

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Colegio de Ciencias e Ingeniería

**Desarrollo del plan de Mantenimiento Predictivo en una Planta de
Producción Industrial del Sector de Confitería.**

Luis Eduardo Castellanos Chávez

Telmo Sánchez, Ph.D., Director de Tesis

Tesis de Grado presentada como requisito
para la obtención del título de Ingeniero Mecánico

Quito, diciembre de 2015

Universidad San Francisco de Quito

Colegio de Ciencias e Ingeniería

HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS

**Desarrollo del plan de Mantenimiento Predictivo en una Planta de
Producción Industrial del Sector de Confitería.**

Luis Eduardo Castellanos Chávez

Telmo Sánchez, Ph.D.,
Director de Tesis

David Escudero, Ph.D.,
Miembro del Comité de Tesis

Lorena Bejarano, Ph.D. (c),
Miembro del Comité de Tesis

Alfredo Valarezo, Ph.D.,
Director de Ingeniería Mecánica

César Zambrano, Ph.D.,
Decano de la Escuela de Ingeniería
Colegio de Ciencias e Ingeniería

Quito, diciembre de 2015

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído la Política de Propiedad Intelectual de la Universidad San Francisco de Quito y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo de investigación quedan sujetos a lo dispuesto en la Política.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma: _____

Nombre: Luis Eduardo Castellanos Chávez

Código: 00100052

C. I.: 1719181206

Fecha: Quito, diciembre de 2015

DEDICATORIA

Dedicado para toda mi familia, en especial mis padres y mi hermano.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres Xavier y Mónica por su apoyo incondicional en todo momento y por ser los pilares fundamentales de mi formación tanto humana como académica.

A mi hermano por su enorme ayuda para que este proyecto sea completado.

A todos mis primos y tíos por estar siempre preocupados por mi bienestar.

Al Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad San Francisco de Quito por todas las enseñanzas y recuerdos que me dejan después de tanto tiempo de estudio.

A Ferrero del Ecuador S.A. por permitirme realizar mi proyecto de titulación dentro de sus instalaciones y por el conocimiento transmitido en esta etapa, en especial a Carlos Hidalgo y Diego Meneses.

Finalmente a Alfredo Valarezo, mi director de carrera, y Telmo Sánchez, mi director de tesis, de quienes fui asistente de cátedra durante mi vida universitaria, por la paciencia y apoyo que tuvieron conmigo durante este trayecto.

RESUMEN

El presente trabajo muestra el desarrollo de un plan de mantenimiento mecánico predictivo basado en un análisis de vibraciones para maquinaria rotativa de una planta industrial en el sector de confitería. Se identifica una metodología para el desarrollo del plan de mantenimiento aplicando análisis de vibraciones, con esta metodología se desarrolla un criterio de selección de la maquinaria rotativa a incluir en el programa de mantenimiento. Se obtienen los datos vibracionales de 48 sistemas y se determinan los valores de vibraciones necesarios a incluir en el programa. Con esta información se realiza una base de datos en el software proporcionado por la empresa que auspicia el proyecto y se desarrolla un esquema para el control del programa de mantenimiento aplicando análisis de vibraciones.

ABSTRACT

This thesis presents the development of a predictive mechanical maintenance plan for machinery used in a food production plant, based on vibration analysis. The first step involves identifying the methodology for the plan development applying vibration analysis. The theory on vibration spectrum for common problems that can be identified by means of vibration is presented. Once the methodology and the theory are established, a selection criteria for the rotational machinery is set. The vibrational data for the 48 systems that were included in the program development is collected. Likewise the necessary vibration measurements to be included in the program are identified. With this information a data base is created in the software provided by the company and an outline for the control and supervision of the predictive maintenance plan is developed.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	7
ABSTRACT	8
TABLA DE CONTENIDO	9
ÍNDICE DE FIGURAS	12
ÍNDICE DE TABLAS	14
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	15
1.1. Antecedentes	15
1.2. Objetivos del proyecto	16
1.2.1. Objetivo general.	16
1.2.2. Objetivos específicos.	16
1.3. Aplicación.....	17
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	18
2.1. Mantenimiento mecánico en plantas industriales	18
2.1.1. Primera generación.....	18
2.1.2. Segunda generación.	18
2.1.3. Tercera generación.	19
2.2. Tipos de mantenimiento.....	19
2.2.1. Mantenimiento correctivo.	20
2.2.2. Mantenimiento preventivo.	20
2.2.3. Mantenimiento predictivo.	21
2.2.4. Mantenimiento proactivo.	21
2.3. Intervalo P-F	22
2.4. Mantenimiento predictivo basado en análisis de vibraciones.....	23
2.4.1. Vibraciones mecánicas, espectro de vibraciones.	23

2.4.2. Sistema de monitoreo de vibraciones.....	24
2.4.3. Fallas comunes en maquinaria rotativa.....	26
2.4.3.1. Desbalance.....	26
2.4.3.2. Desalineación.....	27
2.4.3.3. Holgura mecánica.....	28
2.4.3.4. Ejes doblados.....	30
2.4.3.5. Otras fallas potenciales.....	30
2.4.5. Niveles de vibraciones.....	31
2.4.6. Instrumentos de medición.....	33
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO	35
3.1 Procedimientos y guías.....	35
3.2. Capacidades del equipo.....	36
3.2.1. Parámetros de configuraciones de las máquinas.....	37
3.3. Parámetros de medición.....	47
3.3.1. Frecuencia de recolección de datos.....	48
3.3.2. Técnicas de montaje de sensores.....	48
3.3.3. Consideraciones de montaje.....	51
3.3.3.1. Tipo de acople.....	51
3.3.3.2. Tipo de superficie.....	54
3.3.3.3. Preparación de la superficie.....	54
CAPÍTULO 4: DESARROLLO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO APLICANDO ANÁLISIS DE VIBRACIONES – CASO DE APLICACIÓN FERRERO DEL ECUADOR S.A.	55
4.1. Inventario de maquinaria rotativa.....	55

4.2. Datos Vibracionales de los equipos	59
4.2.1. Ventiladores centrífugos de ventilación.....	62
4.2.2. Ventiladores centrífugos de aspiración.	63
4.2.3. Bombas lobulares.....	63
4.2.4. Bomba de vacío.....	64
4.3. Base de datos para la aplicación de software comercial	64
4.4. Determinación del tipo de montaje de los sensores	69
4.4.1. Selección de adhesivos.....	69
4.5. Desarrollo del plan de mantenimiento	71
4.5.1. Registro de datos	72
4.5.1.1. Valores de vibraciones.....	72
4.5.1.2. Presencia de problemas comunes.	72
4.6. Espectros de vibraciones de referencia	74
4.7. Evaluación de implementación	77
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	78
5.1. Conclusiones	78
5.2. Recomendaciones	79
CAPÍTULO 6: BIBLIOGRAFÍA.....	81
ANEXO A: DATOS TÉCNICOS FLUKE 810	83
ANEXO B: HOJAS DE DATOS VIBRACIONALES	88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Curva P-F	22
Figura 2.2: Intervalos P-F para distintos fallos potenciales.....	23
Figura 2.3: a) Vista del dominio de frecuencias. b) Vista del dominio del tiempo de la señal. c) Vista tridimensional del espectro de vibración.	24
Figura 2.4: Etapas de un sistema de monitoreo de vibraciones.....	25
Figura 2.5: Espectro de vibraciones: Desbalance	27
Figura 2.6: Espectro de vibraciones: Desalineación Angular.....	27
Figura 2.7: Espectro de vibraciones: Desalineación Paralela.....	28
Figura 2.8: Espectro de vibraciones: Holgura de un componente interno.....	28
Figura 2.9: Espectro de vibraciones: Holgura de la base	29
Figura 2.10: Espectro de vibraciones: Holgura de la estructura.....	29
Figura 2.11: Espectro de vibraciones para Ejes doblados	30
Figura 2.12: Acelerómetro piezoeléctrico	34
Figura 3.1: Analizador de Vibraciones Fluke 810.....	36
Figura 3.2 Diagrama de dirección de componentes	49
Figura 3.3: Ubicaciones de medición	49
Figura 3.4: Diagrama para la ubicación de sensores en maquinaria horizontal.	50
Figura 3.5: Diagrama para la ubicación de sensores en maquinaria vertical.	51
Figura 3.6: Montaje mediante perno.....	52
Figura 3.7: Montajes magnético.	53
Figura 3.8: Montaje mediante adhesivos.	53
Figura 4.1: Porcentaje de distribución de equipos (48 equipos total)	58
Figura 4.2: Inspección de componentes de un ventilador centrífugo de ventilación.	59

Figura 4.3: Inspección de componentes de un ventilador centrifugo de aspiración.....	60
Figura 4.4: Inspección de componentes de una bomba lobular.....	60
Figura 4.5: Inspección de componentes de la bomba de vacío.	61
Figura 4.6: Ejemplo de datos vibracionales de los equipos.....	62
Figura 4.7: Base de datos de maquinaria rotativa.....	65
Figura 4.8: Datos vibracionales para un ventilador centrifugo	66
Figura 4.9: Datos Vibracionales para una bomba lobular con caja reductora.....	67
Figura 4.10: Datos vibracionales para una bomba de vacío	68
Figura 4.11: Formato de registro de datos.....	73
Figura 4.12: Espectro de vibraciones, maquinaria en condición normal.....	74
Figura 4.13: Espectro de vibraciones, maquinaria con desbalanceo grave.	75
Figura 4.14: Espectro de vibraciones, maquinaria en condición severa.....	75
Figura 4.15: Espectro de vibraciones, maquinaria con holgura grave.....	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Zonas de severidad de vibraciones	32
Tabla 3.1: Información de entrada del motor	39
Tabla 3.2: Opciones de transmisión con acoplamiento cerrado	40
Tabla 3.3: Opciones de transmisión sin acoplamiento cerrado	41
Tabla 3.4: Opciones de Bombas para componentes guiados.....	42
Tabla 3.5: Opciones de Ventiladores para componentes guiados	43
Tabla 3.6: Opciones de Compresores para componentes guiados.....	43
Tabla 3.7: Opciones de Fuelle para componentes guiados.....	44
Tabla 3.8: Opciones de caja de cambios para la transmisión	45
Tabla 3.9: Opciones del componente guiado.....	46
Tabla 3.10: Opciones del sistema de transmisión.....	47
Tabla 4.1: Inventario de maquinaria rotativa.....	57
Tabla 4.2: Resumen de maquinaria	58
Tabla 4.3: Análisis de velocidades de rotación. Ventilación.....	63
Tabla 4.4: Análisis de velocidades de rotación. Aspiración.....	63
Tabla 4.5: Resumen especificaciones técnicas adhesivos.	70

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

El presente estudio comprende el análisis conceptual del mantenimiento mecánico industrial, y se desarrolla con el objeto de aplicar los criterios en el área de mantenimiento predictivo de la Empresa Ferrero del Ecuador S.A., cuyo ámbito de acción es el sector de confites a nivel nacional e internacional.

1.1. Antecedentes

Históricamente los tipos de mantenimiento industrial desarrollados se enfocan en tres tipos: mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo:

- El primero se basa en reparar únicamente cuando un componente de la maquinaria falla.
- El mantenimiento preventivo se enfoca en desarrollar un plan continuo de inspecciones en la maquinaria para alargar la vida útil de los componentes y reemplazarlos previo a la falla.
- El tercer tipo tiene como objetivo determinar la condición del equipo y sus componentes para pronosticar cuando se debe ejecutar el mantenimiento.

Debido a que no todos los componentes de las maquinarias tienen el mismo comportamiento y probabilidad de falla en el tiempo, los mantenimientos correctivos y preventivos tienen limitaciones. El mantenimiento predictivo emplea técnicas para predecir el comportamiento de los componentes a base de distintos parámetros como lo son el análisis auditivo, análisis térmico y el análisis de vibraciones.

Actualmente el análisis de vibraciones es empleado a nivel mundial y existen normas ISO para determinar niveles admisibles de vibraciones en equipos rotativos. La

importancia de este tipo de análisis es que provee una detección temprana del tipo de falla en componentes comparado con otras técnicas de mantenimiento predictivo.

El desarrollo de un plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis de vibraciones ayuda a complementar el plan de mantenimiento que maneja una planta industrial.

1.2. Objetivos del proyecto

A continuación se presenta el objetivo general y los objetivos específicos para este proyecto.

1.2.1. Objetivo general.

Desarrollar un plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis de vibraciones que cumpla con los requerimientos y estándares para que pueda aplicarse en la planta de confitería Tic Tac de Ferrero del Ecuador.

1.2.2 Objetivos específicos.

- Conocer de manera concreta los aspectos fundamentales, requerimientos y normativa del Mantenimiento Predictivo a fin de garantizar la operación continua de los equipos de la plantas de producción en la planta de confitería Tic Tac.
- Desarrollar un Plan de Mantenimiento Predictivo basado en el Análisis de Vibraciones (PMP – AV) que pueda ser aplicable en el corto plazo en la planta de producción antes mencionada.
- Evaluar el grupo de equipos y maquinaria que forman parte del PMP – AV en la planta de producción.
- Determinar los parámetros para realizar mediciones en la maquinaria seleccionada.

- Presentar el documento al responsable y a los técnicos de mantenimiento de la planta Tic Tac de Ferrero del Ecuador.

1.3. Aplicación

El presente estudio se desarrolla para una planta industrial del sector de confitería. La planta pertenece a la Compañía Ferrero del Ecuador S.A. ubicada en el sector del Arenal en Tumbaco. El trabajo evalúa y utiliza la maquinaria presente en el área de producción de caramelos “Tic Tac”. Y abarca únicamente este sector de la planta.

