función de ser un elemento fácil y económico de remover en aquellas partes en donde debido a las cerradas holguras entre el impulsor y la carcasa, el desgaste es casi seguro, evitando así la necesidad de cambiar estos elementos y quitar solo los anillos.

En las bombas nos podemos encontrar con prensas estopas o bien con sellos mecánicos, ambos cumplen la función de evitar la fuga de fluidos, conteniendo la presión, o no permitiendo el ingreso de contaminación. Hace un tiempo atrás se utilizaban las prensas estopas para cumplir esta tarea pero éstas necesitan cierto nivel de pérdidas para evitar el sobrecalentamiento y la calcinación lo que a largo plazo resulta ser un problema. Por lo anteriormente mencionado se diseñaron los sellos mecánicos para reemplazar a las prensas, los sellos aportan grandes ventajas competitivas como la práctica inexistencia de fugas, la reducción de fricción que evita el desgaste del eje y la consiguiente pérdida de potencia, la disminución en los tiempos y costes de mantenimiento, y la posibilidad de trabajar en altas presiones.

El eje de la bomba es una pieza en forma de barra de sección circular no uniforme que se fija rígidamente sobre el impulsor y le transmite la fuerza del elemento motor.

El último elemento de más importancia son los cojinetes que se encargan de soporte al eje de todo el rotor en un alineamiento correcto en relación con las partes estacionarias. Soportan las cargas radiales y axiales existentes en la bomba.

2.3.3.4. Clasificación de las bombas centrífugas

Las bombas centrífugas se clasifican en dos grandes grupos y a su vez estos dos grupos contienen distintas clasificaciones según el diseño y fabricación de la bomba. Los dos grandes grupos a los que se hacen mención son el grupo de las bombas verticales y el grupo de las bombas horizontales y su nombre se debe a la posición del eje que posee la bomba.

En las bombas horizontales la disposición del eje de giro es horizontal y presupone que la bomba y el motor se hallan a la misma altura, Como ventajas específicas se puede decir que las bombas horizontales, son de construcción más barata que las verticales y, especialmente, su mantenimiento y conservación es mucho más sencillo y económico.



Fuente: www.bchbombas.com

Figura 2-8. Bomba centrífuga de configuración horizontal

Las bombas verticales poseen el eje de giro en posición vertical tienen, casi siempre, el motor a un nivel superior al de la bomba, por lo que es posible que la bomba trabaje rodeada por el líquido a bombear. En las bombas verticales no sumergidas, el motor puede estar inmediatamente sobre la bomba, o muy por encima de ésta. El elevarlo responde a la necesidad de protegerlo de una posible inundación o para hacerlo más accesible si, por ejemplo, la bomba trabaja en un pozo. El funcionamiento sumergido de las bombas centrífugas elimina el inconveniente del cebado, por lo que el impulsor se halla continuamente, aún sin funcionar, rodeado por el líquido a impulsar y, por lo tanto, la bomba está en disposición de funcionar en cualquier momento.



Fuente: www.bchbombas.com

Figura 2-9. Bomba centrífuga de configuración vertical

Como se mencionó en párrafos anteriores, estos grandes grupos de tipos de bombas a su vez que clasifican en otros tipos dependiendo de la construcción y funcionamiento que tengan. Así tenemos bombas que se clasifican según su tipo de succión, tendremos las bombas de simple succión que admiten líquido solo por un lado del impulsor y tendremos las de doble succión en donde se admite líquido por ambos lados del impulsor funcionando como si existieran doble (dos) impulsores, uno en contraposición del otro y esto elimina el problema de empuje axial.

Según la trayectoria del líquido en el impulsor, encontraremos bombas de flujo radial, bombas de flujo axial y bombas de flujo mixto. En las primeras el líquido penetra al impulsor en dirección paralela al eje de la bomba y sale en dirección perpendicular al eje del impulsor, aquí las cargas manométricas son altas. En las bombas de flujo axial el líquido penetra axialmente en el impulsor y su salida es en la misma dirección, es utilizada para cargas manométricas bajas. Las bombas de flujo mixto permiten que el flujo penetre axialmente en el impulsor y sale en una dirección intermedia entre radial y axial, las cargas manométricas manejadas son medias.

Por ultimo también podemos clasificar las bombas según la construcción de su carcasa en bombas tipo voluta y bombas tipo turbina. Las de tipo voluta tienen su carcasa fabricada en forma de voluta o espiral y no poseen paletas difusoras. La voluta recibe el líquido que sale del impulsor y transforma la mayor parte de la energía cinética en energía de presión. Las bombas de tipo turbina poseen fijas a la carcasa, unas paletas direccionadoras del flujo de líquido que sale del impulsor, el que recorre el camino dado por estas paletas fijas, a lo largo de las cuales ocurre la transformación de energía cinética en energía de presión.

2.3.4. Norma de evaluación de la severidad vibratoria para bombas

En secciones anteriores hemos nombrado algunas normas utilizadas para la evaluación de la severidad vibratoria pero en esta ocasión revisaremos específicamente cual es la norma a aplicar para la evaluación de vibraciones en las bombas centrífugas.

Dentro de las normas ISO, las que regulan o más bien las que estudian y fijan estándares para la evaluación de la severidad vibratoria son las norma ISO 7919 y la norma ISO 2372, si bien esta última se sigue utilizando, está siendo reemplazada por la norma ISO 10816 que además de poseer los mismo estándares que la norma ISO 2372, agrega más tipos de máquinas que se pueden evaluar. Por ende la norma ISO 10816 se está utilizando como la norma principal para la evaluación de severidad vibratoria en máquinas.

Como recordaremos las normas ISO para la evaluación de la severidad vibratoria se dividen en dos, están las normas que se aplican cuando la medición se realiza directamente en el eje de la máquina, es el caso de la norma ISO 7919. Por otra parte tenemos la norma que se utiliza cuando la norma de medición se realiza en partes no rotativas de la máquina, para tal sentido la norma a utilizar será la ISO 10816.

Las bombas centrífugas poseen su eje al interior de la carcasa por lo que nunca se encuentra expuesto, por tal razón y con el fin de realizar una medición de vibración sólo puede hacerse en partes no rotativas de la bomba. Por consiguiente la norma que se utiliza para la evaluación de la severidad vibratoria es la norma ISO 10816.

2.3.4.1. Norma de evaluación de la severidad vibratoria ISO 10816

Esta norma establece las condiciones y procedimientos generales para la medición y evaluación de la vibración, utilizando mediciones realizadas sobre partes no rotativas de las máquinas. El criterio general de evaluación se basa tanto en la monitorización operacional como en pruebas de validación que han sido establecidas fundamentalmente con objeto de garantizar un funcionamiento fiable de la máquina a largo plazo. Específicamente esta norma indica lo siguiente:

- **ISO 10816:** “Mechanical vibration. – Evaluation of machine vibration by measurement on non-rotating parts.” (Vibración mecánica. – Evaluación de la vibración de máquinas en base a su medición en partes no rotatorias de ella.
- Como ya se dijo esta norma reemplaza a las ISO 2372 e ISO 3945, que han sido objeto de revisión técnica. Este nuevo estándar consta de seis partes:
- **ISO 10816 -1:** Parte 1. Guías generales.

- **ISO 10816 -2:** Parte 2. Turbinas a vapor y generadores fijos a la tierra sobre los 50 MW con velocidades de rotación de 1500, 1800, 3000 y 3600 RPM.
- **ISO 10816 -3:** Parte 3. Máquinas industriales con potencia nominal sobre 15 Kw y velocidades nominales entre 120 y 15000 RPM cuando se mide en terreno.
- **ISO 10816 -4:** Parte 4. Conjuntos movidos por turbinas de gas excluyendo las empleadas en aeronáutica.
- **ISO 10816 -5:** Parte 5. Conjunto de máquinas hidráulicas en plantas de generación de energía y bombeo.
- **ISO 10816 -6:** Parte 6. Máquinas recíprocas con potencia nominal por sobre 100 KW.

Este nuevo estándar evalúa la severidad de la vibración de maquinaria rotativa a través de mediciones efectuadas en partes no giratorias de las mismas. Engloba los estándares citados anteriormente.

Los criterios de vibración de este estándar se aplican a un conjunto de máquinas con potencia superior a 15 kW y velocidad entre 120 RPM y 15000 RPM. Los criterios son sólo aplicables para vibraciones producidas por la propia máquina y no para vibraciones que son transmitidas a la máquina desde fuentes externas. El valor eficaz (RMS) de la velocidad de la vibración se utiliza para determinar la condición de la máquina.

Después de haber nombrado las partes que constituyen la norma ISO 10816, debemos determinar entonces a cual específicamente pertenecen las bombas centrífugas, es decir, debemos definir qué parte de la norma mencionada es aplicable a las bombas centrífugas. Como nos podremos dar cuenta la parte 3 de esta norma es la más aplicable a bombas centrífugas, ya que éstas son máquinas industriales que poseen generalmente sobre los 15 KW de potencia y su velocidad de giro promedio es entre 2000 y 3000 RPM. Además si revisamos el cuadro de evaluación vibratoria de la norma ISO 10816-3, allí se menciona a las bombas como un tipo de máquina que evalúa dicha norma.

En conclusión podemos confirmar que para realizar la evaluación de la severidad vibratoria en bombas centrífugas, debemos utilizar siempre la norma ISO 10816-3.

2.3.4.2. Norma ISO 10816-3 (ISO 10816 parte 3)

En esta norma los estándares que se aplican vienen recogidos en una tabla según la cual se tienen en cuenta una serie de parámetros relacionados con las diferentes

tipologías de maquinaria, su rigidez o flexibilidad y el valor RMS de la velocidad de vibración. La interrelación de todos estos datos permitirá conocer si ese sistema funciona perfectamente, si se debe operar sobre él a corto o a medio plazo, o bien si la vibración le está provocando daños y, por lo tanto, es urgente que sea reparado.

Tabla 2-2. Cuadro de evaluación vibratoria norma ISO 10816-3

D	D	D	D	D	D	D	D	RMS	RMS	Velocidad de vibración 10 – 1000 Hz n > 600 1/min 2 – 1000 Hz n > 120 1/min
D	D	D	D	D	D	D	D	In / seg	mm / seg	
D	D	D	C	D	D	D	C	0.43	11	
D	C	C	B	D	C	C	B	0.28	7.1	
C	B	B	B	C	B	B	B	0.18	4.5	
C	B	B	A	C	B	B	A	0.14	3.5	
B	B	B	A	B	B	B	A	0.11	2.8	
B	A	A	A	B	A	A	A	0.09	2.3	
A	A	A	A	A	A	A	A	0.06	1.4	
A	A	A	A	A	A	A	A	0.03	0.74	
Rígida	Flexible	Rígida	Flexible	Rígida	Flexible	Rígida	Flexible	Base		
Bombas > 15 Kw Radial, Axial, Mixto				Máquinas medianas 15 Kw < P ≤ 300 Kw		Máquinas medianas 300 Kw < P ≤ 50 Mw		Tipo de maquinaria		
Motor Integrado		Motor Separado		Motores 160 mm ≤ H < 315 mm		Motores H ≤ 315 mm				
Grupo 4		Grupo 3		Grupo 2		Grupo 1		Grupos		

Fuente: Elaboración propia, basado en Norma ISO 10816

Este cuadro de evaluación define cuatro zonas de clasificación (recordar subsección 2.2.5.2.), para las cuales se tendrá el estado de la máquina inspeccionada según el resultado obtenido de las mediciones.

Tabla 2-3. Zonas de clasificación del estado de la maquinaria norma ISO 10816-3

A	Buena (Máquina nueva o reacondicionada)	C	Insatisfactoria (La máquina no puede operar un tiempo prolongado)
B	Satisfactoria (La máquina puede operar indefinidamente)	D	Inaceptable (La vibración está provocando daños en la máquina)

Fuente: Elaboración propia, basado en Norma ISO 10816

Para evaluar la severidad de las vibraciones según esta norma, primero debemos identificar algunos puntos para clasificar nuestras máquinas. Para ello debemos saber el tamaño de nuestra máquina para definir a qué grupo pertenece y cuál es su tipo de soporte. Para la clasificación según su tamaño nos guiaremos por la siguiente tabla.

Tabla 2-4. Clasificación del tipo de maquinaria según norma ISO 10816-3

Grupo 1	Máquinas grandes con potencia nominal sobre 300 KW y no más de 50 MW; máquinas eléctricas con altura de eje $H \geq 315$ mm.
Grupo 2	Máquinas de tamaño mediano con potencia nominal sobre 15 KW hasta e incluyendo 300 KW; máquinas eléctricas con altura de eje: $160\text{ mm} \leq H < 315$ mm.
Grupo 3	Bombas centrífugas con impulsor multiaspa y con conductor separado (flujo radial, mixto o axial) con potencia nominal sobre 15 KW.
Grupo 4	Bombas con impulsor multiaspa y con conductor integrado o monoblock (flujo radial, mixto o axial) con potencia nominal sobre 15 KW.

Fuente: Curso Análisis de vibraciones, Categoría I, UDC

Se entiende como como altura de eje a la distancia medida entre la línea de centro de eje y el plano de base de la máquina misma.

De acuerdo al tipo de soporte de la máquina podemos clasificarlas en máquinas con soportes rígidos o máquinas con soporte flexible. El soporte de una máquina es considerado como soporte rígido si la velocidad de rotación es menor al 75% de la primera velocidad crítica del sistema máquina – soporte. Si no se cumple lo anterior entonces el soporte será flexible. A modo de ejemplificar para un mejor entendimiento supongamos que la velocidad de rotación de una máquina es de 3000 RPM y su primera

velocidad crítica es de 4800 RPM, entonces tendremos que: 75% de la velocidad crítica = $0.75 \times 4800 = 3600$ RPM.

Como el resultado nos dio que la velocidad de rotación es menor que el 75% de la primera velocidad crítica, entonces para este caso el soporte es rígido.

La información sobre la primera velocidad crítica del sistema máquina – soporte está en el catálogo o en la placa de la máquina. Si no se cuenta con esa información a la mano entonces hay que observar como varía el valor de las vibraciones en una detención de la máquina. Si se observa que un momento de la detención aumenta el valor de las vibraciones, quiere decir que está pasando por una velocidad crítica (zona resonante) y entonces su velocidad de rotación es mayor que su velocidad crítica, y por lo tanto, es de soportes rígidos.

Una vez que tengamos identificados el tipo de soporte de nuestra máquina y haber identificado a que grupo pertenece, después de haber realizado la medición de vibraciones nos encontraremos en condiciones para evaluar la severidad de aquel nivel de vibraciones. Para realizar la evaluación deberemos tener a mano el cuadro de evaluación vibratoria, podemos identificar el estado de la maquinaria inspeccionada con el solo hecho de identificar donde se produce la intersección según los parámetros anteriormente mencionados. Para un mejor entendimiento consideremos el siguiente ejemplo:

Consideremos que tenemos una bomba centrífuga con una potencia de 50 Kw con soporte rígido y motor unido a la bomba mediante poleas (motor separado). Después de haber realizado la medición en el punto 1 de la bomba, el resultado RMS de la velocidad de vibración fue de 3.02 mm/s. De acuerdo a los valores entregados, en el cuadro de evaluación debemos posicionarnos en el cuadro de resultados 3.5 mm/s y avanzar hacia la izquierda por esa columna hasta intersectar con la fila que corresponde al grupo y al soporte que tiene la máquina, que para este caso y según todos los datos entregados cabe dentro del grupo tres con soporte rígido, por lo tanto la evaluación final nos da como resultado la letra “B” que quiere decir que la máquina puede seguir funcionando sin restricciones.

2.3.5. Medición y análisis de vibraciones en bombas centrífugas

Realizar la medición es una tarea sencilla pues solo debemos posicionar el sensor de velocidad (la norma ISO se basa en la medición de la velocidad de la amplitud vibratoria) de nuestro aparato medidor en la superficie de la bomba que será inspeccionada.

Sin embargo antes de realizar esta tarea, debemos definir algunas cosas con respecto a nuestra bomba. Lo primero y como se vio recientemente es identificar en que grupo de evaluación estará nuestra bomba y que tipo de soporte tiene (rígido o flexible) según la norma de evaluación de la severidad vibratoria ISO 10816. Luego debemos saber bajo qué condiciones de operación debemos realizar la medición, esto quiere decir que debemos tener claro las condiciones con que la bomba trabaja normalmente (temperatura, velocidad, caudal, presión, carga, voltaje, etc.). Por último y para que finalmente podamos realizar la medición tenemos que saber sobre qué lugar de la bombas vamos a realizar la medición, es decir, debemos identificar los puntos de medición para la bomba inspeccionada.

Cuando todas las tareas previas se hayan realizado, estaremos en condiciones de empezar con la medición, de saber el estado de la bomba según los resultados obtenidos y de si la situación lo amerita, hacer un estudio o un análisis del porque se están generando problemas de vibraciones en nuestra unidad de bombeo.

2.3.5.1. Puntos de medición

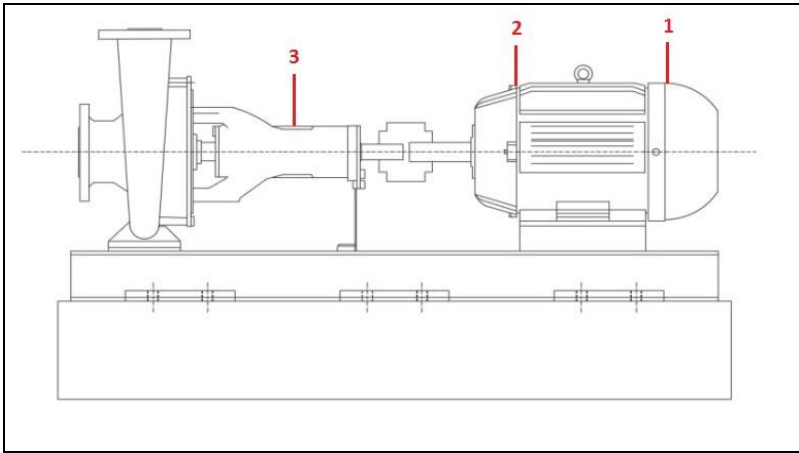
Es de suma importancia para el proceso de medición conocer y establecer los puntos en donde se realizará la medición de una máquina en específico (en esta caso las bombas centrífugas). La medición debe efectuarse en puntos que sean representativos de cómo vibra el rotor.

Para la gran mayoría de las máquinas industriales las mediciones se realizar en lugares que se encuentren más cercanos a los rodamiento puesto que allí se manifiesta claramente la vibración del rotor. Las bombas centrífugas no son ajenas a esta realidad y la medición de vibraciones la realizaremos en lugares cercanos a los rodamientos. Por la configuración de las bombas y por lo herméticas que estas son, es difícil acceder a sus componentes internos, por lo tanto no podemos realizar la medición o más bien no podemos establecer como uno de sus puntos los cojinetes como sí lo son en la gran mayoría de las máquinas industriales.

Las únicas partes de una bomba que nosotros podemos acceder y que se encuentran cerca de zonas con rodamientos, es la caja de rodamientos de las bombas, en la cual se deja una rejilla que se puede abrir justamente para este propósito, por otra parte tenemos nuestro elemento conductor que puede transmitir las vibraciones a la bomba, por lo tanto las mediciones también se deben realizar en la zona de rodamientos del elemento conductor.

En resumen para el conjunto Bomba – Motor (la bomba siempre debe funcionar acoplada a un motor eléctrico o de combustión) tendremos tres puntos en los cuales

siempre realizaremos la medición de la vibración, El punto 1 será la zona de rodamiento de la parte posterior del motor (lado libre), el segundo punto será la zona de rodamientos de la parte delantera del motor (lado acople) y el punto 3 será la caja de rodamiento de la bomba centrífuga tal como lo indica la siguiente imagen.



Fuente: www.carverpumps.com

Figura 2-10. Puntos de medición en una bomba centrífuga

En dichos puntos se debe realizar la medición en las distintas direcciones (axial, horizontal y vertical).

2.3.5.2. Análisis de la severidad vibratoria

Ya realizada la medición de las vibraciones en la bomba centrífuga, podemos evaluar la severidad vibratoria con el cuadro de la norma ISO 10816, este cuadro nos entregará una respuesta en el momento que realizamos la medición, del estado en que se encuentra nuestra bomba. El nivel de vibraciones encontrado puede ser casi nulo o bien puede ser de consideración, cuando sea este último caso es recomendable analizar los resultados obtenidos para saber el origen de las vibraciones y para saber cuándo tomar las medidas de mantenimiento correspondientes.

Para realizar este análisis tenemos diferentes formas de hacerlo. Una de ellas es el análisis frecuencial o espectral el cual es el punto de partida del diagnóstico de fallas en bombas centrífugas y en todo tipo de máquinas rotatorias. Esta técnica consiste en descomponer la señal en el dominio tiempo captada por un sensor de vibraciones, en sus componentes (espectrales o frecuenciales) que la generaron y luego asociar dichas componentes con las fuerzas dinámicas actuando sobre la máquina. Es muy importante

señalar que no se puede diagnosticar la causa de las vibraciones realizando solo una medición global de la vibración, ya que en ese caso la información de frecuencia no está disponible. Sin información de la frecuencia de las componentes vibratorias, no es posible realizar un diagnóstico.

Otra técnica es el análisis de forma de onda, dicho análisis en el tiempo a veces puede proveer información complementaria al análisis espectral. Este análisis es adecuado para reconocer problemas como impactos, roces entre componentes internos de las bombas, modulaciones en amplitud y frecuencias y problemas de atasco.

En el análisis de fase de vibraciones se puede definir la diferencia de fase entre dos vibraciones de igual frecuencia como la diferencia en tiempo o en grados con que ellas llegan a sus valores máximos, mínimos o cero. El análisis de diferencias de fase a la velocidad de giro de la máquina entre las vibraciones horizontal y vertical o entre las vibraciones axiales de los diferentes puntos del sistema motor - bomba, permite determinar los movimientos relativos entre ellos, y diferenciar entre problemas que generan vibraciones a frecuencia 1x rpm. Dichos problemas son el desbalanceo, desalineamiento, ejes torcidos y excentricidad.

Finalmente la otra técnica que utilizaremos en bombas para analizar las vibraciones es el análisis de las demodulaciones. Este en amplitud consiste en analizar la envolvente de la señal temporal de una señal modulada. Este análisis permite determinar más fácilmente la periodicidad de las modulaciones y diagnosticar problemas tales como, rodamientos dañados, engranajes excéntricos o con dientes agrietados, deterioro de alabes en el impulsor y problemas eléctricos en el motor.

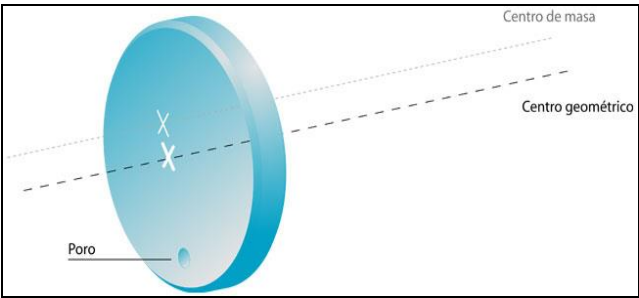
Si bien existen más técnicas para analizar las vibraciones en máquinas rotatorias, las que nombramos recientemente son las que se utilizan para realizar el análisis en bombas centrífugas. Hay que recordar que para realizar esta tarea, tenemos que utilizar un equipo analizador de vibraciones que nos será de gran ayuda pues en el software que éstas traen se pueden realizar todas estas técnicas, es más, en la mayoría de los equipos analizadores estas técnicas las realiza este software o programa por lo que la tarea del personal que realiza las mediciones será de interpretación y de conocimiento de lo entregado por ese programa.

2.3.6. Causa de vibraciones en bombas centrífugas

Para las bombas centrífugas al igual que en la mayoría de las máquinas rotatorias, existen una gran cantidad de causas que generan altos niveles de vibración, sin embargo en esta ocasión nos centraremos en las más frecuentes y las que tienen consecuencias mayores si no se detectan a tiempo.

2.3.6.1. Vibración debido a desbalanceo

Unas de las principales causas que generan vibraciones en bombas es el desbalanceo. El rodete o impulsor se encontrará desbalanceado cuando su centro de masa (centro de gravedad) no sea coincidente con su centro geométrico o centro de rotación.



Fuente: www.vibratec.net

Figura 2-11. Distribución de desbalanceo

Este problema se presenta cuando los rodetes vienen con problemas desde fábrica debido a una mala fundición del rodete o bien no fue verificado su balanceo antes de montarlo a la bomba.

Una forma de reconocer que nos encontramos frente a problemas de desbalanceo es que al momento de realizar las mediciones de vibraciones, la vibración Radial es predominante con respecto a la vibración axial (excepto en los rotores en voladizo).

2.3.6.2. Vibración debido al desalineamiento

La vibración debido al desalineamiento está siempre presente en los grupos de máquinas. Se dice que dos elementos de máquinas se encuentran desalineados cuando los ejes de la parte conductora y conducida no tienen la misma línea de centro. En el caso de las bombas este desalineamiento se da entre el eje del motor y el eje de la bomba y puede ser del tipo paralelo, del tipo angular o bien una combinación de ambos.

Uno de los indicios más importantes de problemas debido a falta de alineamiento y es la presencia de una elevada vibración en ambos sentidos, radial y axial. En general, cada vez que la amplitud de la vibración axial sea mayor que la mitad

de la lectura radial más alta, hay un buen motivo de sospechar la existencia de un problema de alineamiento.

Si bien existen variadas causas que pueden generar desalineamiento entre el eje del motor y el eje de la bomba, las principales o las que debemos poner más atención son problemas con el acople que no logra satisfacer la colinealidad de los ejes de los equipos. Para evitar que esto suceda es fundamental al momento de realizar el montaje de la bomba que siempre se vaya verificando el alineamiento con los instrumentos creados para tal propósito (alineador láser, niveles, reloj comparador, entre otros).

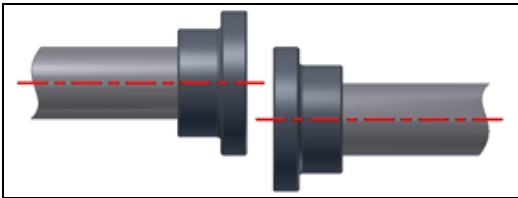
La desalineación angular se produce cuando los ejes no están paralelos entre sí. Este tipo de desalineamiento generará vibraciones axiales. El resultado de la frecuencia de vibración puede llegar a ser dos veces o tres veces la velocidad de rotación.



Fuente: www.fixturlaser.es

Figura 2-12. Ejes desalineados, desalineamiento angular

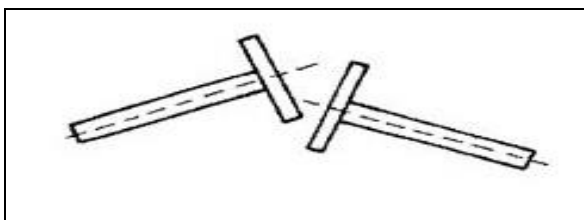
La desalineación paralela se presenta entre dos ejes entre sí, pero que no están en el mismo plano. Este tipo de desalineamiento generará una vibración radial dos veces la velocidad de giro real del eje.



Fuente: www.fixturlaser.es

Figura 2-13. Ejes desalineados, desalineamiento paralelo

También podemos encontrar un tipo de desalineamiento en donde se combinan los casos anteriores y se conoce como desalineamiento mixto.



Fuente: www.soler-palau.mx

Figura 2-14. Ejes desalineados, desalineamiento mixto

2.3.6.3. Vibración debido a rodamientos defectuosos

Encontraremos un alto nivel de vibraciones cuando los rodamientos se encuentran defectuosos, pero generalmente estos rodamientos fallan a causa de otras fuerzas o circunstancias, es decir, el alto nivel de vibraciones provocado por la falla de rodamientos nos indica que hay otro factor que causa la falla y por ende el alto nivel de vibraciones, por ejemplo podemos tener rodamientos que fallan debido a carga excesiva, falta de alineamiento, defectos en los asientos del eje, etc. Así como también podemos tener rodamientos que fallan exclusivamente por mala manipulación, en tal sentido nos encontraremos con rodamientos que fallan por una mala lubricación, montaje defectuoso y ajuste incorrecto entre otras causas.

El mal montaje de los rodamientos o más bien su mala manipulación, pueden provocar en él grietas, hendiduras, rebordes, resaltes, picaduras y descascaramiento. El daño más común de todos es la picadura de las pistas o de los elementos rodantes, causado cuando una grieta por fatiga originada subsuperficialmente se propaga hacia la superficie hasta que una pieza de metal se desprende superficialmente produciendo un pequeño defecto. La falla por fatiga superficial es acelerada cuando el rodamiento está sobrecargado o sometido a cargas de choque o impacto durante su funcionamiento o instalación y también con el incremento de velocidad.

La vibración generada por el rodamiento normalmente no es transmitida a otros puntos de la bomba. Por lo tanto, el rodamiento defectuoso es generalmente el que se encuentra más cerca del punto donde ocurre el mayor nivel de vibración de este tipo.

Podremos comprobar que el rodamiento está defectuoso debido a la presencia de componentes de alta frecuencia, este síntoma permite detectar incipientemente la falla. Cuando la falla progresa, la excitación de tipo impulsiva aumenta por un tiempo hasta cuando los filos, esquinas o rebordes de los defectos se alisan producto del desgaste y los niveles de impacto disminuyen e incluso pueden llegar a desaparecer. Cuando los defectos de los rodamientos están más avanzados, se pueden identificar ya

que las grietas son perceptibles al ojo humano y además la temperatura en la zona del rodamiento aumento significativamente.

2.3.6.4. Vibración debido a roce entre parte estacionaria y rotativa de la bomba

Para entender la causa de vibraciones por roce entre partes estacionaria y parte rotativa de la bomba, primero debemos entender cuáles son las partes anteriormente mencionadas. La parte estacionaria se encuentran todos los elementos que permanecen estáticos pero cuando hablamos de parte estacionaria nos referimos principalmente a la carcasa y al difusor. Por el contrario cuando hablamos de parte rotativa y tal como la palabra lo indica se refiere a las partes de la bomba que realizan un movimiento giratorio, así en la parte rotativa de la bomba tenemos eje, rodete, inducer, entre otros.

El roce entre las partes rotativa y estacionaria de la bomba se da principalmente entre el rodete y la carcasa. Esto ocurre generalmente cuando el rodete no ha sido bien montado en la bomba o bien cuando se deja con un diámetro por sobre lo especificado en los planos. Este roce hará que las partes se desgasten prematuramente y que se genere un alto nivel de vibraciones en toda la bomba.

Para evitar que lo anterior ocurra debemos realizar la prueba de giro libre, es decir, al momento de realizar el armado de la bomba en nuestros talleres debemos verificar que el eje junto al rodete giren sin problemas cuando los movemos de forma manual, esto nos indicara que el armado y el mecanizado del rodete ha sido realizado de manera correcta.

2.3.6.5. Vibración debido a cavitación

La cavitación hace referencia a un fenómeno que se produce cuando el fluido en algún punto de la corriente desciende hasta llegar o alcanzar su presión de vapor, dicho en otras palabras, cuando un líquido fluye a través de una zona donde la presión es menor que su presión de vapor, el líquido hierve y forma burbujas de vapor. Estas burbujas son transportadas por el líquido hasta llegar a una zona de mayor presión, donde el vapor regresa a estado líquido, de manera repentina, explosionando bruscamente las burbujas.

Si las burbujas de vapor se encuentran cerca o en contacto con una pared sólida cuando cambian de estado, las fuerzas de las explosiones de estas burbujas darán lugar a presiones localizadas muy altas, ocasionando graves daños sobre la superficie sólida. La cavitación va acompañada generalmente por un fuerte ruido y por alto nivel de

vibraciones que se transmiten a toda la bomba, dando la sensación de que se tratará de piedras que golpean con diferentes partes de la bomba.



Fuente: www.mecanicadebombas.foro-phpbb.com

Figura 2-15. Desgaste producido por la cavitación en un rodete

La principal razón por la que existe cavitación en una bomba tiene relación con el NPSH. Para que no exista cavitación se debe cumplir que el NPSH disponible debe ser mayor (se recomienda por lo menos un 5%) que el NPSH requerido, si esta condición no se cumple la bomba estará cavitando.

Hay dos razones principales por lo que el NPSH disponible es menor que el requerido, una de estas razones es que la bomba se encuentra operando muy a la derecha de la curva hidráulica, mientras más a la derecha opere, el NPSH requerido será mayor favoreciendo de esta forma la existencia de cavitación. La otra razón que hay es que el nivel de líquido en la piscina de succión sea muy bajo y por ende se encuentre aspirando líquido y aire al mismo tiempo favoreciendo también la existencia de cavitación dentro de la bomba.

Para evitar ambas situaciones lo que debemos hacer en primer, es asegurarnos mediante pruebas hidráulicas que la bomba se encuentre operando en el BEP (Best Efficient Point) o cercano a él. Todas las bombas tienen un punto de mejor eficiencia y un rango en el cual también podrá operar sin presentar dificultades y manteniéndose en la zona media de la curva. Lo otro que debemos hacer es verificar que la tubería que lleva el líquido hacia la piscina de succión no se encuentra tapada o bloqueada para ello idealmente debemos colocar un caudalímetro que nos indicara cuanto líquido está circulando por la tubería, también debemos verificar que en la succión de la bomba no se encuentre bloqueada por ningún tipo de residuo.

CAPÍTULO 3: PROTOCOLO DE MEDICION Y PROGRAMA DE
MEDICIONES

3. PROTOCOLO DE MEDICION Y PLAN DE MANTENIMIENTO

3.1. PROTOCOLO DE MEDICIÓN

3.1.1. Definición de protocolo

Un protocolo es un reglamento o una serie de instrucciones que se fijan por tradición o por convenio.

Partiendo de este significado, es posible emplear la noción en diferentes contextos. Un protocolo puede ser un documento o una normativa que establece cómo se debe actuar en ciertos procedimientos. De este modo, recopila conductas, acciones y técnicas que se consideran adecuadas ante ciertas situaciones.

3.1.2. Protocolo de medición de vibraciones para bombas reparadas por Proseal

De acuerdo a la definición anterior podemos indicar que nuestro protocolo de medición de vibración para bombas centrífugas reparadas por Proseal consiste en una serie de documentos los cuales fueron creados con algunos objetivos claros y concisos.

El primero de estos objetivos fue ordenar la hoja que se utilizaba para el control de las mediciones y control de las condiciones operacionales (aquella hoja lleva por nombre “Start up”). Para ello decidimos separar las mediciones de las vibraciones con respecto a los otros controles puesto que finalmente el control de vibraciones es el más importante (junto al control de la temperatura) y la interpretación para el cliente debe ser clara y ordenada para que él pueda reconocer las mediciones efectuadas, los puntos en los que se tomaron esas mediciones y los resultados obtenidos para que se acepten finalmente las condiciones en la cual quedó trabajando su bomba.

Otro objetivo que se buscó fue que todo personal involucrado en la puesta en marcha de una bomba e involucrado también en las mantenciones realizadas en faena, pudiera tener total claridad de como efectuar las mediciones de las vibraciones. Para ello era fundamental que tuvieran claridad acerca de los tipos de equipos existentes para realizar esta tarea, los puntos en los cuales se deben realizar estas mediciones las condiciones en la que se debe efectuar la medición y el paso a paso de cómo realizar la medición de vibraciones en bombas.

Finalmente con la implementación de este protocolo también se perseguía el objetivo de que el personal involucrado (nombrado en el párrafo anterior) tuviera total

claridad sobre la normativa existente para la medición de vibraciones y más aún manejar a cabalidad la norma utilizada para la medición de vibraciones en bombas. Además se pretendía que cada una de estas personas supiera interpretar y evaluar el estado de una bomba con los resultados de la medición de vibraciones.

Todos los objetivos anteriormente planteados buscan un objetivo común y que es que todo el personal involucrado en las puestas en marcha (personal de pos venta, personal comercial, personal de faena) sepan cómo realizar las mediciones, como interpretar los resultados obtenidos y que se debe hacer si nos encontramos frente a un alto nivel de vibraciones en las bombas que estamos poniendo en marcha o en el caso de faena, las bombas que llevan algún tiempo operando.

3.1.3. Documentos que constituyen el protocolo de medición de vibraciones para bombas reparadas por Proseal

Serán cinco los documentos que formarán parte de nuestro protocolo de medición de vibraciones los cuales en conjunto formaran una guía para que personal de la empresa Proseal pueda realizar la medición y posterior evaluación de la bomba monitoreada.

3.1.3.1. Documento “Control de vibraciones”

Este documento consta de dos páginas y fue creado para llevar un registro únicamente de la medición de vibraciones en la bomba, separándolo de esta forma con los demás parámetros que se registran todos juntos en el documento llamado “Start up”. En primer lugar esto fue creado para darle un orden a la anotación de registros y en segundo lugar porque de todos los parámetros que medimos en bombas, la evaluación de severidad vibratoria nos puede decir si la bomba que en condiciones o no de ser operada de forma segura por el cliente.

La primera plana de este documento, será una página de registro, en donde se anotaran algunos datos del cliente, datos de la bomba, clasificación de grupo y tipo de soporte de la bomba según norma ISO 10816-3, además en un recuadro se anotaran los resultados de las mediciones realizadas en los distintos puntos de la bomba en sus distintas direcciones o sentidos y su evaluación final según la norma nombrada con anterioridad.

En la primera plana se podrán agregar observaciones acerca del estado final de las bombas según la evaluación realizada y el cliente en conformidad a esta revisión, deberá firmar la hoja, dando su aprobación al correcto funcionamiento de la bomba.

En segunda página del documento no se anotará ningún tipo de registro, esta página es para que el personal pueda evaluar de forma rápida la condición en que se encuentra la bomba y para ello se colocó el cuadro de evaluación de la norma 10816-3. Conjunto a ello a modo de recordatorio aparecen los puntos en los cuales se debe efectuar la medición.

3.1.3.2. Documento “Guía para la medición de vibraciones en bombas”

Este documento es más extenso que el anterior y es porque aquí se explica el procedimiento o los pasos a seguir cuando queremos realizar la medición de vibración en bombas. Para comenzar se dan indicaciones generales tales como las medidas de seguridad a adoptar y las verificaciones que se deben realizar previo al arrancado de la bomba.

Con respecto al procedimiento propiamente tal se definen los pasos previos de la medición en si como los son, el conocimiento de la norma ISO 10816-3, la correcta elección del equipo para realizar la medición, identificar puntos y sentidos de medición, etc. Hasta que llegamos al punto donde explicamos cómo realizar la medición propiamente tal. Sin embargo llegando a este punto surgen dos nuevos documentos los cuales son:

- Procedimiento de medición con equipo analizador de vibraciones
- Procedimiento de medición con equipo medidor de vibraciones

Ambos documentos explican los procedimientos de medición en sí, pero bajo la condición del tipo de equipo que utilizaremos. Cabe recordar que un equipo medidor de vibraciones sólo nos indicará el valor de la medición de un momento determinado, por lo tanto se utiliza para saber el nivel de vibraciones de una bomba en un momento determinado. En cambio el equipo analizador además de cumplir la tarea de actuar como medidor, los datos obtenidos pueden ser almacenados en un software para posteriormente revisar las mediciones históricas realizadas a la bomba y así estimar tiempo de falla.

Los documentos mencionados en la presente subsección podrán ser vistos en los anexos B, C y D del presente trabajo de título

3.1.3.3. Documento “Causa y soluciones de los altos niveles de vibraciones”

En este documento se exponen las causas que generan altos niveles de vibraciones en bombas, las causas pueden ser muchas, muy variadas y de origen mecánico o hidráulico, pero para este documento sólo se tomaron en consideración las más usuales y las que pueden generar más daños debido a los altos niveles de vibración que se expanden a diferentes partes de la bomba. Así se describirán las siguientes causas con sus respectivos síntomas y las soluciones para revertir las vibraciones.