Cabe mencionar que la información recolectada en el proceso presenta material de carácter confidencial para la Empresa Ferrero del Ecuador S.A.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1. Mantenimiento mecánico en plantas industriales

El cambio acelerado en las necesidades industriales y la variedad en los activos físicos que una planta industrial dispone, ha ocasionado que el mantenimiento mecánico vaya evolucionando drásticamente. Con el tiempo se han creado nuevas técnicas y metodologías que abarcan los nuevos requerimientos de cada uno de los sectores industriales.

Desde 1930 el mantenimiento mecánico se ha desarrollado notablemente y se pueden distinguir claramente tres generaciones. (Scheffer & Girdhar, 2004)

2.1.1. Primera generación.

Cubre el período entre 1930 hasta la finalización de la II Guerra Mundial. La industria no se encontraba mecanizada, parte de la maquinaria se encontraba sobredimensionada, la cantidad de componentes y la simplicidad de los mismos implicaban que no se desarrolle un plan de mantenimiento.

El enfoque de mantenimiento mecánico de esta generación era el de reparar la maquinaria a medida que se presentaba el daño, en otras palabras un mantenimiento correctivo.

2.1.2. Segunda generación.

Al finalizar la II Guerra Mundial las plantas industriales se fueron mecanizando y para los años 50's los diseños de maquinaria eran más complejos. La necesidad de tener mayor disponibilidad de un equipo sin que el mismo falle fue incrementando. A la vez de incrementar el tiempo de vida útil de la maquinaria era necesario abaratar costos.

Con este requerimiento se fue implementado un plan de mantenimiento y control en las industrias. El mantenimiento preventivo nace de estas necesidades, este constaba principalmente de grandes reparaciones planeadas cada cierto intervalo de tiempo.

2.1.3. Tercera generación.

A partir de mediados de los años 70's algunos factores se vuelven expectativas y requerimientos de un programa de mantenimiento. La reducción del tiempo de inactividad, el aumento de la confiabilidad y disponibilidad de los equipos y el incremento de la calidad del producto sin tener repercusiones medioambientales fueron los nuevos objetivos.

Para cumplir estos objetivos se implementaron nuevas técnicas como análisis de modos de falla y efectos, diseño para la confiabilidad y estudios de riesgos. En el ámbito operativo, el uso de un equipo de trabajo que involucraba tanto al personal de mantenimiento como al personal operativo fue clave para el éxito del programa.

Por otro lado el uso de computadoras y software para mantenimiento se volvió común entre las industrias. Nuevas técnicas de mantenimiento se desarrollaron, estas se volvieron parte de un mantenimiento predictivo.

2.2. Tipos de mantenimiento

El desarrollo generacional de los tipos de mantenimiento se puede resumir en los siguientes tipos:

- Mantenimiento Correctivo,
- Mantenimiento Preventivo,
- Mantenimiento Predictivo y,

- Mantenimiento Proactivo que se ha desarrollado últimamente. (Scheffer & Girdhar, 2004)

2.2.1. Mantenimiento correctivo.

La filosofía de este tipo de mantenimiento consiste en permitir funcionar la máquina hasta que falle y reemplazar únicamente el o los componentes que resultaron perjudicados.

Este planteamiento es útil cuando la producción no se ve afectada o el costo y el tiempo que tomaría realizar un mantenimiento programado no se justifica en términos de pérdida de producción.

La desventaja que presenta esta filosofía se encuentra en el alto inventario de repuestos que se debe tener para cada maquinaria. Esto es debido a la incertidumbre generada por la misma estrategia ya que no se tiene certeza de cual componente va a fallar y en qué momento.

2.2.2. Mantenimiento preventivo.

El ideal bajo el cual se fundamenta este tipo de mantenimiento es el desarrollo de un cronograma de actividades a ejecutarse en intervalos predeterminados. Estos pueden ser días calendario o el número de horas de funcionamiento de una máquina.

Este acercamiento es efectivo cuando se tiene maquinaria que no trabaja continuamente y se dispone de un tiempo de pausa para realizar las actividades de mantenimiento.

La desventaja radica en que las actividades de mantenimiento se las realicen cuando no son necesarias o cuando los defectos son muy avanzados. Por otra parte se pueden reemplazar componentes sin evidencia de una falla funcional avanzada.

2.2.3. Mantenimiento predictivo.

Este tipo de mantenimiento se enfoca en programar las actividades únicamente cuando se detecta una falla funcional. Las actividades son monitoreadas periódicamente por medio de una de las técnicas de mantenimiento predictivo disponibles (termografía, ultrasonido, análisis de lubricantes, análisis de vibraciones) y cuando se detecta una tendencia que puede afectar a la máquina se programa el mantenimiento.

Al realizar un monitoreo continuo se impide el realizar un mantenimiento innecesario y el inventario de repuestos disponible en planta puede disminuir y ser controlado de mejor manera. De la misma forma al evitar una pausa la capacidad productiva de la planta aumenta.

Las desventajas que puede presentar este tipo de mantenimiento radican en el nivel de calificación y experiencia de los técnicos para realizar una evaluación apropiada del tipo de falla que se presenta. Aparte los equipos necesarios para realizar cada una de las evaluaciones tienen que ser calibrados correctamente o pueden presentar errores.

2.2.4. Mantenimiento proactivo.

El mantenimiento proactivo se basa en identificar los modos de falla y la causa raíz para cada problema que se pueda presentar. Junto con técnicas de mantenimiento preventivo y predictivo el enfoque que se tiene en este caso es reducir o eliminar algunos defectos y fallas funcionales que ocurran continuamente.

De la misma forma que el mantenimiento predictivo las ventajas que trae esta metodología incluyen un aumento en la capacidad productiva, programación efectiva de los mantenimientos y reducción del inventario de repuestos necesarios.

El principal inconveniente que presenta es el alto nivel de capacitación y conocimiento requeridos para que los técnicos de mantenimiento puedan llevar a cabo todas las tareas sin inconvenientes.

2.3. Intervalo P-F

El variado comportamiento del tiempo de vida útil de un componente ocasiona que exista poca relación entre el tiempo de trabajo de la maquinaria con la existencia de un defecto o falla potencial. A pesar de no tener relación, siempre existen indicadores en la máquina que ayudan a detectar el problema en un inicio.

Un elemento a analizar en este caso es la Curva P-F (Falla potencial – Falla Funcional) que se muestra en la figura 2.1.

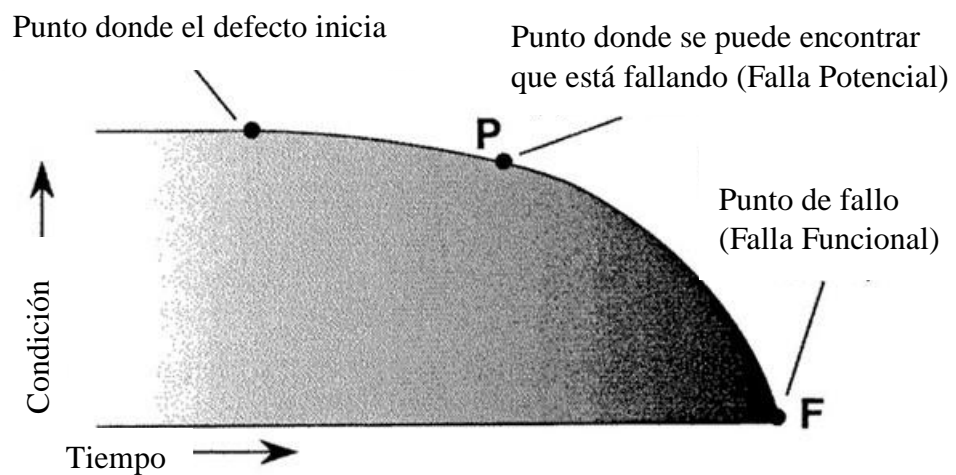


Figura 2.1: Curva P-F (Moubray, 1997)

El tiempo que transcurre entre el punto P y el punto F se denomina Intervalo P-F. Este intervalo es necesario para determinar el tiempo entre inspecciones realizadas mediante mantenimiento predictivo debido a que dependiendo de la técnica empleada el intervalo P-F cambia. En la figura 2.2 se puede observar distintos intervalos para algunos fallos potenciales que se pueden determinar con algunas técnicas de mantenimiento predictivo.

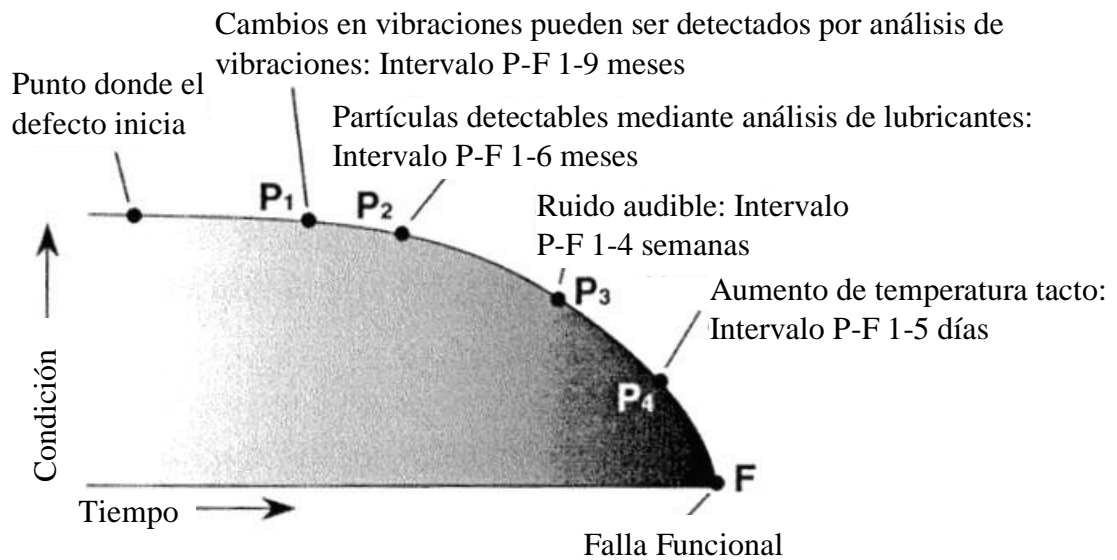


Figura 2.2: Intervalos P-F para distintos fallos potenciales (Moubray, 1997)

Como se observa en la figura 2.2 el análisis de vibraciones como técnica de mantenimiento predictivo tiene un intervalo P-F con un rango alto.

2.4. Mantenimiento predictivo basado en análisis de vibraciones

2.4.1 Vibraciones mecánicas, espectro de vibraciones.

Las vibraciones mecánicas en un equipo y sus componentes pueden ser analizados mediante el espectro de vibraciones.

El análisis de la amplitud de la vibración en el tiempo es un método de estudio de la señal. El inconveniente del espectro en el tiempo es que no permite distinguir la señal específica que puede causar el problema.

A partir de la señal en el dominio del tiempo se puede emplear el análisis de Fourier para aislar componentes individuales de la señal de tal forma que la evaluación se simplifique. Mediante esta técnica se obtienen datos de la amplitud en función de la

frecuencia. La figura 2.3 muestra la relación existente entre cada tipo de metodología.
(Agilent Technologies, 2002)

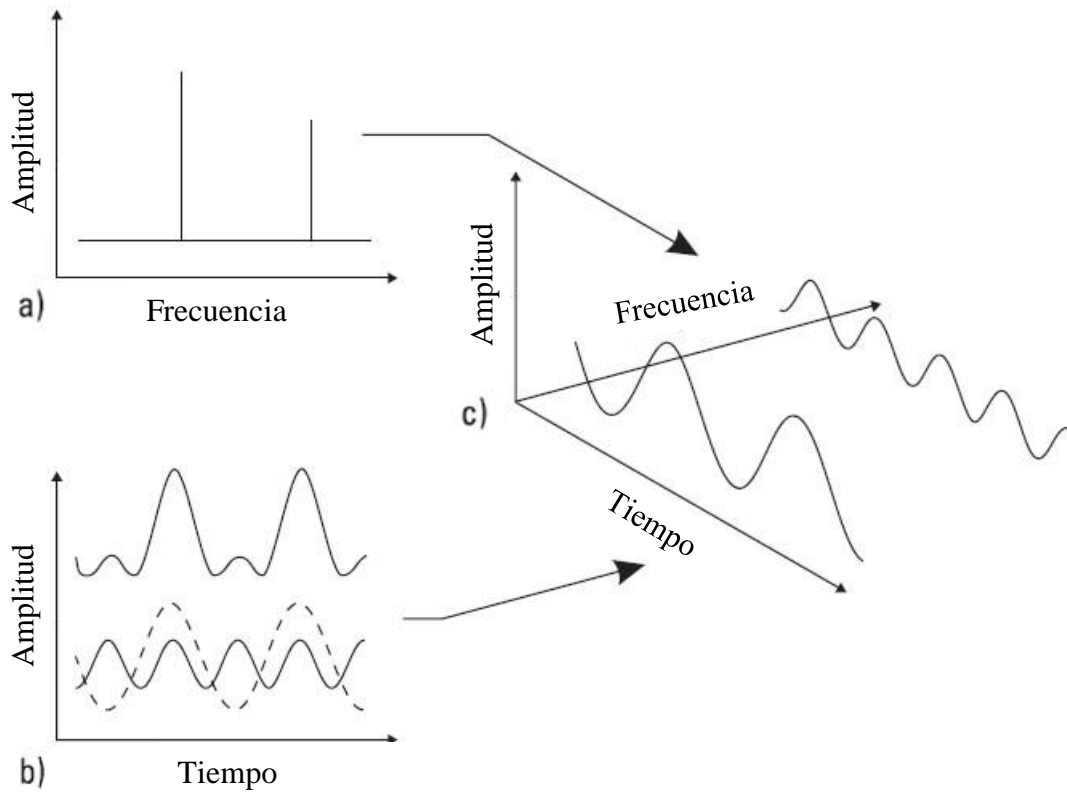


Figura 2.3: a) Vista del dominio de frecuencias. b) Vista del dominio del tiempo de la señal. c) Vista tridimensional del espectro de vibración. (Agilent Technologies, 2002)

2.4.2. Sistema de monitoreo de vibraciones.

Un sistema de monitoreo de vibraciones efectivo cuenta principalmente con 4 etapas. La figura 2.4 ilustra las etapas:

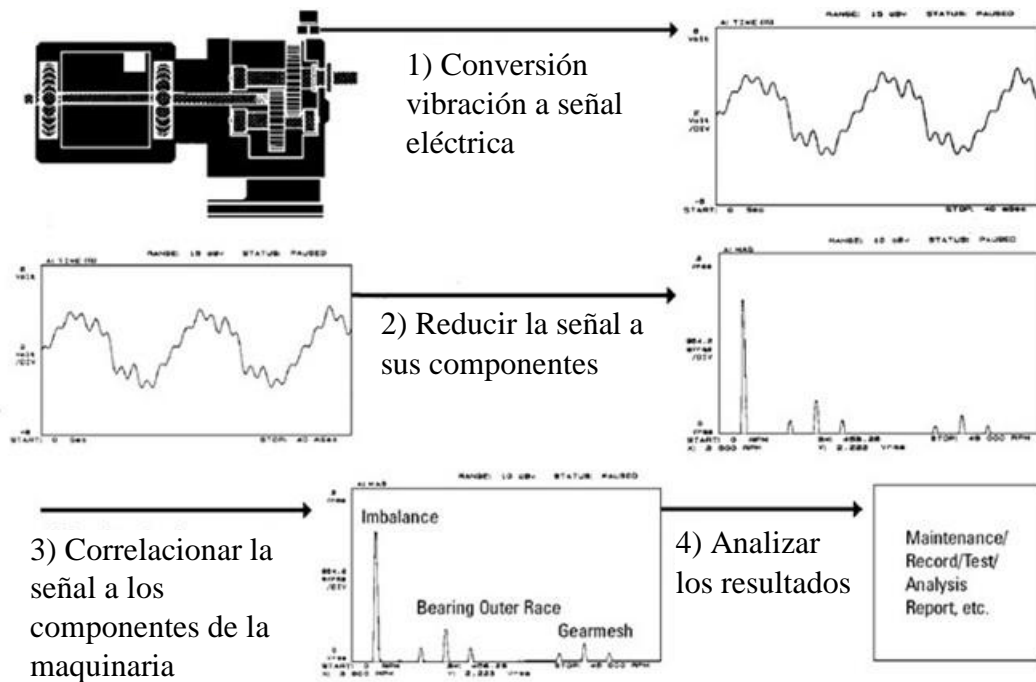


Figura 2.4: Etapas de un sistema de monitoreo de vibraciones (Hewlett Packard)

Como se observa en la figura la primera etapa consiste en convertir la vibración a una señal eléctrica. Esto se logra mediante el acelerómetro que incluye el analizador de vibraciones. La ubicación y el montaje adecuados del sensor determinan la calidad de la señal.

La segunda etapa involucra reducir la señal a sus componentes individuales. En este caso el instrumento mediante el análisis de Fourier permite realizar la conversión.

En la tercera etapa se deben correlacionar los componentes individuales de la señal a la maquinaria. Esto se puede realizar mediante la determinación de las frecuencias de cada uno de los componentes o mediante la comparación de la señal a señales bases para defectos comunes.

Finalmente se analizan los resultados. En función del tipo de señal se puede determinar el componente con un defecto que puede presentar una falla potencial. (Hewlett Packard)

2.4.3. Fallas comunes en maquinaria rotativa.

Como se mencionó en la tercera etapa de un sistema de monitoreo es imprescindible la correlación de la señal a cada uno de los componentes. En muchas ocasiones el dato de la frecuencia de cada componente no se encuentra disponible razón por la cual es más simple comparar con espectros establecidos para cada falla.

Dentro del análisis del espectro de vibraciones se tiene que tomar en consideración dos factores. El primero es la frecuencia fundamental, esta viene a ser la frecuencia de rotación del motor o de la maquina rotativa a analizar. Este se representa en el espectro mediante 1X. El segundo factor son los armónicos, estos son componentes de la señal que se presentan en el espectro de vibraciones en múltiplos enteros de la frecuencia fundamental. Usualmente se representan mediante 2X, 3X, 4X.

A continuación se muestran los espectros para los problemas más comunes que pueden ser detectados mediante el análisis de vibraciones.

2.4.3.1. Desbalance.

La vibración ocasionada en el rotor es el problema más común que se puede diagnosticar. El desbalance se define como la condición existente en un rotor cuando vibraciones, fuerzas o movimiento se imparte en los rodamientos como consecuencia de fuerzas centrífugas (Scheffer & Girdhar, 2004). Esto es causado por una distribución desigual de masa en uno de los componentes. La figura 2.5 muestra el espectro de vibraciones para este tipo de falla.

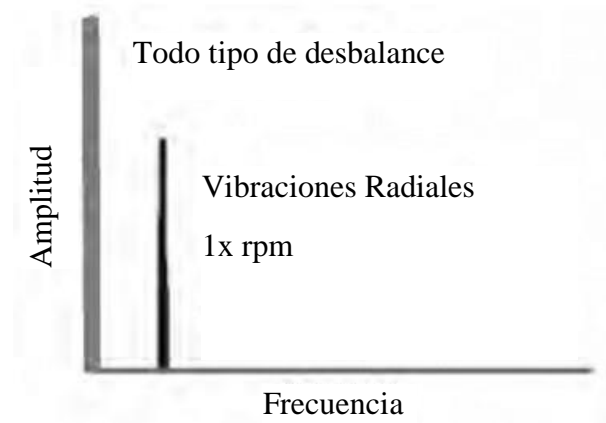


Figura 2.5: Espectro de vibraciones: Desbalance (Scheffer & Girdhar, 2004)

Este espectro se caracteriza por tener una amplitud elevada en la frecuencia fundamental de rotación en el eje radial. La amplitud varía proporcionalmente a la velocidad de rotación elevada al cuadrado.

2.4.3.2. Desalineación.

La desalineación en ejes se clasifica en 2 tipos. Desalineación angular y desalineación paralela, cada tipo de falla presenta un espectro diferente. En el caso angular se evidencia mediante vibraciones axiales mientras que una desalineación paralela muestra problemas principalmente radiales. Las figuras 2.6 y 2.7 presentan los espectros para cada uno.

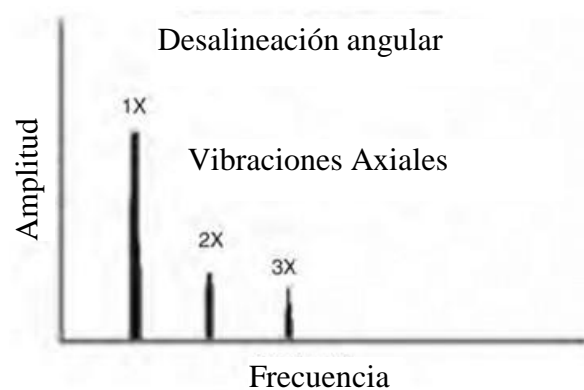


Figura 2.6: Espectro de vibraciones: Desalineación Angular (Scheffer & Girdhar, 2004)

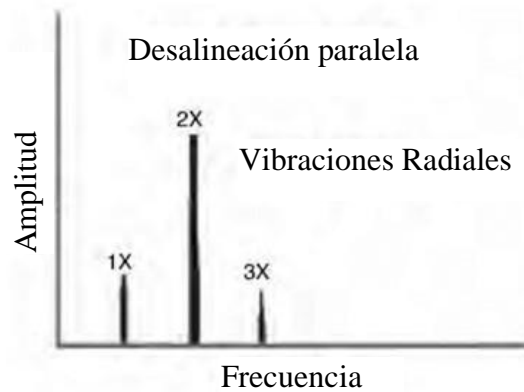


Figura 2.7: Espectro de vibraciones: Desalineación Paralela (Scheffer & Girdhar, 2004)

2.4.3.3. Holgura mecánica.

Este tipo de falla puede ocurrir en tres ubicaciones: entre componentes internos, entre la maquinaria rotativa y la base, y una holgura estructural.

El primer tipo de holgura usualmente ocurre entre el rodamiento o cojinete y el eje rotativo. Al no existir el ajuste adecuado entre componentes se muestra un espectro de la siguiente forma:

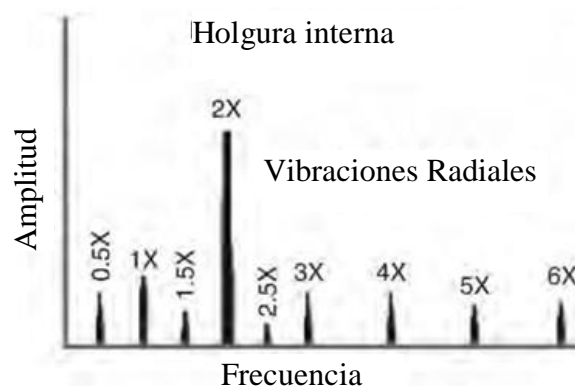


Figura 2.8: Espectro de vibraciones: Holgura de un componente interno (Scheffer & Girdhar, 2004)

Se muestran una amplitud elevada en el segundo armónico en conjunto con picos en sub-armónicos de valores 0.5X, 1.5X, 2.5X.

El segundo tipo de holgura entre la maquinaria rotativa y la base se da cuando existe un perno ajustado incorrectamente o cuando la base del motor se encuentra con fisuras. La figura 2.9 presenta el espectro para este tipo de vibraciones.

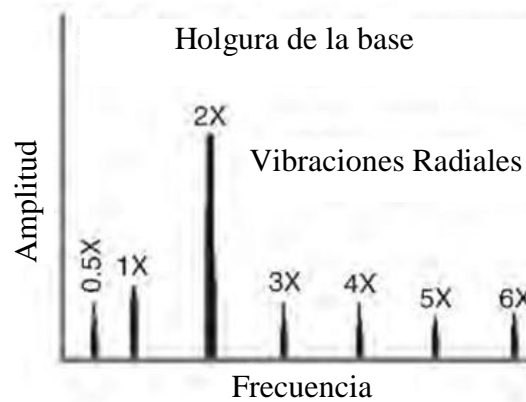


Figura 2.9: Espectro de vibraciones: Holgura de la base (Scheffer & Girdhar, 2004)

A diferencia de la holgura de un componente interno, este va a mostrar un pico más elevado en el segundo armónico (2X) y no presenta picos constantes en sub-armónicos mayores a la unidad.

El tercer tipo de holgura se da cuando la estructura de soporte general de la maquinaria rotativa con sus componentes se encuentra debilitada. Esto genera el siguiente espectro de vibraciones:

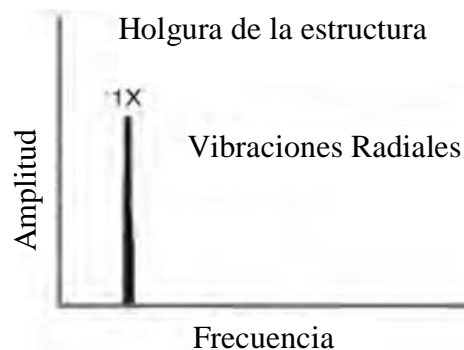


Figura 2.10: Espectro de vibraciones: Holgura de la estructura (Scheffer & Girdhar, 2004)

El defecto se muestra en la frecuencia fundamental en el eje radial de vibraciones.

2.4.3.4. Ejes doblados.

En este caso de análisis se obtienen vibraciones más elevadas en el espectro axial que en el radial. En el caso que el eje se encuentre doblado en un punto cercano al centro se obtienen amplitudes altas en el primer armónico. Si el eje se encuentra doblado cerca a los extremos el espectro puede mostrar amplitudes altas en el segundo armónico. La figura 2.11 muestra el espectro para este caso.

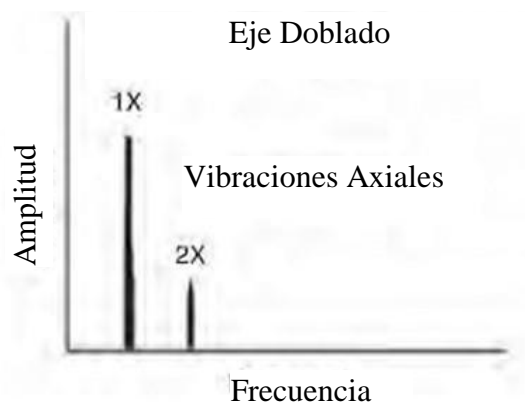


Figura 2.11: Espectro de vibraciones para Ejes doblados (Scheffer & Girdhar, 2004)

2.4.3.5. Otras fallas potenciales.

Los espectros mostrados previamente son los más conocidos debido a que son los más comunes. En el caso de fallas potenciales un poco más específicas se encuentran, defectos en rodamientos, defectos en engranajes, excentricidad, problemas en bandas de transmisión, fallas eléctricas, cavitación, entre otros.