- Vibraciones debido al desbalanceo del rodete
- Vibraciones debido al desalineamiento entre el eje conductor y conducido
- Vibraciones debido al roce entre caras rotativa y estacionaria del sello mecánico
- Vibraciones debido a rodamientos defectuosos
- Vibraciones debido a aflojamiento mecánico
- Vibraciones debido al roce entre partes rotativa y estacionaria de la bomba
- Vibraciones debido a problemas en el rodete
- Vibraciones debido al giro de la bomba en el sentido incorrecto
- Vibraciones debido a problemas en los cimientos
- Vibraciones debido a la cavitación

3.1.4. Documentos bajo el sistema de gestión de la calidad ISO 9001:2008

Actualmente la empresa Proseal se encuentra en proceso de certificación de sus procesos de reparaciones de bomba, lo que incluye, el desarme, inspección, reparación y armado de la bomba, además de procesos comerciales como lo son la generación de informes y la posventa relacionada a la bomba reparada.

La norma de aseguramiento de la calidad ISO 9001:2008, exige a la empresa que todos sus procesos se encuentren normados y que cada personal involucrado en las tareas mencionadas o los procesos comerciales indicados se guíe estrictamente por procedimientos que deben quedar establecidos y que deben ser de conocimiento de todo personal de Proseal. De la misma forma la norma exige que cada control que se realice a las bombas (control de vibraciones, control dimensional, control metalográfico, control de temperatura, etc.) deba quedar registrado en forma escrita y en forma digital.

Bajo tal concepto los documentos que se crearon para la medición de vibraciones en bombas, se encuentran bajo el formato de procedimientos de la empresa y deben ser utilizados y estudiados por todo el personal involucrado en tareas de inspección a bombas.

3.2. PROGRAMA DE MEDICIÓN DE VIBRACIONES

3.2.1. Definición de programación

Al hablar de programación se hace referencia al efecto de programar, es decir, de organizar una secuencia de pasos ordenados a seguir para hacer cierta cosa. Programar es el proceso de determinar los tiempos y fechas para el alcance de las metas específicas.

3.2.2. Objetivo de la creación del programa de medición de vibraciones

El programa de medición de vibraciones que se desea implementar está enfocado a que sea una mejora al trabajo que ya se hace realiza en las faenas, pues los clientes siempre están en busca de proveedores que mejoren sus servicios para continuar o prolongar los contratos establecidos.

Bajo este punto de vista la empresa Proseal cuenta con un contrato con la Minera AAS División Los Bronces, en donde se mantienen cuadrillas que asisten en las puestas en marchas de los equipos y que realizan tareas correctivas dentro de la propia faena. Con la creación del programa de medición de vibraciones, se espera que además de las tareas que ya se realizan, Proseal pueda tener un total control de las bombas que ha reparado, creando un registro histórico para cada una de ellas. Dicho registro será del comportamiento de las vibraciones en la bomba, así se podrá estimar cuando se deben hacer cambios de piezas menores en la propia faena o bien cuando el equipo debe parar su funcionamiento para repararlo en las instalaciones de la empresa Proseal.

Al establecer una fecha aproximada en donde las bombas tendrán que ser reparadas, tanto el cliente como la empresa proveedora de servicios (Proseal) se ven beneficiados, puesto que el cliente puede adelantarse y podrá adquirir repuestos que serán necesarios para las reparaciones menores o bien para el caso de reparaciones mayores puede buscar anticipadamente una bomba de reemplazo y así asegurar continuidad en su proceso. Por su parte Proseal puede dar soluciones de arriendo o venta de bombas para reemplazar las que sean retiradas y así facturar por la reparación de la bomba de AAS y por la venta o arriendo de la bomba de reemplazo.

El programa que se realizara será replicado en un futuro contrato que empezará en febrero del año 2017 en Minera Los Pelambres pues desde el comienzo de ese contrato se llevaran los registros de medición de vibraciones de cada bomba y el objetivo al igual que en la faena de AAS será establecer un tiempo estimado de cuando

la bomba deba ser reparada para así tener ya seleccionada una bomba de reemplazo, favoreciendo la continuidad del proceso para el cliente y aumentando la posibilidad de venta y/o arriendo de bombas para el empresa Proseal.

3.2.3. Programa de medición de vibraciones para bombas reparadas por Proseal

El presente programa será aplicable a bombas centrífugas reparadas por la empresa Proseal y que se hayan puesto en funcionamiento nuevamente al interior de la faena. Importante es mencionar que a todas las bombas reparadas, se verifica su nivel de vibraciones en las puestas en marchas, eso es obligatorio y no forma parte del programa pues se entiende que siempre se debe hacer.

Este programa especificará controles diarios que se deben realizar a la bomba, controles semanales y controles mensuales. También indicara los puntos en donde se deben realizar las mediciones de vibraciones, los sentidos y la frecuencia de esta medición y los responsables de realizar las tareas mencionadas. La frecuencia de la toma de datos de vibraciones dependerá exclusivamente de la criticidad que tienen las distintas bombas dentro de la planta o dentro del proceso productivo.

Importante es mencionar además que los resultados obtenidos de la medición de vibraciones en base al programa, serán registrados en la misma hoja en donde se indica el programa de medición de vibraciones.

3.2.3.1. Programa de medición según criticidad de la bomba

Uno de los puntos importantes del programa de medición de vibraciones en bombas es definir la criticidad de ésta, es decir, que tan importante es la bomba para el proceso productivo.

Definiremos entonces tres niveles de criticidad los cuales serán bombas poco críticas, bombas medianamente críticas y bombas altamente críticas. La clasificación de la criticidad se puede obtener al saber que caudal entrega cada bomba o cada planta, porque mientras más caudal entreguen mayor cantidad de concentrado de cobre van a producir. Por consiguiente las bombas altamente críticas deben ser especialmente observadas pues un deterioro en ella que conlleve a una detención inesperada, impacta directamente en lo económico.

La definición de criticidad para cada bomba la definirá en encargado que Proseal posee para cada cliente, pues ellos son los que conocen en un 100% cada planta que les compete.

3.2.3.2. Tareas de verificación diarias, semanales y mensuales

El programa de medición de vibraciones en bombas, además de informar cuando se deben realizar las mediciones de vibraciones, también especificará cuando realizar otras tareas de verificación que son sencillas de hacer y que al controlarlas podemos evitar alguna falla o podemos dar alerta de algún tipo de problema mayor.

Al igual que en la criticidad, las verificaciones se dividieron en tres segmentos, las verificaciones diarias, verificaciones semanales y verificaciones mensuales. Esta clasificación se logra tras saber la complejidad de cada verificación, que tanto puede interrumpir el proceso productivo y la respuesta que nos entrega la verificación realizada.

Así para las verificaciones diarias tendremos las siguientes actividades que se deben realizar.

- Tareas de limpieza general
- Control manual de la temperatura
- Control manual de vibraciones y ruidos
- Controlar el nivel de aceite y rellenar si fuese necesario
- Verificar que no existan fugas (a excepción de las prensas estopas que por funcionamiento deben fugar)
- Verificar la condiciones operacionales de la bomba (revisar caudal, presión de descarga, etc.)

Las verificaciones semanales son un poco más complejas de realizar y llevan un poco más de tiempo de ejecución con respecto a las diarias, sin embargo es fundamental realizarlas para asegurarnos el buen funcionamiento de la unidad de bombeo.

- Verificar que el sello mecánico no se encuentre fugando, en caso de que la bomba utilice prensa estopa reapretar (el reapriete debe hacerse cada 3 días y no debe superar las 20 gotas por minuto)
- Girar manualmente el eje (sólo si la bomba se encuentra detenida)
- Revisar el suministro de agua de lavado y sellado
- Revisar el consumo de energía de la bomba
- Controlar con un equipo especializado la temperatura de la bomba

Por ultimo las verificaciones mensuales que haremos en las bombas serán las siguientes.

- Verificar el estado de las empaquetaduras
- Verificar el ajuste de los pernos de sujeción
- Aplicar lubricante a los rodamientos.

A las tareas diarias, semanales y mensuales que se indicaron, debemos agregar tareas de medición de vibraciones las cuales se realizaran con una frecuencia fija dependiendo de la criticidad de la bomba.

3.2.3.3. Elaboración final del programa de medición de mantenimiento preventivo y predictivo

Después de haber definido que tendremos tres niveles de criticidad de las bombas y también de haber definidos las tareas diarias, semanales y mensuales que se indicaran en este programa, sumado a las mediciones de vibraciones que se realizaran, el programa de mantenimiento quedo elaborado de la siguiente manera.

Cabe destacar que el programa de medición comenzará a ejecutarse 24 horas después que se hayan realizado los controles de vibraciones iniciales en la puesta en marcha de las bombas reparadas por Proseal.

Tabla 3-1. Programa de medición de vibraciones para bombas centrífugas

		Programa de medición de vibraciones para bombas centrífugas	
		Bombas poco críticas	
Equipo:			
Trabajador responsable:			
Fecha inicio		Fecha termino:	Duración:
VERIFICACIONES DIARIAS			
Tarea		Ejecutante	
Limpieza general		Ayudante mecánico	
Inspección visual			
Verificación de temperatura, vibraciones y ruidos anormales			
Verificar nivel de aceite y rellenar (si es necesario)			
Verificar fugas			
Verificar condiciones de operación de la bomba			

Tabla 3-1. Programa de medición de vibraciones para bombas centrífugas
(Continuación)

		Programa de medición de vibraciones para bombas centrífugas						
		Bombas poco críticas						
VERIFICACIONES SEMANALES								
Tarea				Ejecutante				
Verificar fugas en el sello mecánico				Ayudante mecánico				
Reapretar prensa estopa				Ayudante mecánico				
Revisar suministro de agua de lavado y sellado				Mecánico				
Revisar consumo de energía de la bomba				Mecánico				
Medición de temperatura en zona de rodamientos				Mecánico				
VERIFICACIONES MENSUALES								
Tarea				Ejecutante				
Verificar estado de las empaquetaduras				Ayudante mecánico				
Verificar ajuste de los pernos de sujeción				Ayudante mecánico				
Aplicar grasa a rodamientos correspondientes				Mecánico				
MEDICIÓN DE VIBRACIONES								
Punto de medición	Sentido	Frecuencia	Ejecutante	Resultados Valor RMS				
Motor lado libre	Axial	5 días	Mecánico					
	Horizontal	5 días	Mecánico					
	Vertical	5 días	Mecánico					
Motor lado acople	Axial	5 días	Mecánico					
	Horizontal	5 días	Mecánico					
	Vertical	5 días	Mecánico					
Caja porta rodamiento lado libre	Axial	5 días	Mecánico					
	Horizontal	5 días	Mecánico					
	Vertical	5 días	Mecánico					
Caja porta rodamiento lado acople	Axial	5 días	Mecánico					
	Horizontal	5 días	Mecánico					
	Vertical	5 días	Mecánico					

Fuente: Elaboración propia, basado en programas de Proseal

La frecuencia de la medición de las vibraciones en la tabla mostrada anteriormente corresponde a una bomba poco crítica, para bombas medianamente críticas la frecuencia de medición de vibraciones será de 3 días y para las bombas

altamente críticas la frecuencia será de 1 día. Las verificaciones diarias, semanales y mensuales se mantendrán cualquiera sea la criticidad de la bomba.

3.3. MEDICIONES EN TERRENO DE VIBRACIONES EN BOMBAS CENTRÍFUGAS

3.3.1. Medición de vibraciones en bomba centrífuga vertical

En esta oportunidad las mediciones de vibraciones se realizaron a una bomba centrífuga vertical Marca Neptuno, Modelo VTP 850 X-7 (de 7 etapas), perteneciente a Minera Los Pelambres, específicamente esta bomba fue montada en la Estación de recirculación 1, la cual lleva agua desde el tranque Mauro hacia Planta de concentrado.

El montaje de la bomba está a cargo de personal de Minera Los Pelambres, es más, ningún personal de Proseal puede interferir en el montaje de la bomba hasta que el encargado de la maniobra de su autorización. Esto principalmente se debe a razones de seguridad que como sabemos en la minería son bastantes estrictas.



Fuente: Elaboración propia, fotografía Minera Los Pelambres

Figura 3-1. Montaje de bomba vertical inspeccionada

Luego del montaje de la bomba en el pozo correspondiente, personal de Minera Los Pelambres realiza la sujeción a los cimientos mediante elementos de fijación, posteriormente a eso se acopla el motor eléctrico a la bomba y se realizan las sujeciones correspondientes entre bomba y motor para que quede listo para su funcionamiento.



Fuente: Elaboración propia, fotografía Minera Los Pelambres

Figura 3-2. Proceso de sujeción de la bomba a los cimientos



Fuente: Elaboración propia, fotografía Minera Los Pelambres

Figura 3-3. Sujeción entre la bomba y el motor eléctrico

Una vez concluidas estas tareas por parte del personal de Minera Los Pelambres, es momento de que el personal de Proseal realice las tareas de inspección. Para el caso de las bombas verticales y debido al reducido espacio o más bien al poco espacio disponible (puesto que gran parte de la bomba se encuentra introducida en un pozo) las verificaciones que se pueden hacer a este tipo de bombas es más compleja y lo que respecta específicamente a la medición de vibraciones también se hace un poco compleja puesto que por ejemplo y para esta bomba no se pudo medir la parte posterior del motor debido a la gran altura a la que se encontraba. Por lo tanto en esta ocasión se realizó la medición de vibraciones en la parte acople del motor y en la caja de rodamiento que en el caso de esta bomba se encuentra inmediatamente después de motor eléctrico.

Antes de empezar con la medición de las vibraciones debemos identificar a qué tipo de máquina pertenece, tipo de soporte y si es de motor integrado o separado.

Lo más sencillo de identificar es el tipo de motor, la gran mayoría de las bombas son con motor separado y que va unido a la bomba mediante acoples o poleas. Las bombas que tienen el motor integrado son unas construidas especialmente y se denominan bombas monoblock. Para esta bomba pudimos identificar que el motor fue unido mediante acople, entonces la bomba es con motor separado.

La potencia de esta bomba es de 1413 Kw, gracias a este dato y gracias a que ya identificamos el tipo de motor, podemos identificar a que grupo de máquinas pertenece según norma 10816-3. En este caso la bomba cabe dentro de la clasificación de máquinas que pertenecen al Grupo 3.

El último paso previo a realizar las mediciones es saber el tipo de soporte que tiene la bomba, esto lo sabremos según la frecuencia natural y si la bomba trabaja por debajo o sobre esta frecuencia. Si la bomba trabaja bajo la frecuencia natural el soporte será flexible, por el contrario si trabaja sobre la frecuencia natural el soporte será rígido. La frecuencia natural de la bomba viene especificada en la mayoría de los casos en los catálogos y es un dato que el fabricante aporta.

Además de la identificación de estos tres puntos, debemos saber bajo qué condiciones trabaja normalmente la bomba. Así para esta bomba tenemos la siguiente información.

Tabla 3-2. Condiciones operacionales bomba Neptuno VTP 850 X-7

VELOCIDAD	[n]	=	1490 [rpm]
CAUDAL	[Q]	=	791.4 [m³/h]
ALTURA	[H]	=	524.9 [m]
POTENCIA	[N]	=	1413.3 [kW]
RENDIMIENTO	[η]	=	80 [%]

Fuente: Pump test performance curve, Neptuno pumps.

La medición de vibraciones de esta bomba se realizó inmediatamente después de su puesta en marcha, primeramente medimos el lado acople del motor en dirección horizontal, vertical y axial.



Fuente: Elaboración propia, fotografía Minera Los Pelambres

Figura 3-4. Medición en sentido axial del lado acople del motor



Fuente: Elaboración propia, fotografía Minera Los Pelambres

Figura 3-5. Medición en sentido horizontal del lado acople del motor



Fuente: Elaboración propia, fotografía Minera Los Pelambres

Figura 3-6. Medición en sentido vertical del lado acople del motor

Estas tres mediciones la volvemos a realizar después de 15 minutos de la primera medición y posteriormente se realizamos otra hasta completar 60 minutos de funcionamiento continuo de la bomba. Por lo tanto al cabo de 60 minutos de funcionamiento tendremos cuatro mediciones en cada sentido. Para esta bomba los resultados obtenidos fueron los siguientes.

Tabla 3-3. Resultados obtenidos de la medición en lado acople del motor

	15 minutos de funcionamiento	30 minutos de funcionamiento	45 minutos de funcionamiento	60 minutos de funcionamiento
Sentido Axial	0.36 mm/s	0.50 mm/s	0.56 mm/s	0.47 mm/s
Sentido Vertical	0.73 mm/s	0.70 mm/s	0.71 mm/s	0.67 mm/s
Sentido Horizontal	0.72 mm/s	0.77 mm/s	0.75 mm/s	0.74 mm/s

Fuente: Elaboración propia, basado en datos obtenidos en la medición en terreno

También realizamos tres mediciones en la caja porta rodamientos de la bomba inspeccionada, al igual que la medición en el lado acople de la bomba, ésta medición se realizó en tres sentidos (axial, vertical y horizontal).



Fuente: Elaboración propia, fotografía Minera Los Pelambres

Figura 3-7. Medición en sentido axial caja porta rodamiento



Fuente: Elaboración propia, fotografía Minera Los Pelambres

Figura 3-8. Medición en sentido horizontal caja porta rodamiento



Fuente: Elaboración propia, fotografía Minera Los Pelambres

Figura 3-9. Medición en sentido vertical caja porta rodamiento

Al igual que con el lado acople del motor, en la caja porta rodamientos se hicieron mediciones por un periodo de 60 minutos, con un intervalo de 15 minutos entre mediciones. Así los resultados fueron los siguientes.

Tabla 3-4. Resultados obtenidos de la medición en caja porta rodamientos

	15 minutos de funcionamiento	30 minutos de funcionamiento	45 minutos de funcionamiento	60 minutos de funcionamiento
Sentido Axial	0.65 mm/s	0.69 mm/s	0.71 mm/s	0.66 mm/s
Sentido Vertical	0.60 mm/s	0.55 mm/s	0.51 mm/s	0.50 mm/s
Sentido Horizontal	0.54 mm/s	0.51 mm/s	0.48 mm/s	0.46 mm/s

Fuente: Elaboración propia, basado en datos obtenidos en la medición en terreno

3.3.1.1. Evaluación según norma 10816-3

Una vez concluidas las mediciones en ambos puntos de la bomba (motor lado acople y caja porta rodamientos) debemos evaluar los resultados obtenidos para definir el estado en que quedó operando la bomba recientemente reparada por Proseal.

Para dicha tarea debemos apoyarnos en el documento “Control de vibraciones” y en el cuadro de evaluación según norma 10816-3 que éste tiene. Como se realizaron 4 mediciones en cada sentido de cada punto, según lo que especifica la norma, debemos tomar el valor más alto de esas mediciones como el valor representativo de la severidad vibratoria.

Para la medición realizada en el lado acople del motor eléctrico, la evaluación de la severidad vibratoria nos dio los siguientes resultados.

Tabla 3-5. Evaluación de resultados obtenidos lado acople motor, bomba vertical

	Sentido Axial	Sentido Vertical	Sentido Horizontal
Resultado más representativo	0.56 mm/s (A los 45 minutos de funcionamiento)	0.73 mm/s (A los 15 minutos de funcionamiento)	0.77 mm/s (A los 30 minutos de funcionamiento)
Evaluación	A	A	A

Fuente: Elaboración propia, basado en datos obtenidos en la medición en terreno

Por otra parte la medición realizada en la caja porta rodamiento de la bomba presentó la siguiente evaluación.

Tabla 3-6. Evaluación de resultados obtenidos caja porta rodamientos, bomba vertical

	Sentido Axial	Sentido Vertical	Sentido Horizontal
Resultado más representativo	0.71 mm/s (A los 45 minutos de funcionamiento)	0.60 mm/s (A los 15 minutos de funcionamiento)	0.54 mm/s (A los 15 minutos de funcionamiento)
Evaluación	A	A	A

Fuente: Elaboración propia, basado en datos obtenidos en la medición en terreno

Una vez realizado la evaluación de severidad vibratoria, el estado de la bomba se anota en el documento “Control de vibraciones” indicando en este caso, que para todas las mediciones realizadas en el lado acople del motor y en la caja porta rodamientos de la bomba, la evaluación del estado es “A” (Bueno), es decir, y tal como lo indica la norma, este resultado es el más usual obtenidos en bombas nuevas o bien bombas que han sido recientemente reacondicionadas como lo fue este caso, por tanto la bomba puede funcionar por un tiempo prolongado sin correr riesgo de daño.

Luego esta información es presentada al cliente para que apruebe y reciba la bomba en conformidad de funcionamiento.

3.3.2. Medición de vibraciones en bomba centrífuga horizontal

Las mediciones a la bomba centrífuga horizontal se realizaron a una bomba marca Goulds, modelo 3600 8x10-13D, instalada en Estación de Bombeo Sistema de Impulsión de Agua de Mar (SIAM), en Minera Centinela.

Esta bomba es del tipo Split case (carcasa partida), es decir, está dividida según un plano paralelo al eje de rotación del impulsor de la bomba. Este tipo de bomba posee la característica de que el mantenimiento es mucho más sencillo, las presiones que levanta son mucho mayores, el rodete que utiliza es de doble succión y además por su construcción poseen dos cajas porta rodamiento. Por consiguiente en las bombas tipo Split Case tendremos que realizar la medición de vibraciones en cuatro puntos los cuales son, la caja porta rodamiento lado libre, la caja porta rodamientos lado acople, motor eléctrico lado acople y motor eléctrico lado libre.

Al igual que en la bomba vertical debemos identificar a que grupo corresponde la bomba inspeccionada en esta ocasión, el tipo de soporte y si el motor es integrado o separado. Para este último caso debemos recordar que dijimos que solo las bombas monoblock son con motor integrado, para todos los demás casos la bomba será con

motor separado y este es el caso de esta bomba, el motor es separado unido a la bomba mediante un acople.

La potencia de la bomba es de 1342 Kw, por lo tanto gracias al dato de la potencia y como ya sabemos que el motor es separado podemos clasificar a nuestra bomba dentro del Grupo 3. Ahora debemos identificar si dentro de esta clasificación nuestra bomba tiene soporte rígido o flexible y como ya se mencionó las bombas siempre se montaran sobre soportes rígidos, en este caso en particular la bomba fue montada sobre una base de metal construida en metalurgia SAE 420.

Por último debemos conocer las condiciones operacionales con las que se encontrará trabajando la bomba, para este caso las condiciones de la bomba se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 3-7. Datos operacionales de la bomba Goulds 3600 8x10-13D

Caudal	648 m3/Hr
Presión de descarga	388 m
Velocidad de rotación	2975 RPM
Potencia	1342 Kw
Voltaje	3300 V

Fuente: Elaboración propia, basado en datos del fabricante

Después de que la bomba fue montada en la base de metal por personal de Minera Centinela y posteriormente acoplada al motor. Se puso en funcionamiento y con ello empezamos las mediciones de vibraciones.

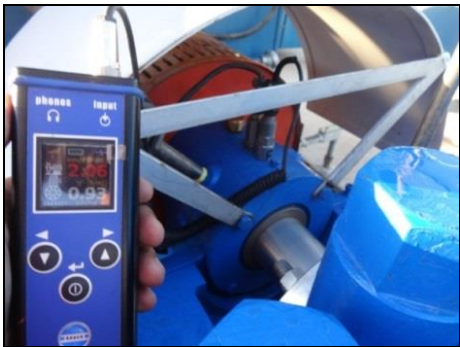
La primera medición la realizamos luego de 15 minutos de puesta en marcha la unidad de bombeo en la caja porta rodamientos lado libre, en los sentidos axial, vertical y horizontal. En segundo lugar medimos la caja porta rodamiento del lado acople también en sus tres sentidos. Luego la parte que fue medida fue el lado acople del motor eléctrico para terminar con la medición del lado libre del motor eléctrico.

Todas las mediciones, en todos los puntos mencionados se volvieron a realizar cada vez que pasaban 15 minutos. El monitoreo de la bomba se realizó por un periodo de tiempo de 60 minutos.



Fuente: Elaboración propia, fotografía Minera Centinela

Figura 3-10. Medición en sentido axial caja porta rodamiento lado libre



Fuente: Elaboración propia, fotografía Minera Centinela

Figura 3-11. Medición en sentido vertical caja porta rodamiento lado acople



Fuente: Elaboración propia, fotografía Minera Centinela

Figura 3-12. Medición en sentido horizontal motor eléctrico lado acople



Fuente: Elaboración propia, fotografía Minera Centinela

Figura 3-13. Medición en sentido axial motor eléctrico lado libre

En esta ocasión y haciendo una comparación con los resultados obtenidos en la bomba vertical, esta bomba presento mayores niveles de vibraciones en todos los puntos en los que se realizó la medición. Estos mayores niveles de vibraciones pueden o no ser perjudiciales para la bomba, todo eso lo sabremos una vez que hayamos realizado la evaluación correspondiente. Aunque muchos clientes exigen que el nivel de vibraciones sea mínimo después de que la bomba sea reparada, se debe tener en cuenta que estos niveles de vibración pueden muchas veces derivar de condiciones ajenas a la bomba, como por ejemplo que la bomba hidráulicamente no esté operando en sus condiciones normales, que los aprietes de los elementos de unión mecánica que se hicieron en el montaje no hayan sido los correctos o bien que sea el motor quien produzca un alto nivel de vibración las cuales se traspasan a la bomba.

Para el primer punto en donde realizamos la medición, los resultados obtenidos después de 60 minutos de funcionamiento fueron los siguientes.

Tabla 3-8. Resultados obtenidos de la medición en caja porta rodamientos lado libre

	15 minutos de funcionamiento	30 minutos de funcionamiento	45 minutos de funcionamiento	60 minutos de funcionamiento
Sentido Axial	1.18 mm/s	1.32 mm/s	1.56 mm/s	1.95 mm/s
Sentido Vertical	1.22 mm/s	1.99 mm/s	2.17 mm/s	2.40 mm/s
Sentido Horizontal	1.69 mm/s	1.73 mm/s	2.01 mm/s	2.33 mm/s

Fuente: Elaboración propia, basado en datos obtenidos en la medición en terreno

Tabla 3-9. Resultados obtenidos de la medición en caja porta rodamientos lado acople

	15 minutos de funcionamiento	30 minutos de funcionamiento	45 minutos de funcionamiento	60 minutos de funcionamiento
Sentido Axial	1.41 mm/s	1.46 mm/s	1.88 mm/s	2.07 mm/s
Sentido Vertical	2.06 mm/s	2.21 mm/s	2.17 mm/s	2.11 mm/s
Sentido Horizontal	1.68 mm/s	1.89 mm/s	1.96 mm/s	2.14 mm/s

Fuente: Elaboración propia, basado en datos obtenidos en la medición en terreno

Tabla 3-10. Resultados obtenidos de la medición en motor eléctrico lado acople

	15 minutos de funcionamiento	30 minutos de funcionamiento	45 minutos de funcionamiento	60 minutos de funcionamiento
Sentido Axial	0.62 mm/s	1.12 mm/s	2.34 mm/s	2.80 mm/s
Sentido Vertical	2.83 mm/s	3.33 mm/s	3.90 mm/s	4.51 mm/s
Sentido Horizontal	0.44 mm/s	0.86 mm/s	1.12 mm/s	1.77 mm/s

Fuente: Elaboración propia, basado en datos obtenidos en la medición en terreno

Tabla 3-11. Resultados obtenidos de la medición en motor eléctrico lado libre

	15 minutos de funcionamiento	30 minutos de funcionamiento	45 minutos de funcionamiento	60 minutos de funcionamiento
Sentido Axial	1.64 mm/s	2.65 mm/s	4.31 mm/s	4.54 mm/s
Sentido Vertical	1.78 mm/s	2.50 mm/s	3.12 mm/s	3.51 mm/s
Sentido Horizontal	1.13 mm/s	1.48 mm/s	2.30 mm/s	3.07 mm/s

Fuente: Elaboración propia, basado en datos obtenidos en la medición en terreno

3.3.2.1. Evaluación según norma 10816-3

Una vez terminado el circuito de medición en esta bomba que comprende cuatro puntos y tres sentidos en cada uno de estos puntos, podemos evaluar el estado en que se encuentra el equipo de bombeo con ayuda del cuadro de la norma ISO 10816-3.

Para el punto de medición de la caja por rodamiento en su lado libre la evaluación es la que se describe a continuación.

Tabla 3-12. Evaluación de los resultados obtenidos caja porta rodamientos lado libre, bomba horizontal

	Sentido Axial	Sentido Vertical	Sentido Horizontal
Resultado más representativo	1.95 mm/s (A los 60 minutos de funcionamiento)	2.40 mm/s (A los 60 minutos de funcionamiento)	2.33 mm/s (A los 30 minutos de funcionamiento)
Evaluación	A	B	B

Fuente: Elaboración propia, basado en datos obtenidos en la medición en terreno

En la caja porta rodamientos lado acople la evaluación de la severidad vibratoria para aquel punto fue la siguiente.

Tabla 3-13. Evaluación de los resultados obtenidos caja porta rodamientos lado acople, bomba horizontal

	Sentido Axial	Sentido Vertical	Sentido Horizontal
Resultado más representativo	2.07 mm/s (A los 60 minutos de funcionamiento)	2.21 mm/s (A los 30 minutos de funcionamiento)	2.14 mm/s (A los 60 minutos de funcionamiento)
Evaluación	A	A	A

Fuente: Elaboración propia, basado en datos obtenidos en la medición en terreno

El tercer punto que fue objeto de nuestra medición de vibraciones se trató del lado acople del motor eléctrico, aquí obtuvimos los resultados que se muestran a continuación.

Tabla 3-14. Evaluación de los resultados obtenidos lado acople motor, bomba horizontal

	Sentido Axial	Sentido Vertical	Sentido Horizontal
Resultado más representativo	2.80 mm/s (A los 60 minutos de funcionamiento)	4.51 mm/s (A los 60 minutos de funcionamiento)	1.77 mm/s (A los 60 minutos de funcionamiento)
Evaluación	B	C	A

Fuente: Elaboración propia, basado en datos obtenidos en la medición en terreno

Por ultimo debemos evaluar los resultados obtenidos en el lado libre del motor eléctrico, de esta manera tenemos los siguiente.

Tabla 3-15. Evaluación de los resultados obtenidos lado libre motor, bomba horizontal

	Sentido Axial	Sentido Vertical	Sentido Horizontal
Resultado más representativo	4.54 mm/s (A los 60 minutos de funcionamiento)	3.51 mm/s (A los 60 minutos de funcionamiento)	3.07 mm/s (A los 60 minutos de funcionamiento)
Evaluación	C	B	B

Fuente: Elaboración propia, basado en datos obtenidos en la medición en terreno

Al realizar la evaluación de la severidad vibratoria podemos darnos cuenta de que la condición más desfavorable en el conjunto motor – bomba se da en el lado libre del motor con una evaluación “C – Insatisfactoria” que si bien permite seguir funcionando al conjunto, la recomendación es no hacerlo por un tiempo prolongado. Sin embargo también nos podemos dar cuenta que las mediciones efectuadas en la bomba nos dan como evaluación “B – Satisfactoria” por ende se puede pensar que la bomba puede estar libre de problemas y los altos niveles de vibraciones están siendo originados por el motor.

Para confirmar lo anterior se realizaron algunas verificaciones, en primer lugar se llamó a sala de control para que nos informara sobre los datos operacionales con los que estaba funcionando la bomba al momento de realizar las mediciones ante lo cual pudimos verificar que si se encontraba operando bajo condiciones normales. Como segunda verificación se revisó el apriete de los distintos elementos de unión mecánica que fueron puestos en el montaje de la bomba los cuales también se encontraban correctamente apretados. Una tercera verificación fue nuevamente revisar el

alineamiento entre la bomba y el motor, en este caso el alineamiento estaba dentro de los parámetros permitidos. Luego se midió la temperatura en las cajas porta rodamientos de la bomba y también en la zona donde va alojado el impulsor, dicha medición nos permitió verificar que la temperatura no era elevada, por consiguiente se dedujo que no existía ningún tipo de roce entre las partes rotativa y estacionaria de la bomba ni que tampoco había ningún rodamiento defectuoso. Por último se pidió un registro a sala de control del comportamiento de las vibraciones en el motor eléctrico durante el último tiempo, en donde se pudo apreciar una tendencia al alza en el nivel de las vibraciones en dicho equipo.

Bajo esta circunstancia se le informa al cliente y se recomienda que la bomba sea detenida en el corto plazo y que el motor sea revisado por especialistas para determinar las razones que están generando vibraciones en él.

En este caso el cliente revisando los antecedentes y nuestras verificaciones entiende que el problema no se debe a la bomba pues ésta presentaba como lo más desfavorable una evaluación “B – Satisfactoria” que incluso puede haber sido provocada por la transmisión de vibraciones del motor hacia la bomba. Por ello recibe en conformidad la reparación de la bomba.

3.4. PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN

3.4.1. Implementación del protocolo de medición para las puestas en marchas

El proceso de implementación del protocolo de medición comenzó en marzo del año 2016. En primera instancia se creó un documento de control de vibraciones el cual fue utilizado en las puestas en marcha de la bomba vertical Neptuno VTP 850 X-7 y la bomba horizontal Split case Goulds 3600 8x10-13D (las mencionadas en la sección anterior) en los meses de abril y mayo respectivamente.

Como primera impresión por parte del personal de posventa, se consideró que fue una herramienta de ayuda al trabajo que ellos realizaban puesto que les ayudó a registrar su trabajo de forma más ordenada y además para los clientes fuera más sencillo interpretar y aceptar lo que ellos hacían al momento de la puesta en marcha de la bomba.

Posteriormente a eso y bajo la recomendación del Subgerente de servicios se decidió realizar los otros documentos que forman parte del protocolo para crear una uniformidad en las mediciones de vibraciones que se realizan en las puestas en marchas.

3.4.2. Implementación para personal de faena

Para el personal de faena el protocolo de medición de vibraciones tubo dos grandes impactos. Al comienzo fue una forma de ordenar sus registros y poder llevar un control de cada bomba que se repara por Proseal. El segundo gran impacto que tuvo la implementación del protocolo se vio directamente relacionado con el conocimiento que varios trabajadores obtuvieron con el solo hecho de revisar los documentos lo cual les ayudo a saber precisamente donde, cuando y bajo qué condiciones medir vibraciones, además de tener un conocimiento sobre las normas que se utilizan para evaluar la severidad vibratoria en bombas. Todo el conocimiento además se verá aumentado y reforzado una vez que se comiencen a realizar las capacitaciones que se especificaron en la Tabla 1-1 del presente trabajo de título.

Cabe destacar que la implementación del protocolo para personal de faena comenzó en el mes de junio del presente año y gracias a los buenos resultados obtenidos y buena recepción por parte del personal se sigue utilizando y se utilizará hacia el futuro, ya que estos documentos como ya se explicó ahora forman parte de los procedimientos del sistema de gestión de la calidad norma ISO 9001:2008 y son documentos que se deben estudiar y aplicar estrictamente.

3.4.3. Implementación del programa de medición de vibraciones para personal de faena

Como se mencionó, el programa de medición de vibraciones indica con qué frecuencia y en qué lugar realizar las mediciones de la bomba, además de otras verificaciones que nos permiten asegurarnos y controlar el buen funcionamiento de la bomba. Este plan de programa es totalmente complementario con los documentos del protocolo puesto que en ellos se indican los procedimientos de medición que deben existir en un programa de mediciones.

Desde el mes de julio del año 2016 se empezó a ocupar por el personal de faena que se encuentra en la Minera AAS División Los Bronces. Lo que permite que cada bomba que llega reparada por Proseal a aquella faena sea inspeccionada según este programa y los registros de medición serán archivados para cada bomba de manera tal de tener un registro histórico y saber las tendencias de vibración que ellas presentan.

3.5. RESULTADOS Y OBSERVACIONES FINALES

3.5.1. Resultados antes y después de la implementación del protocolo en las puestas en marchas

Antes de implementar el protocolo y antes de ponerse en marcha el proceso de certificación del sistema de gestión de la calidad ISO 9001:2008, de por si todos los procesos y tareas que se realizaban eran poco claras y desordenadas. Gracias a este proceso de certificación se ordenaron y crearon nuevos documentos los que lleva a un orden en los registros y respaldos de las tareas realizadas.

En el caso de las puestas en marcha el documentos utilizado anteriormente “Start up” que era desordenado, poco claro de entender y estéticamente se veía muy mal. Hoy en día se tiene se mantiene este documento pero fue reformulado, haciéndolo más ordenado y entendible, además y como se ha mencionado se creó el documento “Control de vibraciones” de uso exclusivo para el registro de las vibraciones en las puestas en marcha de las bombas reparadas por Proseal.

3.5.2. Resultados antes y después de la implementación del protocolo para personal de faena

Para el personal de faena se podría decir que el cambio fue más significativo puesto que antes de la implementación ellos solo controlaban las bombas cuando eran puestas en marcha y solo tenían como referencia que la bomba se encontraría en buen estado si los resultados de las mediciones eran menores a 7.1 mm/s, es decir, cualquier resultado inferior para ellos era aceptable, pero realmente no sabían que por ejemplo si llegaban a un valor cercano a 7.1 mm/s era algo para poner atención y revisar el porqué de ese alto nivel de vibraciones.

Hoy en día el personal de faena además de haber aprendido los procedimientos de medición, aprendieron algo sumamente importante que es tener pleno conocimiento de la norma que rige para bombas centrífugas, como clasificar la bomba que se está inspeccionando (por tipo de motor, tipo de acople y potencia de la bomba) y como interpretar o evaluar los resultados obtenidos. Siendo este último punto fundamental, pues ahora saben que hay rangos para clasificar la severidad vibratoria y si el resultado obtenido es cercano a 7.1 mm/s deberán inspeccionar, verificar y buscar con el apoyo del documento “Causas y soluciones de los altos niveles de vibraciones” que lo que está

generando ese alto nivel de vibraciones, porque su conocimiento ahora les dice que una bomba cercana a ese valor no puede operar por un tiempo prolongado.

3.5.3. Resultados antes y después de la implementación del programa de medición de vibraciones

El programa de medición de vibraciones fue otro cambio significativo para el personal de faena, la situación anterior a la implementación de este programa es sencilla de explicar, no había programa ni seguimiento a las bombas reparadas por Proseal, el personal de faena entonces solo estaba para asistir en las puestas en marcha de las bombas reparadas por Proseal y tareas correctivas en terreno de éstas.

Este programa se creó con la intención de ser una mejora para el contrato (dentro de otras que se han implementado) y así poder optar a la renovación de éste. La situación actual con este programa de medición es sumamente alentadora pues el personal de faena ahora lleva un registro de todas las bombas que llegan a faena reparadas por Proseal, las cuales según su criticidad tiene su programa definido. Gracias a esto el personal sabe bien cuando debe realizar la medición de cada bomba, en que puntos de la bomba, en que direcciones debe medir y por cuanto tiempo.

Ahora las personas contratadas por Proseal que se encuentran trabajando en faena, ya no son simplemente medidores o reparadores, ahora tienen la capacidad y los conocimientos para saber e informar cuando se debe detener una bomba, cuando puede funcionar con observaciones o cuando puede funcionar sin problemas, de esta forma ayudan en la programación que tienen los planificadores de AAS al entregarles información certera del estado de las bombas.