De este listado los defectos en rodamientos tienen un comportamiento especial. En este análisis es necesario determinar las frecuencias de cada componente de los rodamientos por lo que se tiene un espectro común para cada tipo. Las frecuencias de paso de bola en el anillo interno y externo son los valores donde se mostrarían picos en el espectro de vibraciones.

De la misma forma los defectos en engranajes tienen un comportamiento diferente para cada ocasión. El aspecto a tomar en cuenta es el número de dientes de cada engranaje

y las relaciones de transmisión de la caja reductora. Para estos defectos el espectro de vibraciones va a mostrar amplitudes elevadas en las frecuencias de giro de cada eje de la caja reductora y en frecuencias múltiplos al número de dientes de cada engranaje.

Cabe realizar una distinción en los ejes donde se presentan los problemas. Para engranajes rectos el eje de análisis viene a ser el radial mientras que para engranajes helicoidales el eje de análisis es el axial. (Scheffer & Girdhar, 2004)

2.4.5. Niveles de vibraciones.

La gravedad de la falla viene a determinarse por la amplitud de la medición en cada frecuencia. Estos valores vienen a ser controlados y normalizados por la Organización Internacional de Normalización ISO (por sus siglas en ingles).

La normativa ISO 10816-3 evalúa vibraciones mediante mediciones en partes no rotativas y determina los límites de vibración para cada caso. La tabla 2.1 resume estos valores:

Velocidad								
mm/s rms		D						
11.00								
7.10		C						
4.50								
3.50		B						
2.80								
2.30								
1.40		A						
0.71								
Montaje	Flexible	Rígido	Flexible	Rígido	Flexible	Rígido	Flexible	Rígido
Tipo de máquina	Maquina medianas 15kW-300kW		Maquinas grandes 300kW-50MW		Bombas, P>15kW radiales, axiales, flujo mixto			
	Motores altura eje H>315mm		Motores altura eje 160mm<H<315m m		Conductor Externo		Conductor Integrado	
Grupo	1		2		3		4	

Tabla 2.1: Zonas de severidad de vibraciones (ISO, 2009)

La tabla muestra los valores de velocidad media cuadrática (rms) aceptables para cada zona en función del tipo de máquina, el acople o tipo de motor y el montaje que tiene la misma.

Un montaje se considera rígido cuando la frecuencia natural más baja del sistema máquina-sistema de soporte es mayor que la frecuencia de rotación del sistema en un 25%. Caso contrario se considera un montaje flexible.

Los motores medianos y de baja potencia usualmente se consideran bajo un tipo de montaje rígido. En el caso de turbogeneradores o compresores con potencias elevadas mayores a 10MW el montaje es comúnmente flexible. (ISO, 2009)

Las zonas de vibraciones se clasifican de la siguiente manera:

- Zona A: Vibraciones para maquinaria nueva
- Zona B: Vibraciones considerables aceptables para un periodo de trabajo sin restricción
- Zona C: Vibraciones consideradas no aceptables para un periodo de funcionamiento a largo plazo, se debe programar un mantenimiento
- Zona D: Vibraciones que pueden causar una falla funcional en un corto periodo.

A pesar de tener una normativa que indique los valores aceptables para los niveles de vibración, estos sirven como una referencia para el usuario. Puede darse el caso que un equipo acepte niveles de vibraciones distintos. El fabricante de la máquina puede dar referencias en este caso.

2.4.6. Instrumentos de medición

El instrumento de medición más empleado para la medición de vibraciones es un acelerómetro piezoeléctrico. La figura 2.12 muestra un esquema de los elementos que componen el sensor.

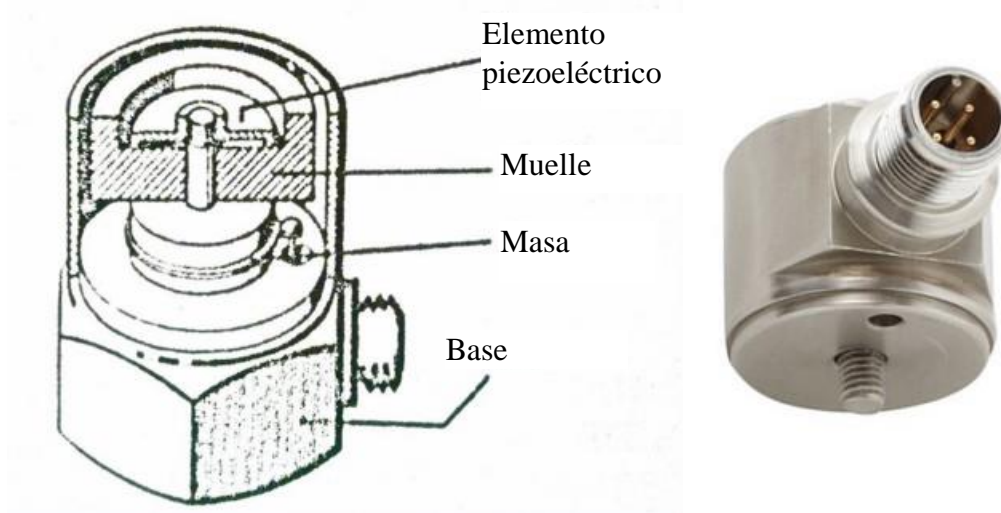


Figura 2.12: Acelerómetro piezoeléctrico. (Cuatrecas & Torrell, 2010) (Fluke, s.f.)

El principio de funcionamiento se basa en la variación de carga eléctrica cuando se aplica esfuerzo de deformación al cristal del elemento piezoeléctrico. (Cuatrecas & Torrell, 2010)

Para aplicaciones de vibraciones se emplean sensores triaxiales para detectar niveles de vibraciones en todos los ejes presentes.

CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO

Dentro del desarrollo de un programa de mantenimiento basado en análisis de vibraciones se encuentran algunas bases teóricas o lineamientos generales. Actualmente la norma ISO 17359 presenta lineamientos generales para el monitoreo de condición y diagnóstico de equipos.

En este capítulo se incluyen referencias para la identificación y selección de equipos, evaluaciones de confiabilidad y criticidad, métodos y ubicaciones de medición de parámetros, y recolección de datos. (ISO, 2003)

Aparte de la normativa internacional el Instituto de Investigación de Energía Eléctrica (EPRI por sus siglas en inglés) ubicado en EEUU ha presentado una guía para el desarrollo de un programa de monitoreo y análisis de vibraciones. De la misma forma que en la normativa se incluyen pautas y guías de referencia para el desarrollo del plan. (EPRI, 2006)

Para el desarrollo del plan se tomarán ambos documentos presentados como referencias.

3.1 Procedimientos y guías

Las etapas para el desarrollo del plan se pueden resumir en los siguientes puntos:

- Selección de Equipos: Identificación de equipos a incluir dentro del plan de mantenimiento. Y establecimiento de niveles de criticidad en función de las fallas potenciales y sus consecuencias.
- Generación de base de datos de los equipos
- Determinación del método de medición

- Generación de reportes

3.2. Capacidades del equipo

A pesar de tener lineamientos guías para el desarrollo del plan, es importante tomar en cuenta las capacidades del equipo de análisis a emplear. En el caso de aplicación se dispone de un Analizador de Vibraciones Fluke 810. Figura 3.1.



Figura 3.1: Analizador de Vibraciones Fluke 810 (Fluke, s.f.)

Las capacidades de este equipo se enfocan principalmente en el análisis de maquinarias rotativas. La detección de fallos comunes como desbalanceo, desalineación, holguras, fallos en cojinetes y rodamientos son posibles.

El rango de velocidades que puede analizar se encuentra entre 200 – 12,000 RPM, dentro de este rango se encuentran comúnmente motores, ventiladores, sistemas de transmisión por cadenas, cajas de reducción, bombas, compresores, entre otros.

El equipo cuenta con un tacómetro laser y un sensor triaxial (acelerómetro) para realizar las mediciones.

Bajo estos parámetros se toma en consideración las restricciones que tiene. El uso de este equipo para maquinaria rotativa cuyas RPM se encuentran bajo las 200 o sobre las 12000 RPM está restringido. Otra restricción presente es el análisis de trenes de dirección que cambian la dirección del eje en 90°. Con esto se descartan cajas de engranajes mediante tornillo sin fin.

El equipo automáticamente presenta un diagnóstico indicando el tipo de falla presente y su severidad. Toma como referencia espectros de fallas potenciales comunes para el reporte y otorga una calificación entre 0 y 100 dependiendo de la severidad. Los problemas comunes que se pueden detectar son:

- Desbalance
- Desalineación
- Holguras
- Falla de Rodamientos

Si se detecta alguna anomalía en los espectros de vibraciones que no corresponden a este tipo de fallas se denomina una falla no identificada y se puede observar el espectro del eje donde se presente el problema. (Fluke, 2010)

Una mayor descripción de la hoja de datos técnicos del equipo se puede encontrar en el Anexo 1.

3.2.1. Parámetros de configuraciones de las máquinas.

Para un correcto análisis y diagnóstico se deben registrar la mayor cantidad de datos de los equipos a examinar. Los parámetros del equipo Fluke 810 determinan algunos parámetros obligatorios para los equipos mientras otros son opcionales. Los parámetros

opcionales pueden ayudar a mejorar el diagnóstico, por lo que de ser posible obtenerlos se recomienda registrarlos.

A continuación se muestran las tablas con la información que sea necesaria registrar dependiendo del tipo de maquinaria que se requiera.

Una vez introducido el nombre o código para la maquina se tiene que configurar la información de entrada del motor.

Las opciones se muestran en la tabla 3.1. En este caso es importante introducir correctamente la velocidad del motor debido a que esta es la frecuencia fundamental para el análisis posterior. En caso de no disponer de la placa del motor se debe emplear el tacómetro para la medición.

Selección	Opción	Descripción
Seleccionar tipo de motor	CA	Selecciona el tipo de motor de la máquina que se vaya a probar
	CC	
Motor CA con VFD	Si	Para el tipo de motor de CA, identifica el motor como VFD (transmisión de frecuencia variable) o no.
	No	
Introducir velocidad en RPM	Pantalla de entrada de RPM	Aparece la pantalla de entrada de RPM. Utilice el tacómetro para obtener las RPM. O, si conoce las RPM, introduzca el valor manualmente
Introducir HP nominal (USA) o kW nominales (SI)	Entrada de teclado numérico	Pulse Teclado para acceder al teclado numérico. Introduzca los HP o kW del motor
Motor instalado	Horiz (Horizontal)	Identifica el montaje del motor como horizontal o vertical. Es importante introducir la orientación debido a que influye en la orientación del sensor
	Vert (Vertical)	
Tipo de soporte del motor	Rodillo	Selecciona el tipo de soporte del motor. Los diferentes tipos de cojinetes tienen distintas señales de vibración
	Cojinete	
Motor separado del tren de dirección	Si	Está probando solo el motor, si el motor está separado del tren de dirección, seleccionar Si
	No	

Tabla 3.1: Información de entrada del motor (Fluke, 2010)

La tabla 3.2 es un listado de las opciones que se tiene cuando el motor no se encuentra separado del tren de dirección y el acoplamiento es cerrado.

Selección	Opción	Acción	Opción	Acción	Descripción
Motor atornillado directo a:	Bomba Centrífuga	Avance y seleccione el componente guiado que se conecte al motor (eje conductor)	N° de álabes	Entrada de teclado numérico	Esta información es opcional. Pulse Teclado para acceder al teclado numérico. Introduzca el número adecuado.
	Bomba de Engranaje		N° dientes del engranaje o tornillo		
	Ventilador		N° de aspas		
	Compresor Centrífugo		N° de álabes del compresor		
	Bomba de Tornillo/Lóbulo		N° de dientes/lóbulos		

Tabla 3.2: Opciones de transmisión con acoplamiento cerrado (Fluke, 2010)

En el caso que el acople no sea cerrado el siguiente listado de opciones se vuelven disponibles

Selección	Opción	Descripción
Acoplamiento del motor con el siguiente componente	Si	¿Hay acoplamiento entre el motor (motor de arrastre) y el siguiente componente del tren de dirección?
	No	
Siguiete componente	Bomba	Avance y seleccione en la lista el siguiete componente del tren de dirección
	Ventilador	
	Compresor	
	Fuelle	
	Eje	
	Caja de Cambios	
	Correa de transmisión	
	Cadena de transmisión	

Tabla 3.3: Opciones de transmisión sin acoplamiento cerrado (Fluke, 2010)

A partir de este punto uno puede seleccionar el tipo de componente a seguir en el tren de análisis. Si el componente es una bomba la tabla 3.4 muestra las opciones posibles.

Selección	Opción	Acción	Opción	Acción	Descripción	
Tipo de soporte	Rodillo	-	-	-	Seleccione el tipo de soporte de la bomba.	
	Cojinete	-	-	-		
Tipo de bomba	Centrífuga	Avance y seleccione el tipo de bomba	Soporte del propulsor	Dos rodamientos	Avance e identifique el soporte del propulsor.	
				Sobresalido		
	Propulsor		N° de álabes	Introduzca un valor entre 2 y 20	Esta información es opcional. Pulse Teclado para acceder al teclado numérico. Introduzca el número de la opción.	
			N° de álabes	Introduzca un valor entre 2 y 20		
			Álabes Deslizantes	N° de álabes		Introduzca un valor entre 2 y 20
				Tornillo/ Lóbulo		N° de dientes/ lóbulos
Pistón	N° de pistones	Seleccione de 2 a 13	Esta información es opcional. Avance y seleccione el número.			