3.5.4. Observaciones finales

Analizando los resultados obtenidos después de la implementación del protocolo de medición y el programa de medición de vibraciones se ve una mejora en el proceder de la medición y en la evaluación de las bombas. Ejemplo de esto, es la actividad realizada casi diariamente por personal de posventa que con los documentos que contemplan el protocolo de medición, su operación, tiempo de medición y evaluación de la bomba, se ha visto disminuida al saber precisamente todo el procedimiento que se debe realizar.

También ejemplo de la mejora en el proceder y la evaluación de las bombas se ve en el personal de faena, en donde sus conocimientos se vieron aumentados favoreciendo a las tareas correctivas que mantenían y agregando a ellas el poder de

determinar el estado real de una bomba mejorando la programación de la intervención de estos equipos.

Es por este motivo, que se tomaron todas las medidas para realizar esta actividad y aceptar las recomendaciones de gente con más experiencia en la empresa, escuchando también a las partes involucradas de cómo podríamos mejorar y facilitar sus labores que realizan diariamente.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al término de este trabajo podemos señalar, que las soluciones empleadas a las problemáticas detectadas, permitieron la confección del protocolo y el programa de medición de vibraciones, entregando a la empresa documentos en los que se especifican procedimientos, control de los registros, causas y soluciones y programación acerca de la medición y evaluación de los niveles vibratorios encontrados en cada bomba reparada por la empresa, para que el personal que corresponda pueda hacer uso de éstos en sus tareas cotidianas.

A la hora de evaluar las soluciones presentadas, podemos decir que estas siempre fueron desarrolladas en su totalidad, estudiando los factores influyentes y riesgos asociados, verificando datos con tablas de comparación y con normas para otorgar mayor certeza a los resultados.

Es de suma importancia mencionar que todo lo indicado en el protocolo y programa de medición de vibraciones fue en base a la norma que rige para tal efecto y algo mucho más importante, en base a la experiencia de personas que día a día trabajan con equipos de bombeo, pues son ellos quienes conocen las fallas, las causas y las soluciones para estos equipos.

Para realizar mediciones de manera correcta y efectiva en las bombas centrífugas se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones que beneficiaran el proceso de medición.

- Conocer e interpretar de manera correcta la norma ISO 10816-3
- Se debe tener pleno conocimiento de las máquinas que vamos a medir, de su funcionamiento y de sus condiciones normales de operación.
- Se debe conocer qué tipo de sensor utilizaremos al momento de realizar la medición.
- Revisar en el protocolo de medición, los procedimientos de medición para los distintos tipos de equipos que cumplen esta tarea.
- Tener total conocimiento de las partes constitutivas de una bomba para realizar las mediciones en los lugares correctos y además para solucionar problemas que generan vibraciones.

Siguiendo estas simples recomendaciones, podemos realizar una medición rápida, efectiva y con evaluaciones precisas. Cabe mencionar que las mediciones en el caso del programa de medición, deben realizarse con la frecuencia indicada puesto que

si dejamos pasar el tiempo y no realizamos estas inspecciones, la bomba podrá tener daños catastróficos.

Finalmente mencionar, que el aprendizaje logrado en este trabajo, va más allá de una simple redacción de unos documentos, pues hubo una investigación profunda acerca de la norma que rige para la evaluación de la severidad vibratoria en bombas, de los procesos que se deben seguir para realizar una medición correcta y de los aparatos utilizados para realizar dicha tarea. Además fue de mucho aprendizaje la tarea de medición realizada en terreno pues allí se pudo corroborar todo lo que se decía o escribía, se estuvo frente a condiciones climáticas adversas y problemáticas reales que día a día se pueden presentar y gracias a esa experiencia supimos cómo resolverlas y dar las respuestas rápidas y correctas a los clientes.

BIBLIOGRAFÍA

ADASH LTD. Adash 4900 – Vibrio M: Guía para el usuario. Ostrava, República Checa. 2015. 68 p.

OLGUÍN, C. Apuntes de Cátedra de Inspección del mantenimiento: Inspección y diagnósticos de equipos. Viña del Mar, Chile: Universidad Técnica Federico Santa María, Sede Viña del Mar. 2012. 92 p.

MARTIN, I. Mecánica de fluidos: Tema 2 Impulsión de fluidos. San Vicente de Raspeig, Alicante, España: Universidad de Alicante. 2011. 64 p.

KSB COMPAÑÍA SUDAMERICANA DE BOMBAS S.A. Manual de entrenamiento: Selección y Aplicación de bombas centrífugas. Antofagasta, Chile. Centro de entrenamiento de productos. 2002. 217 p.

LOYOLA, H. Apuntes de capacitación: Curvas características de bombas. Quilpué, Chile: Ingeniería, Desarrollo y Servicios Tecnológicos Limitada, Casa matriz. 2016. 15 p.

MORENO, J. Apuntes de Capacitación: Funcionamiento, operación y mantención de bombas. [diapositiva]. Quilpué, Chile: Ingeniería, Desarrollo y Servicios Tecnológicos Limitada, Casa matriz. 2016. 158 diapositivas, col.

KULICHEVSKY, R. Medición y análisis de vibraciones: Una herramienta para la predicción y evaluación de fallas en máquinas. San Martín, Buenos Aires, Argentina: Comisión Nacional de Energía Atómica. 2008. 16 p.

INTERNATIONAL Organization For Standardization. Mechanical vibration, Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts. ISO 10816-3, Industrial machines with nominal power above 15 kW and nominal speeds between 120 r/min and 15 000 r/min when measured in situ. 2000. Ginebra Suiza. 19 p.

SAAVEDRA, P. Análisis de vibraciones en máquinas: Curso análisis de vibraciones, Categoría I. Concepción, Chile: Laboratorio de vibraciones mecánicas, Universidad de Concepción. 2015. 144 p.

PIZARRO, F. Apuntes de Cátedra de Gestión de la Mantención: Mantenimiento del equipo industrial y gestión de la mantención. [diapositiva]. Viña del Mar, Chile: Universidad Técnica Federico Santa María, Sede Viña del Mar. 2013. 157 diapositivas, col.

ROMERO, H. Apuntes de Cátedra de Mantención Industria: Mantención Industrial. [diapositiva]. Viña del Mar, Chile: Universidad Técnica Federico Santa María, Sede Viña del Mar. 2012. 58 diapositivas, b/n.

PRUFTECHNIK. La vibración confirma la norma. [en línea]. <http://pruftechnik.wordpress.com/2011/10/13/la-vibracion-confirma-la-norma/>. [Consulta: Marzo 2016].

DAZA, G. Apuntes del curso Vibraciones mecánicas. Concepción, Chile: Universidad Técnica Federico Santa María, Sede Concepción. 2007. 136 p.

GUEMISA. Análisis de vibraciones e interpretación de datos. [en línea]. <http://www.guemisa.com/articul/pdf/vibraciones.pdf>. [Consulta: Junio 2016].

VIBRATEC. Fallas más comunes que producen vibraciones. [en línea]. http://www.vibratec.net/pages/tecnico_desbalance.html#. [Consulta: Mayo 2016].

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA. Introducción al fenómeno de las vibraciones mecánicas: Normativa sobre vibraciones. Navarra, España: Universidad pública de Navarra, Campus de Arrosadía, Pamplona. 2009. 42 p.

ANEXOS

ANEXO A: DOCUMENTO CONTROL DE VIBRACIONES



CONTROL DE MEDICION DE VIBRACIONES

DATOS GENERALES					
CLIENTE		Minera Los Palambres			
USUARIO					
REFERENCIA PST		PSG-0041			
O/C					
FECHA DE MONITOREO Y/O PUESTA EN MARCHA					

DATOS DEL EQUIPO DE BOMBEO					
FABRICANTE					
MODELO					
TIPO					
Nº DE SERIE					
TAG					
Nº DE ETAPAS					
CLASIFICACIÓN SEGÚN NORMA ISO 10816-3					
TIPO DE SOPORTE					

RESULTADOS DE MEDICIONES HORIZONTALES (mm/s²)					
	0 – 15 (MINUTOS)*	15 – 30 (MINUTOS)*	30 – 45 (MINUTOS)*	45 – 60 (MINUTOS)*	EVALUACIÓN SEGÚN NORMA ISO 10816-3
PUNTO 1					
PUNTO 2					

MEDICIONES VERTICALES					
	0 – 15 (MINUTOS)*	15 – 30 (MINUTOS)*	30 – 45 (MINUTOS)*	45 – 60 (MINUTOS)*	EVALUACIÓN SEGÚN NORMA ISO 10816-3
PUNTO 1					
PUNTO 2					

MEDICIONES AXIALES					
	0 – 15 (MINUTOS)*	15 – 30 (MINUTOS)*	30 – 45 (MINUTOS)*	45 – 60 (MINUTOS)*	EVALUACIÓN SEGÚN NORMA ISO 10816-3
PUNTO 1					
PUNTO 2					

* Período de funcionamiento de la bomba desde su puesta en marcha y/o desde el inicio del monitoreo.

OBSERVACIONES:					

INSPECCIONA

NOMBRE:

FIRMA:

APUREBA

NOMBRE:

FIRMA:

TABLA NORMA ISO 10816-3



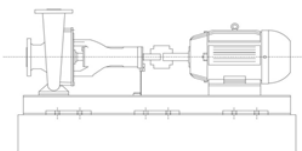
CONTROL DE MEDICION DE VIBRACIONES

Norma ISO 10816-3, Parte 3: Máquinas industriales con potencia nominal sobre 15 Kw y velocidades nominales entre 120 y 15.000 cpm, cuando se mide en terreno.

D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	RMS	RMS	Velocidad de vibración 1 = 1000 µm/s 2 = 1000 µm/s 3 = 120 µm/s
D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	in / seg	mm / seg	
D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	0.43	11	
D	C	C	B	D	C	C	C	B	B	0.28	7.1	
C	B	B	B	C	B	B	B	B	B	0.18	4.5	
C	B	B	A	C	B	B	B	A	A	0.14	3.5	
B	B	B	A	B	B	B	B	A	A	0.11	2.8	
B	A	A	A	B	A	A	A	A	A	0.09	2.3	
A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	0.08	1.4	
A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	0.03	0.74	
Rígida	Flexible	Rígida	Flexible	Rígida	Flexible	Rígida	Flexible	Rígida	Flexible	Base		
Bombas > 15 Kw Radial, Axial, Mixto				Máquinas medianas 15 Kw < P ≤ 300 Kw				Máquinas medianas 300 Kw < P ≤ 30 Mw				Tipo de maquinaria
Motor Integrado		Motor Separado		Motores 160 mm ≤ H < 315 mm		Motores H ≤ 315 mm						
Grupo 4		Grupo 3		Grupo 2		Grupo 1					Grupos	

A Buena (Máquina nueva o recondicionada)	C Insatisfacción (La máquina no puede operar un tiempo prolongado)
B Satisfacción (La máquina puede operar indefinidamente)	D Inaceptable (La vibración está provocando daños en la máquina)

BOMBAS HORIZONTALES



BOMBAS VERTICALES



PUNTOS DE MEDICIÓN

➤ Punto 1: Caja de rodamientos

➤ Punto 2: Zona de rodamientos del elemento motriz.

SENTIDO DE MEDICIÓN

➤ Para el punto 1 y el punto 2 los sentidos que se medirán serán:

• Horizontal

• Vertical

• Axial.

ANEXO B: GUÍA PARA LA MEDICIÓN DE VIBRACIONES EN BOMBAS



GUÍA PARA LA MEDICIÓN DE VIBRACIONES EN BOMBAS CENTRÍFUGAS

Código	Fecha de Revisión	N° de Revisión	Página
P-ATE-01	22-03-2016	00	2 de 7

4. TERMINOS Y DEFINICIONES

Bomba: es una máquina capaz de transformar la energía mecánica en energía hidráulica. Logrando así transportar el fluido desde un lugar a otro.

Válvula: Una válvula es un dispositivo mecánico destinado a controlar, retener, regular o dar paso a un fluido.

Motor eléctrico: dispositivo que transforma la energía eléctrica en energía mecánica por medio de la acción de los campos magnéticos generados en sus bobinas.

5. REFERENCIAS

M-SGC-01 Manual SGC de PROSEAL.
Norma ISO 9000:2005: Sistemas de Gestión de la Calidad - Fundamentos y Vocabulario.
Norma ISO 9001:2008: Sistemas de Gestión de la Calidad - Requisitos.
P-ATE-02: Procedimiento de medición con equipo medidor de vibraciones.
P-ATE-03: Procedimiento de medición con equipo medidor de vibraciones.
P-ATE-04: Causa y soluciones de los altos niveles de vibración en bombas.
Documento de registro: Control de vibraciones.



GUÍA PARA LA MEDICIÓN DE VIBRACIONES EN BOMBAS CENTRÍFUGAS

Código	Fecha de Revisión	N° de Revisión	Página
P-ATE-01	22-03-2016	00	3 de 7

6. MEDIDAD DE SEGURIDAD

Dentro de las posibilidades generales de riesgos que se exponen los que realizan las mediciones de vibraciones en las bombas centrífugas, está el contacto con partículas en los ojos, el contacto con energía eléctrica, golpes en extremidades por diversos elementos que puedan existir en las superficies de trabajo. También existe un alto riesgo de atrapamiento debido a algunos elementos de transmisión que se pueden encontrar expuestos.

Para prevenir todo tipo accidente, el personal que realizará la medición debe realizar una inspección visual con los siguientes objetivos:

- Verificar el estado de las conexiones eléctricas
- Verificar el estado de los interruptores para evitar una posible descarga eléctrica
- Verificar las protecciones de los componentes eléctricos y mecánicos, haciendo especial hincapié en aquellos sectores donde exista peligro de atrapamiento
- Identificar el botón de parada de emergencia para accionarlo en caso de emergencias.

Es muy importante también que la persona que realizará las mediciones use ropa acorde al trabajo que se encuentra ejecutando y que se deshaga de todo elemento o accesorio colgante que pudiese desprenderse al momento de realizar la medición o de todo elemento que pudiese interferir en el normal proceso de la inspección.

Por último también se debe mencionar que se debe tener cuidado en la manipulación del equipo que se está utilizando para realizar la inspección. En tal sentido es fundamental que el personal que realice la inspección mantenga los conocimientos suficientes para la correcta manipulación del aparato.

7. CONSIDERACIONES PREVIAS

Para realizar las mediciones de las vibraciones en bombas centrífugas, es necesario que éstas se encuentren en funcionamiento, sin embargo antes de poner en marcha un equipo de bombeo debemos asegurarnos y verificar los siguientes puntos:

A. Antes de arrancar la bomba, verificar que se cumplan con todas las medidas de seguridad correspondientes.

B. Revise las instalaciones de la tubería de descarga y asegúrese de que todas las válvulas se encuentren operativas y en las posiciones adecuadas para el arranque del equipo.

C. Verificar todos los indicadores, válvulas e instrumentos de medición para su adecuado funcionamiento.

D. Verifique que la válvula de descarga se encuentre cerrada.

E. Abra la válvula de succión.

	GUÍA PARA LA MEDICIÓN DE VIBRACIONES EN BOMBAS CENTRÍFUGAS			
	Código	Fecha de Revisión	Nº de Revisión	Página
	P-ATE-01	22-03-2016	00	4 de 7

- F. Abra la válvula de descarga y permita que la bomba se llene con fluido (cebado de la bomba). La válvula de venteo localizada en el lado de la descarga debe ser abierta para permitir que cualquier aire atrapado ventile cuando la bomba se esté llenado de fluido, una vez que el aire haya salido y el fluido salga a través de la válvula de venteo, ésta se debe cerrar. Las válvulas se deben mantener abiertas aproximadamente 60 segundos para asegurar que la bomba este completamente llena de fluido.
- G. Cerrar la válvula de descarga.
- H. Revise el sentido de rotación.
- I. Una vez llevado a cabo el cebado y establecido la rotación correcta, la bomba está lista para la operación continua.
- J. Asegúrese que la válvula de descarga este abierta en aproximadamente una ¼ parte de su apertura total posible.
- K. Arranque el motor y abra la válvula de descarga inmediatamente cuando la velocidad de operación ha sido alcanzada. No permita que la válvula de descarga permanezca cerrada por ningún periodo de tiempo, la tempera del fluido bombeado ascenderá excesivamente causando daños a la bomba.

8. PROCEDIMIENTO GENERAL DE MEDICIÓN DE VIBRACIONES EN BOMBAS CENTRÍFUGAS

8.1 Introducción

En muchas ocasiones cuando se están realizando las mediciones de las bombas en terreno, los resultados que se obtienen no son los que se esperan, es decir, se encuentra fuera del parámetro aceptado por la norma ISO 10816-3. Para tal sentido este instructivo entregara información relevante acerca de las posibles fallas que están produciendo los altos niveles de vibraciones y se informará de las medidas correctivas que se deben tomar. Este documento queda a la disposición de todo el personal que desea realizar mediciones en bombas así como también para el personal que solamente desea ampliar sus conocimientos acerca de este tema.

8.2 Conocer Norma ISO 10816-3

Conocer y entender la Norma ISO 10816-3, para ello nos apoyaremos en el documento “Control de vibraciones” en donde se puede visualizar el cuadro de dicha norma. Se especifica además el criterio de evaluación según el resultado obtenido en donde “A” es para bombas en buenas condiciones, “B” para bombas en condiciones satisfactorias, “C” para bombas en condiciones insatisfactorias y “D” para bombas en condiciones de funcionamiento inaceptables

8.3 Elección del equipo para medir vibraciones

Según el tipo de medición que se desee realizar es el tipo de equipo que elegiremos. Si lo que queremos es medir las vibraciones de una bomba en un momento determinado y sólo para saber si se cumple con la normativa (como por ejemplo en las puestas en marcha), el equipo que se utilizará será un medidor de vibraciones que sólo cumple con el objetivo anteriormente mencionado. Cuando deseamos hacer un

	GUÍA PARA LA MEDICIÓN DE VIBRACIONES EN BOMBAS CENTRÍFUGAS			
	Código	Fecha de Revisión	Nº de Revisión	Página
	P-ATE-01	22-03-2016	00	5 de 7

análisis más profundo utilizaremos un equipo analizador de vibraciones, este equipo nos permitirá crear una ruta de medición para distintas bombas dentro de un sistema, luego esa ruta la mediremos un número determinado de veces para posteriormente analizar los resultados en un software característico de los analizadores de vibración. Este software entregara resultados comparativos de las mediciones realizadas en el tiempo de las distintas bombas y a través de un gráfico mostrara una tendencia en donde se podrá determinar el tiempo en que la o las bombas estarán cercanas a fallar. El analizador de vibraciones se utiliza principalmente para programas de mantenimiento.

8.4 Identificar tipo de bomba según norma ISO 10816-3

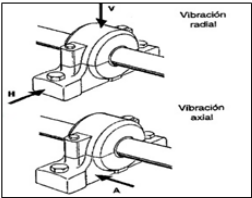
Basándonos en la norma ISO 10816-3 debemos clasificar la bomba en un grupo (Grupo I, II, III o IV), para ello tenemos dos sub clasificaciones que debemos distinguir. La primera es si el motor es integrado o separado, es decir, si el motor viene integrado a la bomba (como sucede en las bombas Monoblock) o bien se une a la bomba a través de acoples, poleas, etc. La segunda sub clasificación hace referencia a que si la base de la bomba es rígida o bien es flexible.

8.5 Identificar puntos de medición de las bombas

En este punto identificaremos en que parte de la bomba debemos realizar la medición de vibraciones, esto aplica en bombas centrífugas horizontales como en verticales. Se debe medir vibraciones que sean representativas de como vibra el rotor, bajo esta premisa mediremos en dos partes de las bomba, la primera es la caja de rodamientos y la segunda es la zona de rodamientos del elemento motriz.