Tabla 3.4: Opciones de Bombas para componentes guiados (Fluke, 2010)

En el caso que el componente sea un ventilador la siguiente tabla presenta el listado de opciones

Opción	Selección	Descripción
Tipo de soporte del componente guiado	Rodillo	Seleccionar el tipo de soporte/rodamiento en el ventilador
	Cojinete	
Soporte del ventilador	Dos rodamientos	Avance e identifique el soporte del ventilador
	Sobresalido	
N° de álabes del ventilador	Pantalla de entrada de RPM	Esta información es opcional. Pulse Teclado para acceder al teclado numérico e introduzca el número de álabes

Tabla 3.5: Opciones de Ventiladores para componentes guiados (Fluke, 2010)

La tabla 3.6 muestra el listado de opciones si el componente a seguir es un compresor

Selección	Opción	Acción	Opción	Acción	Descripción
Tipo de soporte	Rodillo	-	-	-	Seleccione el tipo de soporte del compresor.
	Cojinete	-	-	-	
Tipo de compresor	Centrífugo	Avance y seleccione el tipo de compresor	N° de álabes	Seleccione de 9 a 50	Avance y seleccione el número de álabes del compresor
	Tornillo		N° de engranajes roscas	Seleccione de 2 a 8	Seleccione el número de engranajes o roscas del compresor
	Pistón		N° de pistones	Seleccione de 2 a 12	Seleccione el número de pistones del compresor

Tabla 3.6: Opciones de Compresores para componentes guiados (Fluke, 2010)

Las opciones de un fuelle o soplador se muestran en la tabla 3.7.

Opción	Selección	Descripción
Tipo de soporte del componente guiado	Rodillo	Seleccionar el tipo de soporte/rodamiento en el ventilador
	Cojinete	
N° de lóbulos del fuelle	Seleccione de 2 a 12	Avance y seleccione el número de lóbulos del fuelle

Tabla 3.7: Opciones de Fuelle para componentes guiados (Fluke, 2010)

La siguiente tabla muestra las opciones para una caja de cambios. Es importante recordar que existe una restricción para cambios de 90° en los trenes de dirección.

Selección	Opción	Acción	Opción	Descripción
Tipo de soporte	Rodillo	Seleccione el tipo de soporte de la caja	-	-
	Cojinete			
Número de cambios de velocidad	1	Avance y seleccione el número de cambios de velocidad	-	-
	2			
	3			
¿Qué se conoce?	Velocidades del eje	Dependiendo de la información conocida avance y seleccione dicha opción	Entrada de teclado numérico	Pulse Teclado para acceder al teclado numérico. Introduzca las velocidades del eje en sus respectivos campos.
	Proporciones de engranaje			Pulse Teclado para acceder al teclado numérico. Introduzca las proporciones de engranaje en sus respectivos campos.
	N° de engranajes			Pulse Teclado para acceder al teclado numérico. Introduzca el número de engranajes en sus respectivos campos.

Tabla 3.8: Opciones de caja de cambios para la transmisión (Fluke, 2010)

El listado de opciones en la tabla 3.9 se muestra una vez registrada la información de la caja de cambios para determinar el siguiente componente.

Opción	Selección	Descripción
¿Hay un acoplamiento flexible entre la caja de cambios y el siguiente componente?	Si	Haga la configuración con o sin un acoplamiento entre la caja de cambios y el acoplamiento
	No	
Siguiete componente al que está unida la caja de cambios	Bomba	Avance y seleccione en la lista el siguiete componente del tren de dirección
	Ventilador	
	Compresor	
	Fuelle	
	Eje	
	Correa de transmisión	
	Cadena de transmisión	

Tabla 3.9: Opciones del componente guiado (Fluke, 2010)

Si la maquinaria dispone de una transmisión por correas o por cadenas el sistema presenta las siguientes opciones.

Selección	Opción	Acción	Opción	Acción	Descripción
Correa de transmisión	Velocidad del eje de entrada	Aparece la pantalla de entrada de RPM	Utilice el tacómetro para medir las RPM. O introduzca la velocidad con el teclado numérico	Bomba	Avance y seleccione en la lista el siguiente componente del tren de dirección.
	Velocidad del eje de salida			Ventilador	
	Velocidad de rotación			Compresor	
Cadena de transmisión	Velocidad del eje de entrada			Fuelle	
	Velocidad del eje de salida			Eje	
	N° de dientes				

Tabla 3.10: Opciones del sistema de transmisión (Fluke, 2010)

En la mayoría de los casos el número de alabes, aspas o número de dientes del engranaje se muestran como opcionales. Es recomendable introducir el valor exacto para obtener un diagnóstico más preciso.

3.3. Parámetros de medición

Una vez registrado correctamente el equipo se debe determinar los parámetros de medición de los equipos. Esto involucra principalmente la frecuencia de recolección de datos y las técnicas apropiadas para el montaje de sensores.

3.3.1. Frecuencia de recolección de datos.

La frecuencia de recolección de datos para un plan de mantenimiento basado en análisis de vibraciones está determinada principalmente por el intervalo P-F. Como se explicó previamente el intervalo P-F para esta técnica se encuentra entre 1 a 9 meses (Moubray, 1997).

Junto con la disponibilidad de equipos y con el plan de mantenimiento anual establecido en la planta industrial se combinan los criterios para la recolección de datos y se determina que el intervalo óptimo es de 3 meses entre mediciones.

Este intervalo de tiempo me permite coincidir con los mantenimientos semestrales que cubren más aspectos en la maquinaria. Un tiempo mayor a los 3 meses no me permite realizar reparaciones durante estos mantenimientos y no generaría los suficientes datos para el análisis. Mientras que para intervalos menores existen otras técnicas de mantenimiento predictivo que se pueden emplear y se disponen.

3.3.2. Técnicas de montaje de sensores.

Previo al montaje de sensores se debe determinar los ejes presentes para cada medición. La figura 3.2 muestra los componentes axiales, radiales y tangenciales para cada sistema. Sobre la base de la configuración y los espectros de vibraciones se puede determinar el tipo de falla potencial presente.

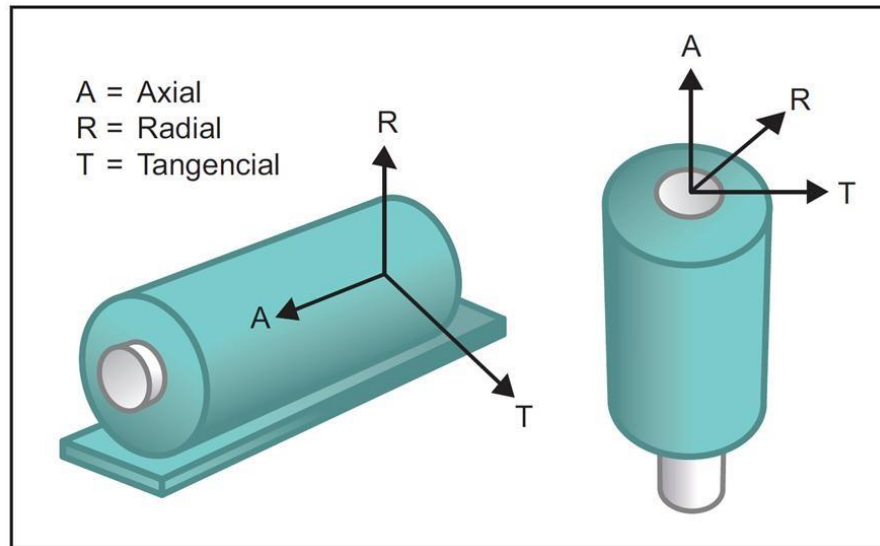


Figura 3.2 Diagrama de dirección de componentes (Fluke, 2010)

Con la disposición de ejes correcta se pueden determinar los puntos de medición permitidos. La figura 3.3 muestra las ubicaciones de medición correctas y donde no es recomendable tomar la medición.

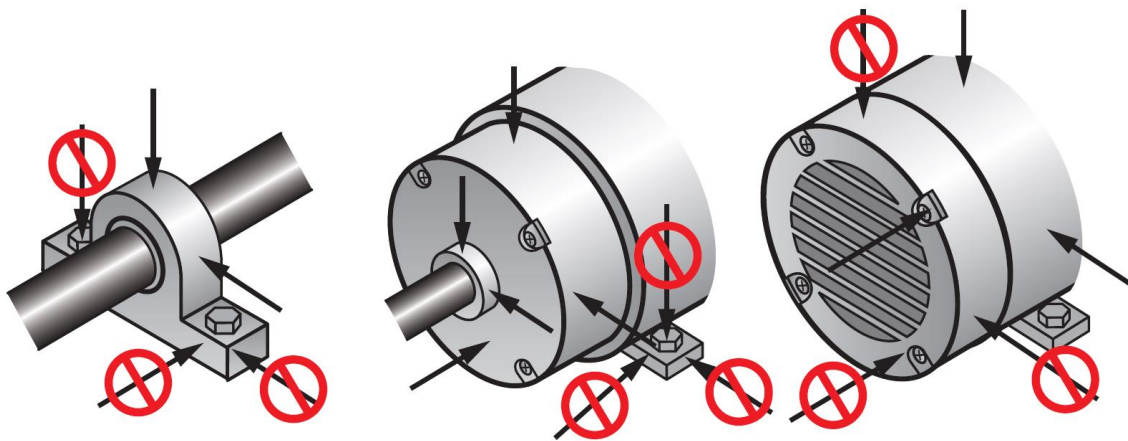


Figura 3.3: Ubicaciones de medición (Fluke, 2010)

Como se observa en la figura es recomendable colocar el sensor lo más cercano al eje y en una superficie sólida de ser posible. Esta puede ser la estructura del motor, de la chumacera o de una bomba. No es recomendable colocar los sensores en partes móviles de

la máquina, esto incluye la estructura y protecciones móviles. El motivo es que las mediciones pueden tener errores o no mostrar los picos en el espectro correctamente lo que lleva a un análisis y diagnóstico incorrecto (EPRI, 2006).

La normativa ISO 10816-3 presenta en el documento diagramas para la correcta ubicación de sensores en maquinaria horizontal y vertical. Las figuras 3.4 y 3.5 muestran los puntos referenciales. En la figura 3.4 el eje 'X' es horizontal, el eje 'Y' es vertical y el eje 'Z' es axial. Y en la figura 3.5 el eje 'X' y 'Y' son horizontales mientras que el eje 'Z' es el eje axial y vertical.

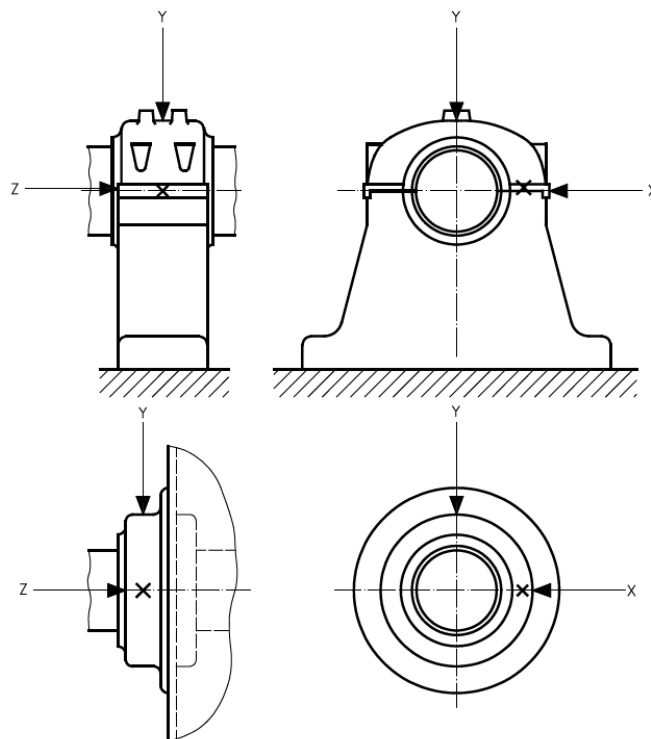


Figura 3.4: Diagrama para la ubicación de sensores en maquinaria horizontal. (ISO, 2009)

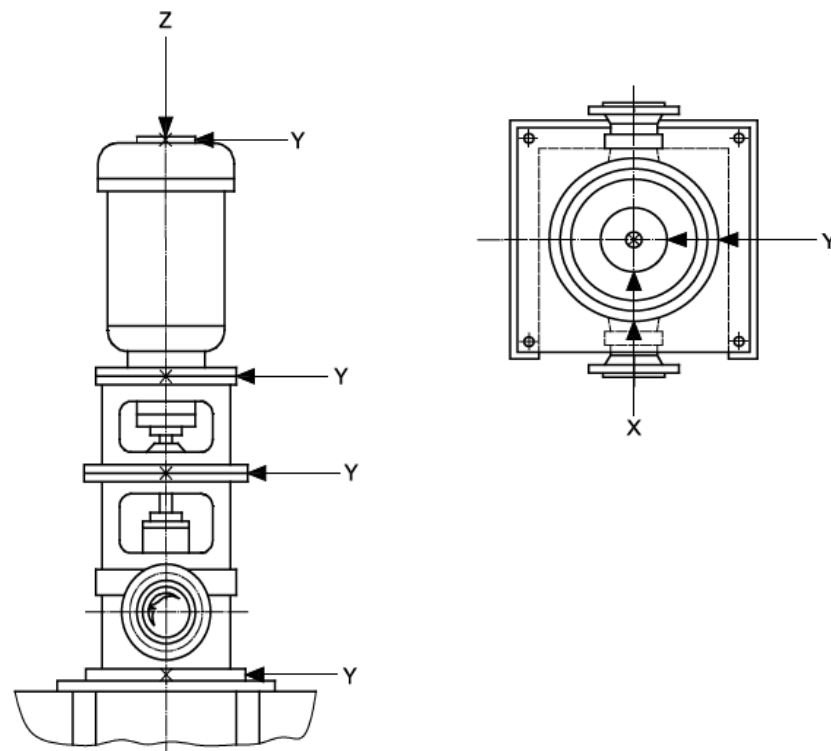


Figura 3.5: Diagrama para la ubicación de sensores en maquinaria vertical. (ISO, 2009)

3.3.3. Consideraciones de montaje.

Una vez determinada la ubicación adecuada del sensor se tiene que tomar en cuenta algunos aspectos previos al montaje. La mayoría de fabricantes se enfocan principalmente en los siguientes aspectos (Dytran Instruments Inc.):

- Tipo de acople
- Tipo de superficie
- Preparación de la superficie

3.3.3.1. Tipo de acople.

El acople entre el acelerómetro y la superficie a analizar se realiza en función de los accesorios provistos por el fabricante de los equipos. Los más comunes son un acople directo mediante un perno, mediante un acople magnético o por medio de un adhesivo industrial.

El acople directo mediante un perno es el más recomendado ya que los elementos se encuentran en contacto directo y la pérdida de información se minimiza (Dytran Instruments Inc.). Para el montaje en estos casos se recomienda emplear un torquímetro para evitar un daño al sensor. (Endevco, 2009).

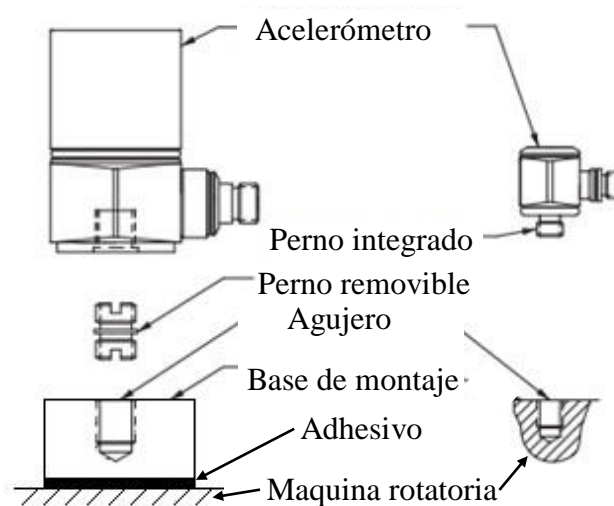


Figura 3.6: Montaje mediante perno. (Dytran Instruments Inc.)

La figura 3.6 muestra un esquema de montaje para el acople directo. El acelerómetro se puede acoplar directamente a la maquinaria rotatoria o a una base de montaje que debe estar adherida a la máquina.

El acople magnético es empleado en varias industrias en las cuales se necesita realizar mediciones en varios puntos y en intervalos de tiempo cortos debido a la facilidad de montaje y desmontaje. Este tipo de montaje se recomienda para mediciones en el caso de tener frecuencias bajas debido a la respuesta que presentan (Endevco, 2009).

Otro aspecto a tomar en cuenta es el momento del montaje debido a que la fuerza de atracción entre el acople y la máquina genera un impacto que si no se controla adecuadamente puede causar daños al sensor. La figura 3.7 muestra un esquema del montaje de este tipo de sensor.

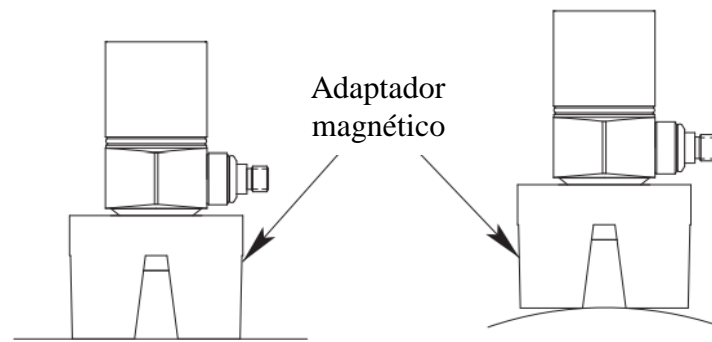


Figura 3.7: Montajes magnético. (Dytran Instruments Inc.)

Como se observa en la figura el acople puede ser empleado en superficies planas como curvas lo que facilita el análisis especialmente en motores.

Para el acople mediante adhesivos el factor de mayor importancia es el tipo de adhesivo y el grosor de capa que se forma entre el sensor y la máquina. La figura 3.8 muestra un esquema de este tipo de acople:

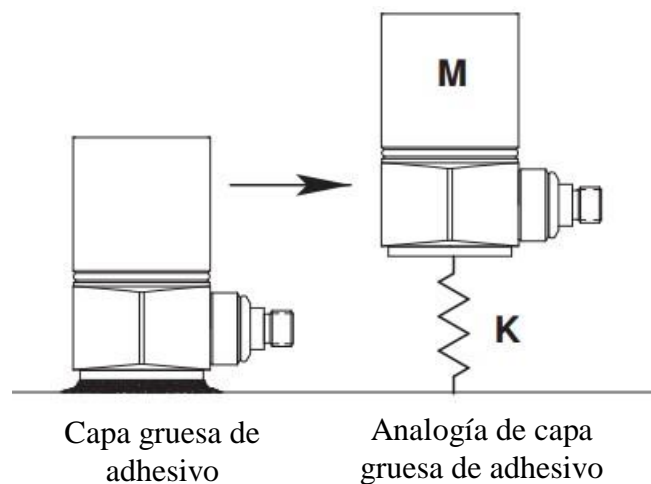


Figura 3.8: Montaje mediante adhesivos. (Dytran Instruments Inc.)

Como se observa en la figura si la capa de adhesivo es muy gruesa esta se convierte en un elemento que afecta a la transmisibilidad de la onda de vibraciones. Motivo por el cual los adhesivos recomendados para este tipo de aplicación son en base a cianoacrilato

debido a la rapidez de secado y a que la capa de adhesivo que se forma es delgada lo que evita una desviación en las medidas.

3.3.3.2. Tipo de superficie.

El caso ideal de superficie de contacto entre el sensor y la maquina sería una plana, limpia y sin capas de materiales como pintura entre los elementos para evitar cualquier error en las mediciones.

En el caso de no tener una superficie plana se pueden emplear imanes con curvatura para el acople o maquinar un área para colocar el sensor. Si existe la presencia de materiales adicionales a la estructura se debe proceder a la preparación de la superficie.

3.3.3.3. Preparación de la superficie.

Es clave recalcar que la preparación de la superficie es de suma importancia para una correcta medición. Si la maquina viene con una capa pintura de fábrica, se debe lijar o maquinar la superficie para remover cualquier presencia de la misma. Una vez realizado el trabajo se debe limpiar con un solvente para eliminar cualquier resto de partículas de metal y de contaminantes.

Con la superficie preparada se procede al montaje de los sensores o de los acoples necesarios para la máquina.

**CAPÍTULO 4: DESARROLLO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO
 APLICANDO ANÁLISIS DE VIBRACIONES – CASO DE APLICACIÓN
 FERRERO DEL ECUADOR S.A.**

4.1. Inventario de maquinaria rotativa

Bajo los parámetros mostrados previamente se realizó la recolección de datos de maquinaria en la planta de confites de la Compañía Ferrero. El levantamiento de información y su procesamiento se realizó en el período entre febrero y julio de 2015. Es importante indicar que por motivos de confidencialidad, no es factible presentar la información visual de fotografías e imágenes de los equipos analizados.

La tabla 4.1 muestra el inventario de maquinaria que cumple los requisitos para ser incluida dentro del plan de mantenimiento

Ítem	Área	Sub-área	Maquina	Descripción
1	Bassinado	Línea Neutra	BASS A01 VENT	Vent. centrífugo de ventilación
2	Bassinado	Línea Neutra	BASS A02 VENT	Vent. centrífugo de ventilación
3	Bassinado	Línea Neutra	BASS A03 VENT	Vent. centrífugo de ventilación
4	Bassinado	Línea Neutra	BASS A04 VENT	Vent. centrífugo de ventilación
5	Bassinado	Línea Neutra	BASS A05 VENT	Vent. centrífugo de ventilación
6	Bassinado	Línea Neutra	BASS A06 VENT	Vent. centrífugo de ventilación
7	Bassinado	Línea Neutra	BASS A07 VENT	Vent. centrífugo de ventilación
8	Bassinado	Línea Neutra	BASS A08 VENT	Vent. centrífugo de ventilación
9	Bassinado	Línea Neutra	BASS A09 VENT	Vent. centrífugo de ventilación
10	Bassinado	Línea Neutra	BASS A10 VENT	Vent. centrífugo de ventilación
11	Bassinado	Línea Neutra	BASS A11 VENT	Vent. centrífugo de ventilación

Ítem	Área	Sub-área	Maquina	Descripción
12	Bassinado	Línea Ácida	BASS B01 ASP	Vent. centrífugo de aspiración
13	Bassinado	Línea Ácida	BASS B02 ASP	Vent. centrífugo de aspiración
14	Bassinado	Línea Ácida	BASS B03 ASP	Vent. centrífugo de aspiración
15	Bassinado	Línea Ácida	BASS B04 ASP	Vent. centrífugo de aspiración
16	Bassinado	Línea Ácida	BASS B05 ASP	Vent. centrífugo de aspiración
17	Bassinado	Línea Ácida	BASS B07 ASP	Vent. centrífugo de aspiración
18	Bassinado	Línea Ácida	BASS B08 ASP	Vent. centrífugo de aspiración
19	Bassinado	Línea Ácida	BASS B09 ASP	Vent. centrífugo de aspiración
20	Bassinado	Línea Ácida	BASS B10 ASP	Vent. centrífugo de aspiración
21	Bassinado	Línea Ácida	BASS B11 ASP	Vent. centrífugo de aspiración
22	Bassinado	Línea Ácida	BASS B12 ASP	Vent. centrífugo de aspiración
23	Bassinado	Línea Ácida	BASS B13 ASP	Vent. centrífugo de aspiración
24	Bassinado	Línea Ácida	BASS B14 ASP	Vent. centrífugo de aspiración
25	Bassinado	Línea Ácida	BASS B15 ASP	Vent. centrífugo de aspiración
26	Bassinado	Línea Ácida	BASS B16 ASP	Vent. centrífugo de aspiración
27	Bassinado	Línea Ácida	BASS B01 VENT	Vent. centrífugo de ventilación
28	Bassinado	Línea Ácida	BASS B02 VENT	Vent. centrífugo de ventilación
29	Bassinado	Línea Ácida	BASS B03 VENT	Vent. centrífugo de ventilación
30	Bassinado	Línea Ácida	BASS B04 VENT	Vent. centrífugo de ventilación
31	Bassinado	Línea Ácida	BASS B05 VENT	Vent. centrífugo de ventilación
32	Bassinado	Línea Ácida	BASS B06 VENT	Vent. centrífugo de ventilación
33	Bassinado	Línea Ácida	BASS B07 VENT	Vent. centrífugo de ventilación
34	Bassinado	Línea Ácida	BASS B08 VENT	Vent. centrífugo de ventilación

Ítem	Área	Sub-área	Maquina	Descripción
35	Bassinado	Línea Ácida	BASS B09 VENT	Vent. centrífugo de ventilación
36	Bassinado	Línea Ácida	BASS B10 VENT	Vent. centrífugo de ventilación
37	Bassinado	Línea Ácida	BASS B11 VENT	Vent. centrífugo de ventilación
38	Bassinado	Línea Ácida	BASS B12 VENT	Vent. centrífugo de ventilación
39	Bassinado	Línea Ácida	BASS B13 VENT	Vent. centrífugo de ventilación
40	Bassinado	Línea Ácida	BASS B14 VENT	Vent. centrífugo de ventilación
41	Bassinado	Línea Ácida	BASS B15 VENT	Vent. centrífugo de ventilación
42	Bassinado	Línea Ácida	BASS B16 VENT	Vent. centrífugo de ventilación
43	Plataforma	Tanques	P.J. D13 BOMBA	Bomba lobular de transporte
44	Plataforma	Tanques	P.J. D14 BOMBA	Bomba lobular de transporte
45	Plataforma	Tanques	P.J. D15 BOMBA	Bomba lobular de transporte
46	Plataforma	Tanques	P.J. D16 BOMBA	Bomba lobular de transporte
47	Plataforma	Tanques	P.J. D17 BOMBA	Bomba lobular de transporte
48	Estampado	Granuladores	CIBEC B.VACIO 1	Bomba de vacío

Tabla 4.1: Inventario de maquinaria rotativa

Un resumen de la maquinaria encontrada se puede observar en la tabla 4.2

Descripción	Cantidad
Ventilador centrífugo de ventilación	27
Ventilador centrífugo de aspiración	15
Bomba lobular de transporte	5
Bomba de vacío	1
Total	48

Tabla 4.2: Resumen de maquinaria

De la maquinaria que se consideró para el análisis se observa que únicamente se clasifican en cuatro tipos. Siendo la mayoría, un 56% (figura 4.1) ventiladores centrífugos “de ventilación” y un 31% ventiladores centrífugos “de aspiración”. El 11% de las máquinas que corresponden a 5 unidades son bombas lobulares para el transporte de jarabe y el 2% restante es una unidad de bomba de vacío. Siendo un total de 48 equipos.