8.6 Conocer los sentidos de medición

Una vez que los puntos de medición hayan sido identificados necesitaremos saber de qué forma se deben medir. Hay dos sentidos para realizar la medición de vibraciones en cualquier tipo de máquina, estos sentidos son Axial y Radial, este último a su vez se compone sentido vertical y horizontal, por lo tanto cada vez que realizamos la medición de vibraciones en bombas centrífugas lo haremos en sentido Axial, Horizontal y Vertical. A continuación de se muestra una imagen para mejor entendimiento.



	GUÍA PARA LA MEDICIÓN DE VIBRACIONES EN BOMBAS CENTRÍFUGAS			
	Código	Fecha de Revisión	Nº de Revisión	Página
	P-ATE-01	22-03-2016	00	6 de 7

8.7 Elección de la magnitud a medir

Es importante conocer que magnitud que se debe medir y cuando elegir una es desmedro de la otra. Existen tres magnitudes en relación a la medición de vibraciones las cuales son el desplazamiento, la velocidad y la aceleración de la vibración. Se medirá el desplazamiento de la vibración cuando la frecuencia sea baja, por debajo de los 600 CPM (Ciclos por minuto). Se medirá la velocidad de la vibración cuando la frecuencia sea media, entre 60 y 60.000 CPM y por ultimo mediremos aceleración de la vibración cuando la frecuencia sea alta, por sobre los 60.000 CPM.

8.8 Conectar el sensor de vibración

Una vez seleccionado el sensor correcto que utilizaremos para la medición de vibraciones, debemos conectarlo al instrumento. La conexión se realiza en la parte superior o inferior del aparato, según corresponda y es de suma facilidad puesto que solo se deben hacer calzar los orificios que tiene la conexión en el instrumento con los pines del sensor. Los sensores vienen suministrados y calibrados desde fábrica por lo que solo debemos preocuparnos de conectarlo bien al instrumento. También es importante mencionar que junto al suministro del sensor, en muchos casos también se entrega una especie de adaptador magnético el cual se conecta (generalmente vía rosca) con el sensor y ayuda a la fijación del sensor con la superficie de la bomba inspeccionada. Según sea el instrumento que utilizaremos, además del sensor de vibraciones, también debemos conectar un sensor de temperatura y un sensor que mide la velocidad de rotación. En muchos casos el sensor de temperatura viene integrado al instrumento de medición.

8.9 Comenzar con la medición de vibraciones

Como ya se ha mencionado anteriormente, existen dos tipos de instrumentos para la medición de vibraciones, uno que es solo medidor y el otro que además de medir, analiza los resultados. El procedimiento de medición va a variar dependiendo del instrumento escogido, si bien tienen algunos pasos en común y que ya se han mencionado en este documento, los pasos que siguen desde que se comienza con la medición son sumamente distintos. Es por ello que se explicarán los procedimientos con ambos instrumentos, para el caso de la medición con un instrumento medidor de vibraciones el procedimiento se explica detalladamente en el documento "Procedimiento de medición con equipo medidor de vibraciones", para el caso de la medición con un instrumento analizador de vibraciones, todo el paso a paso se verá detallado en el documento llamado "Procedimiento de medición con equipo analizador de vibraciones".

8.10 Evaluación del estado de la bomba inspeccionada

La evaluación del estado de la bomba es el paso final en la cadena de medición de vibraciones, la podremos conocer con un instrumento medidor de vibraciones así como también con un instrumento analizador de vibraciones según sea el objetivo que se desea alcanzar. De todas maneras en los documentos de los procedimientos de ambos instrumentos se podrá visualizar y entender detalladamente la evaluación de la bomba inspeccionada con cada uno de los instrumentos.

	GUÍA PARA LA MEDICIÓN DE VIBRACIONES EN BOMBAS CENTRÍFUGAS			
	Código	Fecha de Revisión	Nº de Revisión	Página
	P-ATE-01	22-03-2016	00	7 de 7

9. ORIGEN DE ALTOS NIVELES DE VIBRACIÓN EN BOMBAS

Muchas veces cuando nos encontramos inspeccionando una bomba, nos daremos cuenta que los resultados no son los esperados o más bien no cumplen con la norma correspondiente. Cuando ello ocurre estaremos frente a un problema mayúsculo puesto que la operación de la bomba con un nivel elevado de vibraciones puede llevar a la falla catastrófica de ésta. Es por ello que es de suma importancia conocer cuáles pueden ser las posibles causas que estén generando vibraciones y cómo podemos solucionarlas. Por lo anteriormente mencionado se ha creado un documento llamado "Causas y soluciones de los altos niveles de vibraciones en bombas", en donde se analizarán todas las posibles causas que generan vibraciones con sus respectivas soluciones.

ANEXO C: PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN CON EQUIPO MEDIDOR DE VIBRACIONES



PROSEAL

PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN DE VIBRACIONES CON EQUIPO MEDIDOR DE VIBRACIONES

Código	Fecha de Revisión	N° de Revisión	Página
P-ATE-02	22-03-2016	00	1 de 7

1. OBJETIVOS

En el presente documento se explicará detalladamente el paso a paso para realizar mediciones con un instrumento medidor de vibración, atravesando desde lo más básico como el encendido del aparato hasta el paso final que es la interpretación o evaluación de los resultados obtenidos.

2. ALCANCE

Este procedimiento es aplicable a la Gerencia Técnica y Gerencia Comercial, en el caso de Gerencia técnica se aplica a Departamento de Faena, en el caso de Gerencia Comercial se aplica a Departamento de Posventa.

3. RESPONSABILIDADES

Cargo	Responsabilidad
Sub Gerente de Servicios	Es el responsable de hacer cumplir los requerimientos de este documento.
Jefe de Posventa	Planificación de trabajos a realizar para las puestas en Marcha de las bombas.
Jefe de Cuadrillas	Planificación de trabajos a realizar para personal de faena.
Ingeniero de Posventa	Realizar las mediciones de vibraciones, temperatura, control de condiciones operacionales y dejar registro de los resultados obtenidos para la puesta en marcha de las bombas.
Supervisor de Faena	Realizar mantenimiento correctivo y asistencia en la puesta en marcha para bombas que se encuentran en faena.

ELABORADO POR	REVISADO POR	AUTORIZADO POR
Mario Stokebran	Sebastián Canales	Patricio Alfaro
Asistente Técnico Comercial	Representante de Gerencia	Gerente General



PROSEAL

PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN DE VIBRACIONES CON EQUIPO MEDIDOR DE VIBRACIONES

Código	Fecha de Revisión	N° de Revisión	Página
P-ATE-02	22-03-2016	00	2 de 7

4. TERMINOS Y DEFINICIONES

Bomba: es una máquina capaz de transformar la energía mecánica en energía hidráulica. Logrando así transportar el fluido desde un lugar a otro.

5. REFERENCIAS

M-SGC-01 Manual SGC de PROSEAL
Norma ISO 9000:2005: Sistemas de Gestión de la Calidad - Fundamentos y Vocabulario.
Norma ISO 9001:2008: Sistemas de Gestión de la Calidad - Requisitos.
P-ATE-01: Guía para la medición de vibraciones en bombas centrífugas

 PROSEAL	PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN DE VIBRACIONES CON EQUIPO MEDIDOR DE VIBRACIONES			
	Código	Fecha de Revisión	Nº de Revisión	Página
	P-ATE-02	22-03-2016	00	3 de 7

6. PROCEDIMIENTO DE MEDICION

6.1 Introducción

Todos los equipos medidores de vibraciones funcionan de manera muy similar, pero para este caso expondremos como se debe realizar la medición utilizando el equipo que posee Proseal, el ADASH VIBRIO 4900. Como en el documento "Guía para la medición de vibraciones en bombas" se explicaron los pasos generales previos a realizar la medición en sí, acá solo explicaremos detalladamente desde el comienzo de la medición hasta el punto final en donde se interpretan los datos o resultados obtenidos.

6.2 Conocer instrumento de medición

El instrumento de medición ADASH VIBRIO al igual que la mayoría de los instrumentos de medición se compone por su panel de botones o teclado, una pantalla y un panel de conexiones. En la parte superior del aparato se encuentra el panel de conexiones el cual cuenta de izquierda a derecha, con una entrada para la conexión del sensor de vibraciones, un sensor infrarrojo inserto en el mismo aparato para la medición de la temperatura y una salida Jack 3.5 mm que se utiliza para conectar audífonos. El panel de botones o teclado, se encuentra en la parte frontal del instrumento y a diferencia de otros instrumentos solo cuenta con tres botones lo que hace mucho más fácil su utilización. De los tres botones con que cuenta el instrumento uno es para el encendido y para acceder a los distintos menús que ofrece el instrumento, los otros dos son teclas de navegación.

Por último encontramos en la parte frontal pero arriba del teclado la pantalla en donde podremos visualizar las distintas opciones del menú así como también los resultados de las mediciones de temperatura y de vibraciones.

Generalmente los medidores de vibraciones poseen pocas conexiones a diferencia de los analizadores y básicamente se debe a que el medidor de vibraciones es un instrumento portátil, de fácil traslado y para realizar mediciones que no conlleven mucho tiempo en su ejecución y posterior lectura.

6.3 Aprender a utilizar el instrumento de medición

Es de suma importancia el saber utilizar o saber para qué sirve cada tecla, cada conexión o cada información que pueda aparecer en la pantalla, para ello explicaremos más detalladamente el funcionamiento del instrumento de medición. Como ya se mencionó anteriormente, nuestro instrumento cuenta en su teclado con 3 botones como se puede apreciar en la siguiente imagen.



Para encender el instrumento de medición debemos presionar el botón que se encuentra más abajo en el teclado, este mismo botón si lo mantenemos apretado por 3 segundos nos servirá para posteriormente apagar nuestro aparato.

Una vez apretado el botón de encendido y el aparato se enciende, en la pantalla del instrumento se visualizará el logo de la marca, por el contrario cuando lo apagamos nos muestra las características del

 PROSEAL	PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN DE VIBRACIONES CON EQUIPO MEDIDOR DE VIBRACIONES			
	Código	Fecha de Revisión	Nº de Revisión	Página
	P-ATE-02	22-03-2016	00	4 de 7

instrumento (Modelo, Versión, Nº de serie, etc.). Si después de encendido no se presiona ningún botón por 10 minutos, el instrumento entrará en modo de ahorro y oscurecerá la pantalla, si pasan 30 minutos desde ese hecho y aún no se ha presionado ninguna tecla, el ADASH VIBRIO se apagará automáticamente.

Una vez encendido nuestro aparato podremos visualizar en la parte superior de la pantalla una cantidad de símbolos tal como se muestra en la siguiente imagen.



Comenzando de izquierda a derecha el primer símbolo nos indicará el volumen de salida para los audífonos, precisamente las barras de color amarillo nos indicarán el nivel de ese volumen. El segundo símbolo nos informará sobre el nivel de batería siendo el color verde del símbolo el indicativo del nivel, por ejemplo como se muestra en la imagen nos indica que la batería se encuentra cargada completamente. El tercer símbolo nos señala que se está realizando una medición de vibraciones, por ende este símbolo solo se mostrará cuando ello ocurra, en caso contrario no aparecerá el símbolo. Por último el símbolo final es de fácil interpretación, pues sólo nos indica el horario.

Luego de encendido el aparato, utilizamos las teclas de navegación que son las dos que se encuentran arriba de la tecla de encendido, debemos elegir una pantalla, es decir, presionaremos las teclas de navegación (cualquiera de las dos) y la pantalla que visualizamos irá cambiando según el tipo de medición que se pretende realizar. Cada pantalla que va apareciendo se encuentra sin valores y se irán completando con valores una vez que empezamos la medición de la bomba. La medición en el aparato se visualiza automáticamente y como ya se dijo, solo basta empezar a medir en la bomba y los resultados comenzarán a aparecer en la pantalla que hayamos escogido.

Dentro de las diferentes pantallas de medición que van apareciendo tenemos la llamada "Overall RMS values" (medición global de vibraciones), en la cual se nos indicará el estado global de la máquina. En esta pantalla podremos apreciar un dibujo de referencia y al lado de este dibujo se visualiza el nivel de vibraciones presentes en la bomba. Para un rango entre 10 Hz y 1000 Hz se mostrará el resultado en mm/seg en la parte superior de la pantalla, para un rango entre 0.5 KHz y 16 KHz se mostrará el resultado en g y se visualizará en la parte inferior de la pantalla. Estos resultados aparecerán en colores, ya sea verde, amarillo o rojo según la evaluación que el propio aparato haya realizado de forma interna, es decir, como el instrumento de medición se encuentra cargado con la Norma ISO 10816 en su memoria, al momento de realizar la medición va comprando inmediatamente el resultado aparecerá en color verde si se encuentra dentro de lo permitido por la norma, en color amarillo si está al límite de sobrepasar la norma y en color rojo si los límites que establece la norma con respecto al nivel de vibraciones han sido sobrepasados.

Esta es la pantalla que nosotros debemos utilizar para realizar las mediciones, sin embargo el instrumento posee otras pantallas en donde podremos medir la temperatura de la bomba y el valor peak de las vibraciones entre otras.

Después de haber seleccionado la pantalla de medición global de vibraciones, automáticamente el instrumento empezará el procedimiento de detección de velocidad y en la parte inferior de la pantalla se visualizará el progreso de ese procedimiento a través de una barra de color rojo que se irá completando a medida que vaya avanzando el proceso de detección. Cuando la detección finalice la barra desaparecerá y en su lugar se mostrará el valor de la velocidad detectada. Si nosotros sabemos el valor de velocidad de la bomba gracias a información del usuario y del fabricante, pero vemos que al detectarla automáticamente arroja un valor diferente, el instrumento nos da un tiempo de 4 segundos para confirmar la velocidad detectada, si vemos que es diferente entonces no la confirmamos y de esta manera podremos ingresar manualmente con las teclas de navegación el valor real de la velocidad. También

	PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN DE VIBRACIONES CON EQUIPO MEDIDOR DE VIBRACIONES			
	Código	Fecha de Revisión	Nº de Revisión	Página
	P-ATE-02	22-03-2016	00	5 de 7

tenemos la posibilidad de desactivar a través del Setup del instrumento la opción de detección automática de velocidad.
También si nos encontramos en la pantalla de la medición global de vibraciones (o cualquier otra), al pulsar el botón de encendido/apagado nos aparecerá en la parte inferior de la pantalla, un recuadro azul con tres opciones las cuales se denominan Menú, Save y Esc. Dentro de la opción menú nos encontraremos con distintas opciones tal y como lo muestra la siguiente imagen.



La primera opción del menú denominada "LIGHT" nos sirve para utilizar unas luces led que posee nuestro aparato en la parte superior (panel de conexiones), para acceder solo debemos posicionarnos en esta opción y presionar el botón de encendido/apagado para acceder, luego nos aparecen dos opciones, la primera es utilizar el aparato solamente como una linterna y la segunda opción nos sirve para utilizar la opción de estroboscopio en donde básicamente las luces empiezan a parpadear a razón de la frecuencia, es decir, podemos ajustar la cantidad de parpadeos a la cantidad de revoluciones a la que está girando en eje de la bomba lo que nos sirve para ver el objeto que se encuentra girando como si estuviera detenido y además para verificar la velocidad de giro del eje.
Las mediciones que nosotros realicemos en las bombas tendremos la opción de guardarlas en el instrumento a modo de compararlas para cuando realicemos mediciones a futuro a la misma bomba. La segunda opción del menú "MEMORY" nos da la opción de visualizar esas mediciones que hemos guardado con anterioridad, de borrar mediciones específicas o bien de borrar todos los datos almacenados en la memoria del aparato.
En la opción "VOLUMEN" al ingresar podremos controlar el nivel de ruido que deseamos escuchar, para ello lo controlaremos con las teclas de navegación aumentando o disminuyendo el nivel según se desee. Por último en nuestro menú aparece la opción de "SETUP" que al ingresar en ella nos muestra el siguiente sub-menú.



Al seleccionar la primera opción "SPEED" y tal como se ha mencionado anteriormente, tendremos la opción de activar la detección automática de la velocidad de giro o en su defecto tendremos la opción de desactivarla.
La opción "ALARMS" es muy importante puesto que en ella escogeremos a qué valor queremos que nos aparezcan las alarmas. Como se ha mencionado el ADASH VIBRIO viene cargado con la Norma ISO

	PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN DE VIBRACIONES CON EQUIPO MEDIDOR DE VIBRACIONES			
	Código	Fecha de Revisión	Nº de Revisión	Página
	P-ATE-02	22-03-2016	00	6 de 7

10816 y trae ya configurado sus niveles de alarma, no obstante podemos nosotros crear y cambiar nuestros propios niveles de alarma de acuerdo a tipo de máquina que vamos a medir, para ello nuestro instrumento nos permite crear hasta 4 niveles de alarma que pueden ser utilizados al momento de realizar la medición. Sin embargo lo más recomendable es no quedarse con la alarma que nos entregue el aparato, siempre debemos verificar el resultado de la medición con lo indicado en la tabla de la Norma ISO 10816. Para nuestro caso puntual siempre que midamos las vibraciones en las bombas, debemos verificar el resultado con lo especificado en la tabla de la Norma ISO 10816-3.
En la próxima opción del menú "MEASURE" podremos elegir el sistema de mediciones, teniendo dos opciones, el primero el sistema métrico decimal (mm/s) o bien el sistema Ingles (in/s).
Por último la opción "SET TIME" nos permitirá configurar la hora y la fecha de nuestro instrumento.

6.4 Verificar estado de las baterías

A diferencia de otros medidores de vibración que se deben cargar, el ADASH VIBRIO funciona con dos baterías las cuales van alojadas en su parte inferior. Cuando prendemos el instrumento de medición es importante verificar que el nivel de las baterías sea el suficiente para realizar una medición. El nivel de batería lo verificamos en la pantalla del instrumento tal como lo demuestra la siguiente imagen.



Un nivel adecuado para realizar una medición y no correr riesgos es igual o superior al 50%.

6.5 Conectar el sensor de vibración

Una vez seleccionado el sensor correcto que utilizaremos para la medición de vibraciones, debemos conectarlo al instrumento de medición. La conexión se realiza en la parte superior del instrumento y es de suma facilidad puesto que solo se deben hacer calzar los orificios que tiene la conexión en el instrumento con los pines del sensor. Los sensores vienen suministrados y calibrados desde fábrica por lo que solo debemos preocuparnos de conectarlo bien al instrumento. También es importante mencionar que junto al suministro del sensor viene también una especie de adaptador magnético el cual se conecta (vía rosca) con el sensor y ayuda a la fijación del sensor con la superficie de la máquina inspeccionada.

6.6 Comenzar con la medición de vibraciones

El sensor se debe colocar en los puntos de medición que fueron previamente seleccionados, para ello es recomendable que se utilice el adaptador magnético siempre a menos que sea un lugar de difícil acceso. Si se utiliza solamente el sensor los valores medidos no serán estables puesto que los valores medidos (o resultados) dependen considerablemente de la presión que ejerce el sensor con respecto al punto de medición, si se utiliza el adaptador magnético dicha presión será siempre constante y no se verá afectada por la intervención de personas como si lo haría si se mide sin el adaptador magnético. Conectar el sensor a la máquina ya sea con o sin el adaptador es una tarea sumamente sencilla puesto que no se necesita nada especial, es decir, ningún elemento de fijación ni nada por el estilo, solo basta colocar el

 PROSEAL	PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN DE VIBRACIONES CON EQUIPO MEDIDOR DE VIBRACIONES		
	Código	Fecha de Revisión	Nº de Revisión
	P-ATE-02	22-03-2016	00
			Página
			7 de 7

sensorsobre el punto de medición y afirmarlo con nuestras manos si no se utiliza adaptador magnético o en caso contrario solo dejarlo sobre el punto seleccionado y solo se adherirá por magnetismo.

6.7 Medición de la temperatura

Paralelamente a la medición de las vibraciones el ADASH VIBRIO así como también la mayoría de los instrumentos de medición de vibraciones se encuentra midiendo la temperatura de la máquina, esta medición la realiza a través de un sensor infrarrojo el cual se encuentra ubicado en la parte superior a un costado de la conexión del sensor. La medición de la temperatura se realiza automáticamente y será mayor la precisión si se hace a una distancia entre 10 a 20 cms. de la superficie de la máquina. Entonces cuando nos encontramos midiendo las vibraciones también estaremos midiendo la temperatura directamente con el instrumento de medición el cual debemos direccionar hacia la superficie de la máquina en donde se encuentran los puntos de medición. En la pantalla del ADASH VIBRIO se mostrará el resultado de la temperatura en grados Celsius y en grados Fahrenheit además estos resultados se mostrarán en colores según la temperatura medida, menos de 30 °C el color será verde, entre 30-45 °C será amarillo, entre 45-60 °C será naranja, entre 60-75 °C será rojo y finalmente superior a los 75 °C el color que aparecerá será rojo oscuro.

6.8 Evaluación del estado de la máquina inspeccionada

Como en esta ocasión estamos describiendo el paso a paso de la medición de vibraciones con instrumentos medidores de vibración, la evaluación resulta mucho más sencilla de realizar. Debemos tener en cuenta y como ya se ha mencionado, que un medidor de vibraciones se utilizará cuando se necesite controlar y verificar en un momento determinado el nivel de vibraciones presente en una máquina. En el caso particular del ADASH VIBRIO la evaluación de la medición que hemos realizado viene por la norma ISO 10816 que este instrumento trae cargado en su memoria interna, es decir, el aparato viene con alertas pre-determinadas o bien las alertas las pueden definir las mismas personas que utilizaran el instrumento. A pesar de que el ADASH VIBRIO nos muestra los distintos mensaje de alerta, no debemos quedarnos solo con esa alarma, es recomendable que tomemos en cuenta solo el valor de la medición y no el color, ese valor lo debemos comparar directamente con la tabla de la norma ISO 10816-3 que es la norma que rige para bombas centrífugas y de esta manera nos aseguraremos del real estado de la máquina.

ANEXO D: PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN CON EQUIPO ANALIZADOR DE VIBRACIONES



PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN DE VIBRACION CON EQUIPO ANALIZADOR DE VIBRACIONES

Código	Fecha de Revisión	Nº de Revisión	Página
P-ATE-03	22-03-2016	00	1 de 8

1. OBJETIVOS

En el presente documento explicará detalladamente el paso a paso que se debe seguir cuando deseamos medir y analizar vibraciones en bombas centrífugas.

2. ALCANCE

Este procedimiento es aplicable a la Gerencia Técnica y Gerencia Comercial, en el caso de Gerencia técnica se aplica a Departamento de Faena, en el caso de Gerencia Comercial se aplica a Departamento de Posventa.

3. RESPONSABILIDADES

Cargo	Responsabilidad
Sub Gerente de Servicios	Es el responsable de hacer cumplir los requerimientos de este documento.
Jefe de Posventa	Planificación de trabajos a realizar para las puestas en Marcha de las bombas.
Jefe de Cuadrillas	Planificación de trabajos a realizar para personal de faena.
Ingeniero de Posventa	Realizar las mediciones de vibraciones, temperatura, control de condiciones operacionales y dejar registro de los resultados obtenidos para la puesta en marcha de las bombas.
Supervisor de Faena	Realizar mantenimiento correctivo y asistencia en la puesta en marcha para bombas que se encuentran en faena.

ELABORADO POR	REVISADO POR	AUTORIZADO POR
Mario Stokebran	Sebastián Canales	Patricio Alfaro
Asistente Técnico Comercial	Representante de Gerencia	Gerente General



PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN DE VIBRACION CON EQUIPO ANALIZADOR DE VIBRACIONES

Código	Fecha de Revisión	Nº de Revisión	Página
P-ATE-03	22-03-2016	00	2 de 8

4. TERMINOS Y DEFINICIONES

Bomba: es una máquina capaz de transformar la energía mecánica en energía hidráulica. Logrando así transportar el fluido desde un lugar a otro.

5. REFERENCIAS

M-SGC-01 Manual SGC de PROSEAL
Norma ISO 9000:2005: Sistemas de Gestión de la Calidad - Fundamentos y Vocabulario.
Norma ISO 9001:2008: Sistemas de Gestión de la Calidad - Requisitos.
P-ATE-01: Guía para la medición de vibraciones en bombas centrífugas

 PROSEAL	PROCEDIMIENTO DE MEDICION DE VIBRACION CON EQUIPO ANALIZADOR DE VIBRACIONES		
	Código	Fecha de Revisión	N° de Revisión
	P-ATE-03	22-03-2016	00
			Página
			3 de 8

6. PROCEDIMIENTO DE MEDICION

6.1 Introducción

El procedimiento que se explicara será uno general y que es aplicable a cualquier analizador de vibraciones. Si bien el procedimiento de medición es muy similar al procedimiento del medidor de vibraciones, el analizador tiene pasos extras que justamente tienen que ver la etapa de análisis y es de suma importancia que todo el personal esté preparado para manejar distintos tipos de instrumentos. Como en el documento "Guía para la medición de vibraciones en bombas centrífugas" se explicaron los pasos generales previos a realizar la medición en sí, acá solo explicaremos detalladamente desde el comienzo de la medición hasta el punto final en donde se interpretan los datos o resultados obtenidos.

6.2 Conocer los instrumentos analizadores de vibración

Los instrumentos analizadores de vibración son estéticamente parecidos a los instrumentos medidores de vibración, son un poco más grandes de tamaño y se componen generalmente de un teclado, una pantalla y un panel de conexiones. El teclado se encuentra en la parte frontal del instrumento y poseen más botones que los medidores de vibración, la cantidad de botones dependerá exclusivamente de la marca y modelo del analizador que utilizaremos, debemos tener en cuenta que principalmente desde el teclado podemos encender y apagar nuestro aparato además de navegar por las distintas opciones que nos ofrecerá el instrumento. La pantalla también se encuentra en la parte frontal del instrumento, en su parte superior, acá podremos visualizar principalmente los resultados de las mediciones que realicemos en las bombas que serán objeto de nuestra inspección. Además y al igual que con los aparatos medidores de vibración en la pantalla podremos visualizar otros resultados como son los resultados de la velocidad de rotación, la temperatura, entre otros. El panel de conexiones en estos instrumentos suele ubicarse en la parte superior y en la parte inferior del teclado, esto varía dependiendo del instrumento que utilizemos pero generalmente la distribución es la siguiente, en la parte inferior encontraremos dos conexiones, una para conectar el cargador y la otra para la conexión del cable de transferencia de datos que puede ser una entrada USB o bien una entrada VGA. En la parte superior generalmente los aparatos tienen entradas para conectar el sensor de vibraciones, el sensor para la medición de velocidad de rotación y en algunos casos el sensor de temperatura y una entrada para conectar audífonos. Cabe mencionar y recordar que este instrumento además de realizar la medición de vibraciones, tiene la particularidad que además analiza estos resultados obtenidos haciéndola ideal para utilizarla cuando queremos realizar un plan de mantenimiento.

6.3 Identificar los accesorios del instrumento

Los instrumentos analizadores de vibración cuentan con más accesorios de los que tienen los instrumentos medidores de vibraciones, así en un analizador nos encontramos además del aparato en sí, con un sensor de vibración y una punta magnética que se enrosca al sensor para una mejor adhesión a la bomba a medir, también tenemos en la gran mayoría de los casos un sensor que nos servirá para la medición de la velocidad de rotación y una base magnética para la sujeción de este sensor. El sensor de temperatura en muchas ocasiones viene integrado al instrumento analizador, aunque hay algunos instrumentos que lo traen aparte y se debe conectar. Además de todo lo anteriormente mencionado algunos instrumento traen la opción de conectar unos audífonos y por ende traen entre sus accesorio los audífonos que se conectan al aparato. Por último y para realizar el análisis de los resultados obtenidos, estos instrumentos cuentan con un cable USB o VGA que servirá para transferir los datos del instrumento a un computador y también para trabajar con estos resultados (en su interpretación y medidas a adoptar) vienen con un software propio de cada instrumento analizador que se debe instalar en un computador para posteriormente trabajar con los resultados obtenidos en la medición.

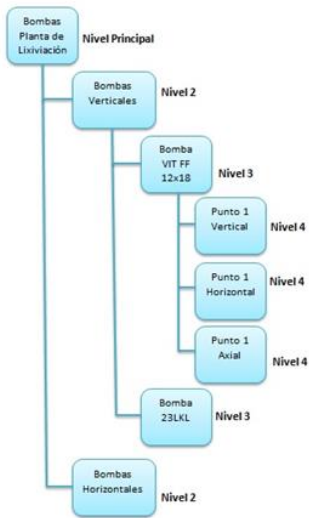
 PROSEAL	PROCEDIMIENTO DE MEDICION DE VIBRACION CON EQUIPO ANALIZADOR DE VIBRACIONES		
	Código	Fecha de Revisión	N° de Revisión
	P-ATE-03	22-03-2016	00
			Página
			4 de 8

6.4 Instalación del software

En este paso simplemente se instalara el software que viene con el instrumento analizador en un computador y para ello debemos hacerlo como lo hacemos cuando instalamos otros programas, es decir, se introduce el CD en el computador y luego nos guiamos con el asistente de instalación hasta que el programa haya sido instalado. Cabe destacar que cada software es único para cada marca y modelo de instrumentos.

6.5 Crear ruta de medición

Un paso fundamental que debemos realizar cuando ocupamos un instrumento analizador de vibraciones es crear la ruta de medición. La ruta de medición hace referencia a un recorrido que deberemos establecer para realizar la medición en dicho recorrido un número de veces que nosotros debemos determinar (el recorrido y el número de veces se definen en un plan de mantenimiento). La ruta de medición o configuración se debe crear directamente en el programa instalado en nuestro computador y siempre se conforman por 4 niveles. Cada configuración consta de cuatro niveles y para crear estos niveles debemos buscar en la barra de herramientas del programa algún icono que nos indique "Crear una nueva entrada" o bien algo parecido, de esta forma se creará el primer nivel o nivel principal. Para crear los siguientes niveles marcamos el nivel anteriormente creado y buscamos en la barra de herramientas algún icono que indique "Insertar nuevo subpunto" o algo similar, así se creará el segundo nivel. Hacemos este mismo procedimiento para generar los niveles restantes. El nivel principal de la ruta de medición llevará el nombre del sistema que será objeto de nuestro análisis, de él derivara un segundo nivel que pueden ser el tipo de máquinas que vamos a medir, luego crearemos un tercer nivel en el cual se describirán las máquinas específicas a medir y por último un cuarto nivel serán los puntos de medición de las máquinas descritas en el tercer subnivel. A modo de mejor entendimiento a continuación se presentará un ejemplo de una ruta de medición para un sistema determinado. Supongamos que nos encontramos a cargo del mantenimiento predictivo de las bombas centrífugas de una planta de lixiviación de un cliente minero, el primer nivel o nivel principal será nuestro sistema de bombas centrífugas en la planta de lixiviación, es decir, todas las bombas que se encuentran en dicha planta. En el segundo nivel incluiremos todos los tipos de bombas que hay en nuestro sistema, por ejemplo bombas horizontales, verticales, sumergibles, etc. El tercer nivel corresponderá a las bombas específicas que existen dentro de los distintos tipos de bombas especificados en el nivel dos, por ejemplo dentro de las bombas verticales podemos tener una bomba VIT FF, una bomba 23LKL, etc. El último nivel nos indicará siempre los puntos de medición de cada bomba, así podemos nombrar en el nivel 4 los puntos de medición por ejemplo de la bomba 23LKL quedando, "Punto 1, Vertical", "Punto 2, Vertical", etc. Lo anteriormente explicado se presenta en la siguiente imagen.



6.6 Preparar puntos de medición

Como se mencionó recientemente el último nivel o cuarto nivel corresponderá siempre a los puntos de medición de las bombas o bien otra máquina que estemos inspeccionando dentro del sistema. Después de haber creado nuestra configuración lo que debemos hacer es preparar los puntos de medición, para ello al marcar cada punto de medición, en el lado derecho del programa aparecerá una ventana en la cual deberemos ingresar datos según nuestras necesidades de medición. Generalmente en los distintos programas de los analizadores de vibraciones podremos encontrar tres pestañas que se pueden visualizar en esta ventana. En una de estas pestañas se podrán escribir mensajes del punto de medición los cuales se visualizarán en el instrumento analizador. Otra pestaña nos mostrará los resultados de las mediciones realizadas en dicho punto. La última pestaña será la de configuración del punto de medición, acá básicamente debemos ingresar los valores de alarma y de pre-alarma los cuales se visualizarán en el instrumento con un mensaje de alerta si estos valores han sido sobrepasados.

6.7 Verificar estado de las baterías

Una vez tengamos todos los puntos de medición preparados en nuestro programa, trabajaremos en la medición de las vibraciones con nuestro instrumento, para ello es fundamental verificar el estado de las baterías las cuales deberán estar cargadas por encima del 50% de su capacidad para asegurarnos de una medición fluida sin que tengamos que parar o acelerar nuestro trabajo debido a que nuestro instrumento se pueda apagar.

6.8 Transferir datos al instrumento analizador

El siguiente paso consiste en transferir la ruta de medición que hemos creado en el programa a nuestro instrumento analizador, para ello debemos conectar el cable de transferencia de datos al instrumento y luego conectarlo también a nuestro computador. Si buscamos en nuestro programa en la barra de herramientas o en el menú, según corresponda, nos encontraremos con una opción que dice "Transferir configuración" o bien "Importar configuración" o algo similar todo dependiendo de la marca y modelo del instrumento que estemos utilizando. Cuando le damos click a la opción mencionada, automáticamente comenzará la transferencia de la configuración a nuestro aparato, proceso que puede ser breve o bien tardar unos minutos dependiendo de lo extensiva de nuestra ruta de medición.

6.9 Conectar los sensores

La gran mayoría de los instrumentos analizadores de vibración cuentan con el sensor de vibración, el sensor para identificar la velocidad de rotación y además integrado un sensor de temperatura. Generalmente los sensores se conectan en la parte superior del instrumento y para ambos casos es de suma sencillez pues solo debemos hacer calzar los orificios de conexión del instrumento con los pines de los sensores. Cuando tenemos todos los sensores conectados al instrumento, es momento de ubicarlos en los puntos de medición de las bombas que fueron previamente seleccionados, de esta manera el sensor de vibraciones irá en su punta unido con un tipo de adaptador magnético el cual debemos fijar directamente en el punto de la bomba a medir. El sensor que nos indica la velocidad de rotación a diferencia del sensor de vibraciones, no se coloca directamente en la bomba, se debe poner a una distancia de unos 10 a 15 centímetros con respecto al elemento giratorio que se está midiendo (en el caso de la bomba será el eje), para no sostener el sensor con la mano debemos utilizar una base magnética que se adherirá a una superficie fija de la bomba para que así pueda sostener el sensor y no ocurra error en la lectura. Por último el sensor de temperatura viene muchas veces integrado al instrumento y para este caso solo debemos apuntar con nuestro instrumento a la bomba para que se realice la medición de temperatura.

6.10 Iniciar la medición de vibraciones

Ahora que contamos con toda la configuración de la ruta, la conexión de los sensores y la elección de los puntos de medición, ya podemos iniciar la a medir el nivel de vibraciones con nuestro instrumento analizador. Para comenzar, en nuestro instrumento deberemos seleccionar el punto de medición que se pretende medir, para ello ingresaremos en el menú de nuestro instrumento y seleccionaremos la opción que nos permite realizar un monitoreo de estado, cuando la seleccionamos nos darán la opción de realizar una medición de un punto independiente o bien si queremos realizar la medición de la ruta que creamos. Si escogemos esta última opción, debemos seleccionar la opción iniciar medición, de esta manera se estará realizando la medición de vibraciones del primer punto de nuestra configuración. Una vez terminada la medición del punto, los resultados irán apareciendo instantáneamente en la pantalla de nuestro aparato, luego de eso comenzamos con la medición del segundo punto y así hasta terminar

	PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN DE VIBRACION CON EQUIPO ANALIZADOR DE VIBRACIONES			
	Código	Fecha de Revisión	N° de Revisión	Página
	P-ATE-03	22-03-2016	00	7 de 8

nuestra ruta. En nuestro aparato el punto que ya fue medido lo podremos visualizar con un color diferente a los demás o bien con un símbolo de un ticket, según sea el instrumento que estemos utilizando.

Cabe recordar que estos instrumentos de medición se utilizan para planes de mantenimiento, por ello las mediciones en cada punto de cada bomba se deben realizar un número de veces y cada un tiempo que fue previamente determinado en el plan de mantenimiento. Cuando terminamos de medir todos los puntos de todas las bombas podemos decir que hemos cumplido con un recorrido.

6.11 Traspasar los datos medidos al programa

En esta ocasión debemos realizar la acción inversa a la hecha en pasos anteriores, es decir, debemos traspasar los datos de los puntos que hemos medidos y que han quedado almacenados en nuestro instrumento analizador hacia el programa que se encuentra instalado en un computador. Para ello debemos realizar esa acción directamente en el programa, en su menú o barra de herramientas debemos buscar alguna opción que diga exportar datos medidos o bien traspasar datos medidos, una vez identificado y seleccionado la esa opción la transferencia de los datos empezara automáticamente y nos avisara cuando se haya completado. Esta acción generalmente dura un par de minutos debido a la gran cantidad de información que se está traspasando.

6.12 Evaluación del estado de la bomba inspeccionada

La evaluación del estado de la bomba en un analizador de vibraciones consta de dos casos, el primer y tal como sucede con el caso de los medidores de vibración, el analizador puede realizar una medición de un punto y momento determinados solo para saber si en ese momento se cumple con la normativa, la lectura y la evaluación es ese momento es fácil puesto que también los analizadores vienen cargados por defecto con la Norma ISO 10816, entonces cuando realizamos la medición y obtenemos un resultado automáticamente se compararan con los parámetros que establece la Norma ISO 10816 y nos mostrara en pantalla un mensaje informándonos si nuestra bomba se encuentra en buen estado, en estado de pre alarma o con estado de alarma.

En el segundo caso podemos usar nuestro instrumento como analizador de vibraciones y es así como lo debiéramos utilizar siempre pues con ese fin fue creado. Al momento de realizar las mediciones en los puntos de las bombas, los resultados obtenidos irán apareciendo en la pantalla de forma inmediata y además se guardarán en la memoria de nuestro instrumento. Como los puntos de medición integran una ruta de medición, cada vez que hayamos medido todos los puntos de todas las bombas de nuestro sistema, es decir, cuando hemos cumplido con un recorrido, todos los datos de medición de vibraciones obtenidos se deben transferir al programa, esto se debe hacer nuevamente cuando se completa el segundo recorrido y así sucesivamente hasta cumplir con el número de recorridos definidos en el plan de mantenimiento.

Cuando traspasamos todos los datos de un recorrido, podemos analizar punto por punto como se encontraba el nivel de vibraciones y así para cada bomba definir su estado. Pero la gran finalidad de utilizar los instrumentos analizadores de vibraciones es otra, la finalidad es comparar resultados y mostrar tendencias. Para ello transferimos al programa el segundo recorrido, luego el tercero y así hasta llegar al recorrido final establecido, de esta manera podemos comparar resultados y gráficos para cada punto de medición y establecer una tendencia, por ejemplo vemos que el nivel de vibración aumenta levemente para cada recorrido, entonces hacemos los estudios del caso y determinamos para que fecha aproximada la bomba podría fallar, esto nos permitirá planificar nuestra mantención y que el tiempo no productivo de la bomba sea el menor posible. De esta forma se debe trabajar con cada bomba, comparando todos los resultados obtenidos de sus puntos de medición a través del tiempo determinado en el plan de mantenimiento, analizar los resultados, verificar tendencias y establecer fechas aproximadas a la falla del equipo para programar de manera eficaz su mantención.

	PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN DE VIBRACION CON EQUIPO ANALIZADOR DE VIBRACIONES			
	Código	Fecha de Revisión	N° de Revisión	Página
	P-ATE-03	22-03-2016	00	8 de 8

Los instrumentos analizadores son de gran ayuda para esta tarea pues en muchos casos nos permiten sacar informes de tendencias y gráficos para que personal calificado pueda estudiarlos y tomar las medidas predictivas y/o correctivas correspondientes.

ANEXO E: CAUSAS Y SOLUCIONES DE LOS ALTOS NIVELES DE VIBRACIONES EN BOMBAS

**PROSEAL**

CAUSAS Y SOLUCIONES DE LOS ALTOS NIVELES DE VIBRACION EN BOMBAS

Código	Fecha de Revisión	N° de Revisión	Página
P-ATE-04	22-03-2016	00	1 de 8

1. OBJETIVOS

El presente documento informará sobre posibles causas que generan vibraciones en bombas centrífugas y cuáles pueden ser las soluciones para evitarlas.

2. ALCANCE

Este procedimiento es aplicable a la Gerencia Técnica y Gerencia Comercial, en el caso de Gerencia técnica se aplica a Departamento de Faena, en el caso de Gerencia Comercial se aplica a Departamento de Posventa.

3. RESPONSABILIDADES

Cargo	Responsabilidad
Sub Gerente de Servicios	Es el responsable de hacer cumplir los requerimientos de este documento.
Jefe de Posventa	Planificación de trabajos a realizar para las puestas en Marcha de las bombas.
Jefe de Cuadrillas	Planificación de trabajos a realizar para personal de faena.
Ingeniero de Posventa	Realizar las mediciones de vibraciones, temperatura, control de condiciones operacionales y dejar registro de los resultados obtenidos para la puesta en marcha de las bombas.
Supervisor de Faena	Realizar mantenimiento correctivo y asistencia en la puesta en marcha para bombas que se encuentran en faena.

ELABORADO POR Mario Stokebran Asistente Técnico Comercial	REVISADO POR Sebastián Canales Representante de Gerencia	AUTORIZADO POR Patricio Alfaro Gerente General
--	---	---

**PROSEAL**

CAUSAS Y SOLUCIONES DE LOS ALTOS NIVELES DE VIBRACION EN BOMBAS

Código	Fecha de Revisión	N° de Revisión	Página
P-ATE-04	22-03-2016	00	2 de 8

4. TERMINOS Y DEFINICIONES

Bomba: es una máquina capaz de transformar la energía mecánica en energía hidráulica. Logrando así transportar el fluido desde un lugar a otro.

Impulsor o Rodete: es un elemento mecánico situado dentro de un tazón y es el encargado de impulsar el fluido desde un punto a otro.

Carcasa / Tazón: corresponde a la estructura exterior de la bomba. Permite dar direccionamiento al fluido transportado.

Eje: Elemento capaz de transmitir movimiento desde el motor eléctrico al impulsor

Acoplamiento: pieza mecánica ubicada entre los ejes, permitiendo transmitir el movimiento de un eje a otro.

Sello mecánico: Elemento mecánico que permite aislar el fluido bombeado con el exterior de la bomba.

Rodamiento: Elemento mecánico que aseguran un enlace móvil entre dos elementos de un mecanismo, uno que se encuentra en rotación con respecto a otro; siendo su función principal el de permitir la rotación relativa de dichos elementos bajo carga, con precisión y con un rozamiento mínimo

5. REFERENCIAS

M-SGC-01 Manual SGC de PROSEAL
Norma ISO 9000:2005: Sistemas de Gestión de la Calidad - Fundamentos y Vocabulario.
Norma ISO 9001:2008: Sistemas de Gestión de la Calidad - Requisitos.

	CAUSAS Y SOLUCIONES DE LOS ALTOS NIVELES DE VIBRACIÓN EN BOMBAS			
	Código	Fecha de Revisión	Nº de Revisión	Página
	P-ATE-04	22-03-2016	00	3 de 8

6. CAUSAS Y SOLUCIONES A LOS ALTOS NIVELES DE VIBRACIONES

6.1 Introducción

Las vibraciones pueden ser causadas por varias condiciones que pueden actuar por separado o en combinación, dichas condiciones pueden ser de origen mecánico o bien de origen hidráulico. Cuando personal de Proseal asiste a las puestas en marcha de las bombas, al momento de la verificación de los parámetros muchas veces se pueden encontrar con un nivel de vibraciones por encima de la norma. El objetivo de este documento es ser una ayuda para que nuestro personal pueda identificar más fácilmente cual puede ser el problema y de esta manera dar respuestas rápidas a nuestros clientes.

6.2 Desbalanceo del Rodete

Unas de las principales causas que generan vibraciones en bombas y también en la mayoría de los equipos rotativos es el desbalanceo. El rodete se encontrará desbalanceado cuando su centro de masa (centro de gravedad) no sea coincidente con su centro geométrico o centro de rotación. Básicamente este problema se presenta cuando los rodets vienen con problemas desde fábrica debido a la mala fundición del rodete. Una forma de reconocer que nos encontramos frente a problemas de desbalanceo es que al momento de realizar las mediciones de vibraciones, encontraremos un gran nivel de vibraciones en sentido Axial como también en sentido Radial (vertical y horizontal). En el caso de Proseal, el desbalanceo se puede presentar cuando reparamos bombas interviniendo varios componentes incluidos el rodete.

Solución

La solución es que antes de montar el rodete en la bomba, éste sea balanceado con una máquina especializada para tal efecto (máquina balanceadora). Si se detectan problemas de balanceo del rodete lo más recomendable es que la bomba sea desmontada nuevamente y enviada a los talleres de Proseal para proceder con el balanceo y posterior montaje adecuado del rodete.

6.3 Desalineamiento

Se dice que dos elementos de máquinas se encuentran desalineados cuando los ejes de la parte conductora y conducida no tienen la misma línea de centro. En el caso de las bombas este desalineamiento se da entre el eje del motor y el eje de la bomba y puede ser del tipo paralelo, del tipo angular o bien una combinación de ambos. Uno de los indicios más importantes que nos indica que estamos frente a problemas de desalineamiento es la presencia de una elevada vibración en ambos sentidos. En general, cada vez que la amplitud de la vibración axial sea mayor que la mitad de la lectura radial más alta, hay un buen motivo para sospechar la existencia de un problema de alineamiento. Si bien existen variadas causas que pueden generar desalineamiento entre el eje del motor y el eje de la bomba, las principales o las que debemos poner más atención cuando nos encontremos en la puesta en marcha de una bomba son problemas con el acople que no logra satisfacer la colinealidad de los ejes de los equipos y también problemas con la base de la bomba la cual puede estar sobre cimientos poco firmes sumado también a que los pernos de anclaje no se hayan puesto de forma correcta.

	CAUSAS Y SOLUCIONES DE LOS ALTOS NIVELES DE VIBRACIÓN EN BOMBAS			
	Código	Fecha de Revisión	Nº de Revisión	Página
	P-ATE-04	22-03-2016	00	4 de 8

Solución

Para dar solución a problemas de falta de alineamiento o más bien para prevenirlos lo que debemos hacer una vez que hemos montado la bomba, es verificar el alineamiento antes de ponerla en marcha, para esto utilizamos instrumentos especializados para tal fin los cuales pueden ser relojes comparadores o bien con un alineador láser. Otro forma de disminuir el desalineamiento es utilizar acoples flexibles los cuales compensan el desalineamiento y disminuyen los niveles de vibración. Si nos encontramos frente a problemas de desalineamiento cuando estamos haciendo la puesta en marcha de un equipo, no es necesario que la bomba sea devuelta a los talleres de Proseal, lo que se debe hacer es verificar cual puede ser la causa de ese desalineamiento, luego desmontar la bomba, solucionar el problema y realizar el montaje nuevamente siempre verificando el alineamiento con los instrumentos antes mencionados.

6.4 Roca entre caras rotativa y estacionaria del sello mecánico

Otra causa de vibración que nos podemos encontrar en una bomba centrífuga, es debido al roce entre las caras estacionaria y rotativa del sello mecánico. La cara estacionaria del sello se mantiene fija junto a la carcasa de la bomba, en cambio la cara estacionaria gira solidariamente junto al eje. Entre estas dos caras debe pasar un película muy delgada de fluido que está impulsando la bomba actuando así como una especie de lubricante, cuando el sello mecánico viene defectuoso desde fábrica no circula fluido entre las caras por las que éstas tienen contacto directo provocando un gran desgaste entre ellas y transmitiendo una alta vibración a toda la bomba.

Solución

Cuando se provoca vibración debido al roce de las caras del sello mecánico lo que debemos hacer es detener el funcionamiento de la bomba y cambiar el sello mecánico, es por ello que dentro de los repuestos recomendados para la puesta en marcha siempre vienen los sellos mecánicos puesto que existe una gran posibilidad que vengan defectuosos y la manera más sencilla y más rápida de solucionar el problema es cambiarlo.

6.5 Rodamientos defectuosos

Encontraremos un alto nivel de vibraciones cuando los rodamientos se encuentran defectuosos, pero generalmente estos rodamientos fallan a causa de otras fuerzas o circunstancias, es decir, el alto nivel de vibraciones provocado por la falla de rodamientos nos indica que hay otro factor que causa la falla y por ende el alto nivel de vibraciones, por ejemplo podemos tener rodamientos que fallan debido a carga excesiva, falta de alineamiento, defectos en los asientos del eje, etc. Así como también podemos tener rodamientos que fallan exclusivamente por mala manipulación, en tal sentido nos encontraremos con rodamientos que fallan por una mala lubricación, montaje defectuoso y ajuste incorrecto entre otras causas. La vibración generada por el rodamiento normalmente no es transmitida a otros puntos de la bomba. Por lo tanto, el rodamiento defectuoso es generalmente el que se encuentra más cerca del punto donde ocurre el mayor nivel de vibración de este tipo.

	CAUSAS Y SOLUCIONES DE LOS ALTOS NIVELES DE VIBRACIÓN EN BOMBAS			
	Código	Fecha de Revisión	Nº de Revisión	Página
	P-ATE-04	22-03-2016	00	5 de 8

Solución

Para solucionar los altos niveles provenientes de los rodamientos defectuosos debemos parar el funcionamiento de la bomba y desarmarla para sustraer los rodamientos dañados y reemplazarlos, además debemos identificar si el daño de los rodamientos se produjo por mala manipulación o por causa de otra circunstancia para erradicar la causa real de raíz.

6.6 Aflojamiento mecánico

Cuando hablamos de aflojamiento nos referimos a elementos mecánicos de unión que no se encuentran con el apriete correspondiente. Cuando lo anterior ocurre en nuestras mediciones podemos encontrar niveles de vibraciones por encima de lo permitido. Básicamente esto se da en los pernos de anclaje de la base con los cimientos y los pernos de la bomba y el motor con la base.

Solución

Para que esto no suceda, antes de la puesta en marcha de la bomba debemos cerciorarnos de que todos los pernos involucrados en el montaje de la bomba se encuentren con el apriete correcto para evitar que la bomba vibre por esa razón. Si nos encontramos con un alto nivel de vibraciones y la causa efectivamente es el aflojamiento mecánico, sólo basta que en el mismo lugar donde está instalada la bomba realicemos nuevamente un apriete de todos los pernos correspondientes.

6.7 Roce entre parte estacionaria y parte rotativa de la bomba

Para entender la causa de vibraciones por roce entre partes estacionaria y parte rotativa de la bomba, primero debemos entender cuáles son las partes anteriormente mencionadas. La parte estacionaria se encuentran todos los elementos que permanecen estáticos pero cuando hablamos de parte estacionaria nos referimos principalmente a la carcasa y al difusor. Por el contrario cuando hablamos de parte rotativa y tal como la palabra lo indica se refiere a las partes de la bomba que realizan un movimiento giratorio, así en la parte rotativa de la bomba tenemos eje, rodete, inducer, entre otros.

El roce entre las partes rotativa y estacionaria de la bomba se da principalmente entre el rodete y la carcasa. Esto ocurre generalmente cuando el rodete no ha sido bien montado en la bomba o bien cuando se deja con un diámetro mayor al exigido o con tolerancias elevadas por sobre lo especificado en los planos. Este roce hará que las partes se desgasten prematuramente y que se genere un alto nivel de vibraciones en toda la bomba.

Solución

Para evitar que lo anterior ocurra debemos realizar la prueba de giro libre, es decir, al momento de realizar el armado de la bomba en nuestros talleres debemos verificar que el eje junto al rodete giren sin problemas cuando los movemos de forma manual, esto nos indicará que el armado y el mecanizado del rodete ha sido realizado de manera correcta y no existe ningún tipo de roce con la carcasa. Al llegar a la puesta en marcha es importante que nuevamente realicemos la prueba de giro libre, puesto que en el traslado de la bomba y su posterior montaje se pudo haber afectado el rodete, es por ello que nuevamente debemos realizar la prueba para asegurarnos que todo sigue bien y así evitarnos que la bomba vibre debido a esta razón.

	CAUSAS Y SOLUCIONES DE LOS ALTOS NIVELES DE VIBRACIÓN EN BOMBAS			
	Código	Fecha de Revisión	Nº de Revisión	Página
	P-ATE-04	22-03-2016	00	6 de 8

6.8 Problemas con rodete

Los problemas que tengamos con el rodete generalmente conllevan a vibraciones en la bomba, aunque en realidad de los problemas que tengamos con el rodete se derivan otros problemas que son causantes directos de las vibraciones. Los problemas que podemos tener con el rodete pueden ser una mala fundición, mal mecanizado, dimensiones y tolerancias fuera de las indicadas en los planos. Estas junto a otros defectos del rodete nos llevarán a tener en nuestra bomba, problemas de desgaste, de roce, desprendimiento o destrucción de elementos internos lo que conllevará a vibraciones.

Solución

Es importante por ello respetar las dimensiones y tolerancias indicadas en los planos, las recomendaciones del fabricante con respecto a la manipulación y montaje del rodete además se aseguramos de su correcta fundición y posterior maquinado para que de esta manera podemos evitar en gran parte que se generen vibraciones en la bomba.

6.9 Giro en el sentido incorrecto

En las bombas con motores trifásicos es necesario verificar el correcto sentido de giro del impulsor (sentido horario). Si la bomba gira en sentido contrario el funcionamiento de la unidad no será el indicado en la curva característica, además, el tornillo de fijación pierde su ajuste de rosca derecha, permitiendo que el impulsor roce con la carcasa causando un desgaste severo de estos elementos, además que no comprima apropiadamente el sello inferior, causando esto el derrame del aceite de la cámara de sellos y posterior ingreso de líquido a dicha cámara. El sentido de giro del impulsor debe coincidir con el sentido indicado por la flecha curva situada en la parte superior de la carcasa del motor.

Solución

Para prevenir esta situación, se debe encender la bomba e inspeccionar visualmente el sentido de giro del impulsor antes que este se detenga. El torque de arranque del motor genera una reacción instantánea e inversa al sentido de giro de la bomba (la bomba rota en sentido contrario al sentido de giro del motor). Si el sentido de giro es el correcto, la bomba está lista para su instalación, de lo contrario, se debe invertir la posición de dos líneas de potencia en el contactor de la bomba. Cuando existe este tipo de problemas, lo que debemos hacer es identificarlo pero no intervenir puesto que esa tarea corresponde al personal eléctrico y no al mecánico que al no contar con la experiencia puede sufrir algún accidente.

6.10 Problemas en los cimientos

Es importante que los cimientos en donde la bomba será instalada sean firmes y parejos. Muchas veces nos encontramos que al momento de montar la base de la bomba en los cimientos, éstos se encuentran dispares por lo que la base también queda dispareja pudiendo producir problemas de alineamiento que conllevarán a futuras vibraciones. Además nos podemos encontrar con cimientos poco firmes entonces cuando instalemos la base de la bomba los cimientos pueden empezar a ceder lo que lo que también llevará a problemas de desalineamiento, desbalanceo y roce de componentes provocando en todos los casos altos niveles de vibraciones en la bomba. Otra cosa que debemos tener en cuenta en que los pernos que utilizamos para anclar la base a los cimientos, deben ser los correctos y deben quedar bien sujetos ya que un apriete incorrecto hará vibrar toda la bomba.

	CAUSAS Y SOLUCIONES DE LOS ALTOS NIVELES DE VIBRACION EN BOMBAS			
	Código	Fecha de Revisión	N° de Revisión	Página
	P-ATE-04	22-03-2016	00	7 de 8

Solución

Para dar solución a los problemas concimiento lo que debemos hacer es verificar el estado de éstos (su rectitud, su fortaleza, etc.) antes de montar la bomba, solo así nos podemos asegurar que no tendremos problemas. Para el caso de los pemos de anclaje o fijación, para darle el apriete correspondiente, éste se debe hacer con una herramienta diseñada para tal efecto es por ello que utilizaremos una llave dinamométrica (o llave de torque) que gracias a unos cálculos previos nos permitirá dar el apriete indicado.

6.11 Cavitación

Un tema de suma importancia en relación a las bombas centrífugas es el tema de la cavitación. Esta es una causa hidráulica que se da por distintos motivos pero antes de mencionarlos es importante que entendamos bien a que nos referimos con cavitación.

La cavitación hace referencia a un fenómeno que se produce cuando el fluido en algún punto dela corriente desciende hasta llegar o alcanzar su presión de vapor, dicho en otras palabras, cuando un líquido fluye a través de una zona donde la presión es menor que su presión de vapor, el líquido hierve y forma burbujas de vapor. Estas burbujas son transportadas por el líquido hasta llegar a una zona de mayor presión, donde el vapor regresa a estado líquido, de manera repentina, explosionando bruscamente las burbujas.

Si las burbujas de vapor se encuentran cerca o en contacto con una pared sólida cuando cambian de estado, las fuerzas de las explosiones de estas burbujas darán lugar a presiones localizadas muy altas, ocasionando graves daños sobre la superficie sólida. La cavitación va acompañada generalmente por un fuerte ruido y por alto nivel de vibraciones, dando la sensación de que se tratará de piedras que golpean con diferentes partes de la bomba.

La principal razón por la que existe cavitación en una bomba tiene relación con el NPSH (Net Positive Suction Head). Tenemos dos NPSH, el requerido y el disponible, el primero es el que pide la bomba debido a su diseño en cambio el segundo es el que entrega el sistema en el cual será instalado la bomba. Para que no exista cavitación se debe cumplir que el NPSH disponible debe ser mayor (se recomienda sobre un 5%) que el NPSH requerido, si esta condición no se cumple la bomba estará cavitando.

Hay dos razones principales por lo que el NPSH disponible es menor que el requerido, una de estas razones es que la bomba se encuentra operando muy a la derecha de la curva hidráulica, mientras más a la derecha opere, el NPSH requerido será mayor favoreciendo de esta forma la existencia de cavitación. La otra razón que hay es que el nivel de líquido en la piscina de succión sea muy bajo y por ende se encuentre aspirando líquido y aire al mismo tiempo favoreciendo también la existencia de cavitación dentro de la bomba.

Solución

Para evitar ambas situaciones lo que debemos hacer en primer, cuando hemos reparado una bomba, es asegurarnos mediante pruebas hidráulicas que la bomba se encuentre operando en el BEP (Best Efficient Point) o cercano a él. Todas las bombas tienen un punto de mejor eficiencia y un rango en el cual cercano a ese punto en donde también podrá operar sin presentar dificultades y manteniendo en la zona media de la curva. Lo otro que debemos hacer es verificar que la tubería que lleva el líquido hacia la piscina de succión no se encuentra tapada o bloqueada para ello idealmente debemos colocar un

	CAUSAS Y SOLUCIONES DE LOS ALTOS NIVELES DE VIBRACION EN BOMBAS			
	Código	Fecha de Revisión	N° de Revisión	Página
	P-ATE-04	22-03-2016	00	8 de 8

caudalímetro que nos indicara cuanto líquido está circulando por la tubería, también debemos verificar que en la succión de la bomba no se encuentre bloqueada por ningún tipo de residuos.

Una vez que se hayan verificado estos puntos estaremos en condiciones de poner en marcha nuestra unidad de bombeo.