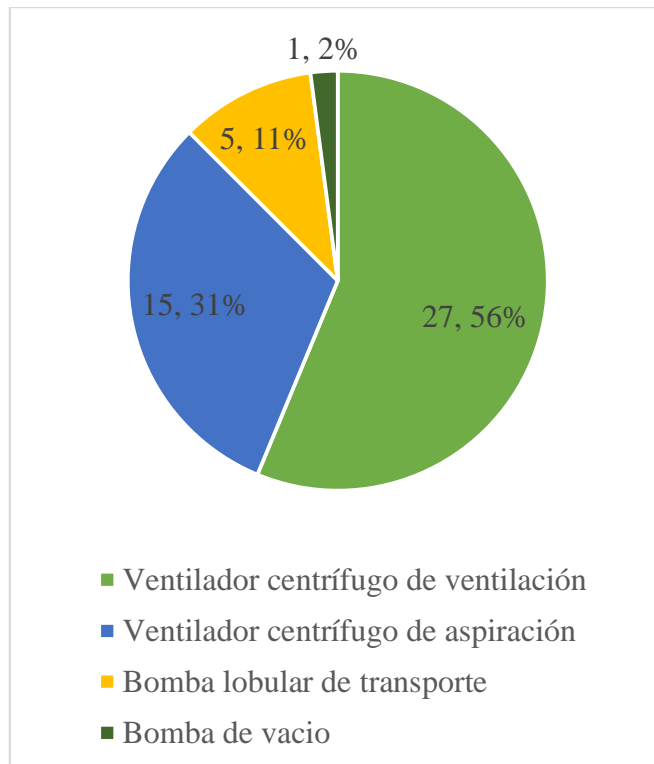


Figura 4.1: Porcentaje de distribución de equipos (48 equipos total)

4.2. Datos Vibracionales de los equipos

Los datos vibracionales de los equipos se obtuvieron de las placas de información de los motores, de hojas técnicas de las bombas y mediante la inspección visual de cada máquina. La inspección visual se la realizó durante los mantenimientos programados o en un paro de planta.

Las figuras 4.2 – 4.5 muestran las inspecciones y recolección de datos, realizados en la planta durante los mantenimientos programados.



Figura 4.2: Inspección de componentes de un ventilador centrifugo de ventilación. (Maquinaria Ferrero del Ecuador S.A.)



Figura 4.3: Inspección de componentes de un ventilador centrifugo de aspiración. (Maquinaria Ferrero del Ecuador S.A.)



Figura 4.4: Inspección de componentes de una bomba lobular. (Maquinaria Ferrero del Ecuador S.A.)



Figura 4.5: Inspección de componentes de la bomba de vacío. (Maquinaria Ferrero del Ecuador S.A.)

Con los datos recolectados se procede a generar la base de datos en el software del equipo Fluke 810. Un ejemplo de los datos registrados se puede observar en la figura 4.6.

Detalles de configuración de máquina

Número de serie de dispositivo : PC desktop
 Configuración de máquina : BASS A01 VENT

Campo configuración	Entrada
Tipo de motor	CA
Motor CA con variador de velocidad	No
Velocidad en RPM	3480
Kw nominales	3.73
Motor instalado	Horizontal
El motor tiene	Rodamiento
Motor desacoplado del tren de accionamiento	No
Motor con acoplamiento compacto	Sí
Motor atornillado directamente a	Vent.
Nº de paletas del ventilador [opcional]	8

Figura 4.6: Ejemplo de datos vibracionales de los equipos

El registro completo de datos vibracionales se puede observar en el Anexo 2.

4.2.1. Ventiladores centrífugos de ventilación.

Analizando los datos vibracionales de los equipos obtenidos se observa que los ventiladores centrífugos de ventilación tienen características similares. Únicamente la velocidad en RPM y la potencia de los motores presentan variaciones. Para el análisis mediante vibraciones el factor clave es la velocidad en RPM ya que es la que determina la frecuencia fundamental en el espectro.

La tabla 4.3 muestra los valores máximos y mínimos de las velocidades rotacionales. Junto con la diferencia máxima porcentual entre los valores.

Factor	Línea neutra	Línea ácida
Número de Equipos	11	16
Velocidad Mínima (RPM)	3450	3410
Velocidad Máxima (RPM)	3480	3510
Variación máxima (RPM)	30	100

Tabla 4.3: Análisis de velocidades de rotación. Ventilación

La pequeña diferencia existente indica que una falla potencial mostrada en un espectro vibracional puede servir como referencia futura para el análisis de las otras máquinas.

4.2.2. Ventiladores centrífugos de aspiración.

Los registros para los ventiladores centrífugos de aspiración indican un resultado similar al de los ventiladores centrífugos de ventilación. Con la excepción de la máquina BASS B03 ASP que tiene una velocidad rotacional de 2905 RPM, el mismo concepto de análisis se puede aplicar. La tabla 4.4 muestra el análisis realizado para las 14 máquinas.

Factor	Línea ácida
Número de Equipos	15
Velocidad Mínima (RPM)	3470
Velocidad Máxima (RPM)	3508
Variación máxima (RPM)	38

Tabla 4.4: Análisis de velocidades de rotación. Aspiración.

4.2.3. Bombas lobulares.

Las bombas lobulares ubicadas en la planta tienen las mismas características. Únicamente existe una variación en la velocidad para 2 motores. En lugar de tener una

velocidad rotacional de 1720RPM son de 1735RPM, pero como se mostró anteriormente no afecta al análisis ya que el tren de transmisión es igual en los 5 casos.

4.2.4. Bomba de vacío.

La bomba de vacío que cumplió las condiciones para ser considerada en la base de datos es única por lo que los problemas presentes en este caso no se pueden relacionar con el resto de maquinaria.

4.3. Base de datos para la aplicación de software comercial

El software incluido para la creación de la base de datos se denomina Fluke 810 Viewer (Versión 1.5.21). Las configuraciones de las máquinas se pueden realizar en el Analizador de Vibraciones Fluke 810 o directamente en el software. La figura 4.7 muestra la base de datos creada para la maquinaria previamente seleccionada.

Desde la base de datos se pueden observar los datos vibracionales para cada equipo. Las figuras 4.8 – 4.10 muestran las visualizaciones para distintas configuraciones de máquinas ingresadas en la base de datos

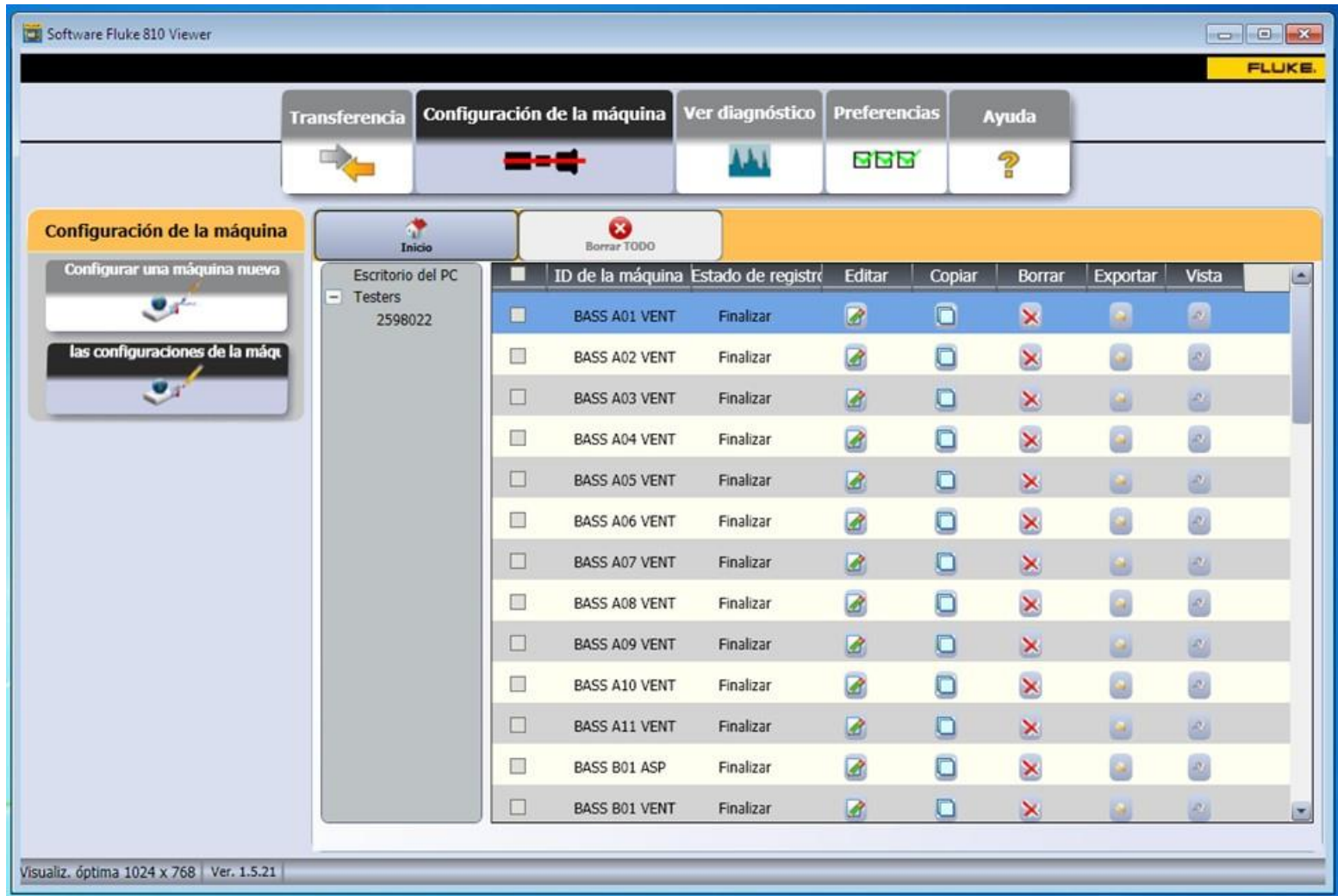


Figura 4.7: Base de datos de maquinaria rotativa (Fluke 810 Viewer)

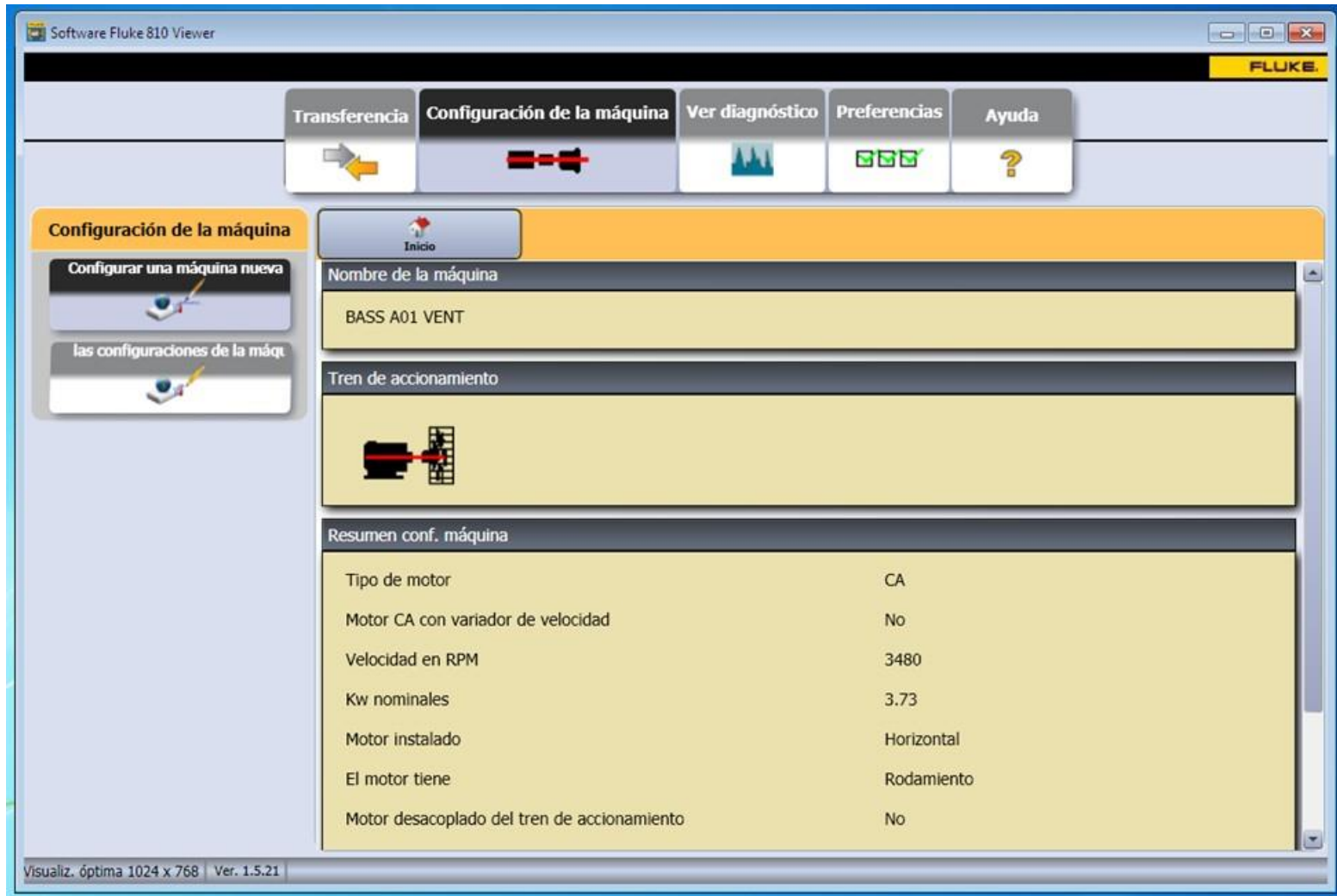


Figura 4.8: Datos vibracionales para un ventilador centrifugo (Fluke 810 Viewer)

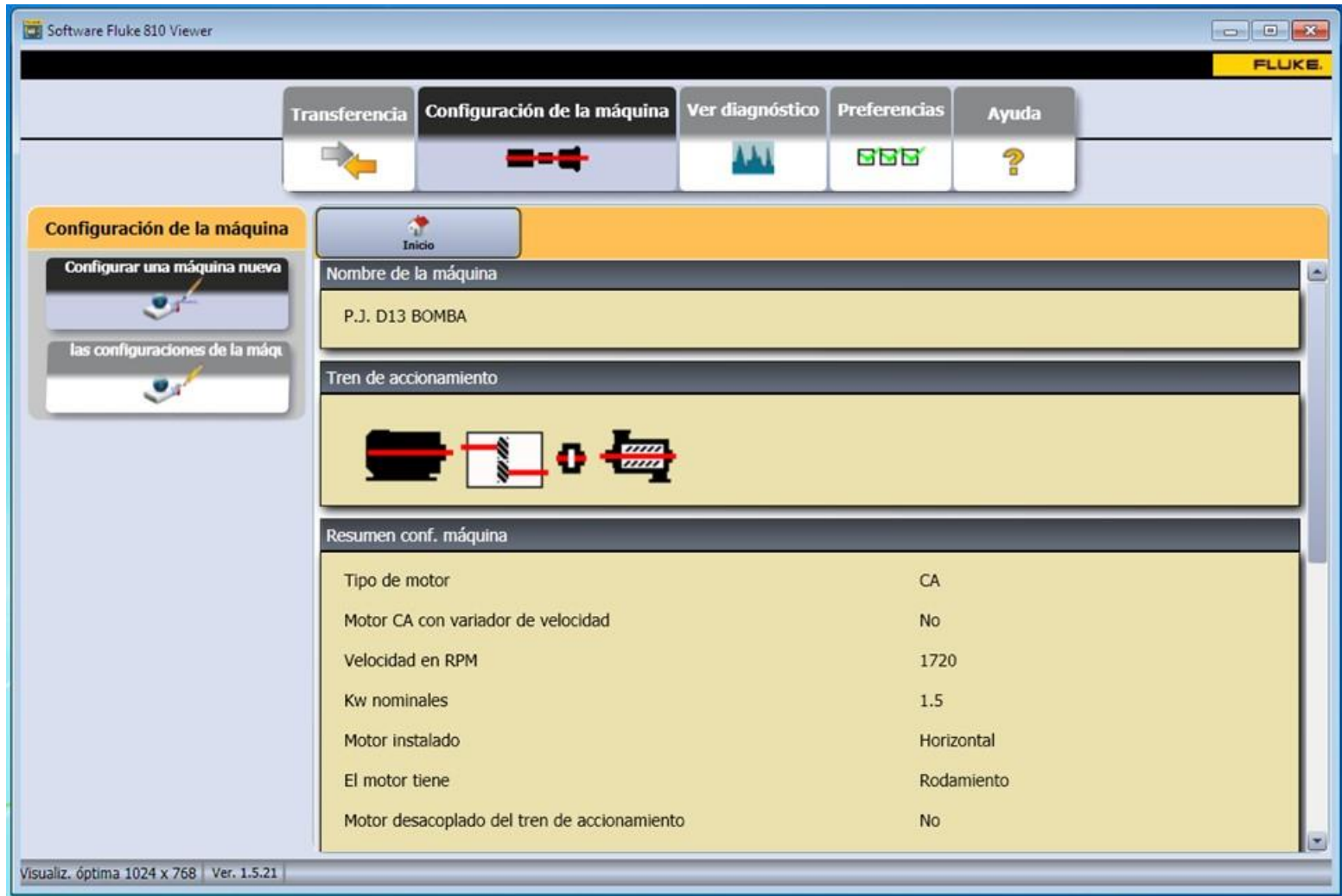


Figura 4.9: Datos Vibracionales para una bomba lobular con caja reductora (Fluke 810 Viewer)

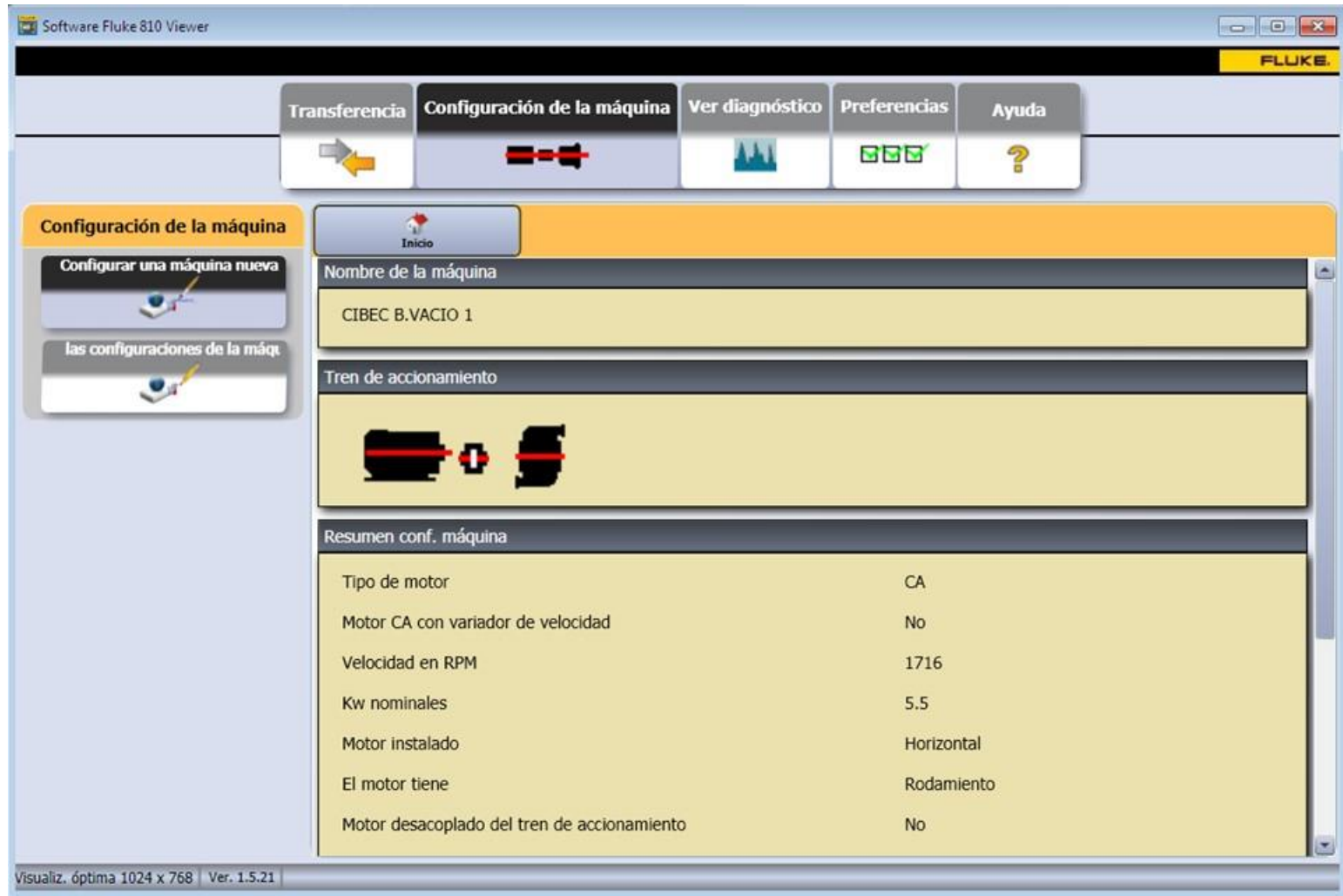


Figura 4.10: Datos vibracionales para una bomba de vacío (Fluke 810 Viewer)

4.4. Determinación del tipo de montaje de los sensores

Como se mencionó previamente el acople para el montaje de los sensores es de suma importancia para una correcta medición. En este caso el equipo provee al usuario con acoples mediante pernos, acople magnético y con bases de montaje para el acople mediante pernos.

En base al tipo de maquinaria que se dispone en la planta el acople a emplear inicialmente sería el magnético para los motores y en aquellos componentes que se disponga una superficie plana, prepararla para acoplar las bases de montaje con adhesivo y emplear el acople mediante perno.

4.4.1. Selección de adhesivos

Se consultó con un distribuidor autorizado de Fluke y con previos usuarios del equipo, externos a Ferrero del Ecuador, para determinar el tipo de adhesivo a emplear. Fluke recomienda el adhesivo Loctite 499 y los usuarios externos el adhesivo Loctite 454. La tabla 4.5 muestra un resumen de las características de los adhesivos.

Descripción	Adhesivo	
	Loctite 499	Loctite 454
Tecnología	Cianoacrilato	Cianoacrilato
Tipo	Gel	Gel
Tiempo de curado	24h	24h
Tiempo de fijación (s)		
Acero	50-100	60-210
Aluminio	15-40	3-10
Esfuerzo Cortante, curado (MPa)		
Acero	18 - 26	19 - 28
Aluminio	11 - 19	4 - 10
Resistencia solventes (% esfuerzo inicial)		
Aceite @ 100H	100	95
Aceite @ 500H	100	75
Aceite @ 1000H	95	65

Tabla 4.5: Resumen especificaciones técnicas adhesivos. (Loctite, 2007) (Loctite, 2008)

Como se observa en la tabla los adhesivos 499 y 454 tienen características similares en cuanto al tipo y tecnología. El tiempo de fijación (tiempo en desarrollar una resistencia de 0.1Mpa) no presenta grandes variaciones para los materiales sobre los cuales se va a aplicar.

En términos de esfuerzos desarrollados, en el caso de que la base de aplicación sea acero, los valores son similares. Para el aluminio el adhesivo 499 desarrolla una resistencia equivalente al doble de la desarrollada por el adhesivo 454.

La gran diferencia radica en la resistencia a los solventes, mientras el adhesivo 499 no presenta gran disminución del porcentaje de resistencia sobre el tiempo, llegando hasta un 95%, transcurrida 1000 horas de exposición, el adhesivo 454 presenta la misma reducción en un periodo de 100 horas.

En función de la maquinaria que cumple los parámetros para entrar al plan de mantenimiento, se determina que ambos adhesivos se pueden emplear, otorgando preferencia al recomendado por el fabricante.

4.5. Desarrollo del plan de mantenimiento

Se desarrolla una hoja de datos en Microsoft Excel para el registro de datos. Los datos a registrar son los siguientes:

- Valores picos de vibraciones en cada eje
 - Axial
 - Radial
 - Tangencial
- Presencia de problemas comunes
 - Desbalance
 - Desalineación
 - Holguras
 - Falla de Rodamientos
 - Otros problemas

El tiempo entre mediciones como se mencionó previamente se determina en función del intervalo P-F y el plan de mantenimiento anual. Se ha determinado que un intervalo de 3 meses entre mediciones es adecuado en un principio. Cabe mencionar que este intervalo puede variar en función de los diagnósticos obtenidos.

4.5.1. Registro de datos

El formato a emplear para el registro de datos se puede observar en la figura 4.11. En este se incluyen los sistemas, los ejes de análisis y la presencia de las fallas comunes que pueden ser detectadas por el equipo.

4.5.1.1. Valores de vibraciones.

Los valores pico de vibraciones se registraran para cada eje y servirán para el desarrollo de tendencias en cada equipo.

Se toma en cuenta el valor en la frecuencia fundamental y en el armónico más representativo. De esta forma se pueden comparar con los espectros de vibraciones que se presentaron en la sección 2.4.3.

4.5.1.2. Presencia de problemas comunes.

En el diagnóstico presentado por el equipo muestra la presencia de problemas comunes en maquinaria rotativa, y una calificación entre 0-100.

En la hoja de datos se deberán registrar la presencia de estas fallas potenciales y el valor para determinar la severidad de cada problema. En el caso de registrarse una falla no identificada se registra el nivel de severidad y se tiene que comparar los espectros obtenidos para determinar un posible tipo de falla.

Excel interface showing a spreadsheet titled "PMP AV.xlsx". The ribbon includes FILE, HOME, INSERT, PAGE LAYOUT, FORMULAS, DATA, REVIEW, and VIEW. The font is Calibri, size 11. The spreadsheet content is as follows:

FERRERO

Fecha: 01/08/2015
 Revisión: 02
 Código: PMP-AV

Predictivo Análisis de Vibraciones

Máquina, Sistema	1er trimestre			2do trimestre			3er trimestre			4to trimestre		
	Axial	Radial	Tangencial	Axial	Radial	Tangencial	Axial	Radial	Tangencial	Axial	Radial	Tangencial
BASS A01 VENT												
Desbalance												
Desalineación												
Holguras												
Falla Rodamientos												
Otros Problemas												
BASS A02 VENT												
BASS A03 VENT												
Desbalance												
Desalineación												
Holguras												
Falla Rodamientos												
Otros Problemas												
BASS A04 VENT												
BASS A05 VENT												
BASS A06 VENT												
BASS A07 VENT												
BASS A08 VENT												
BASS A09 VENT												
BASS A10 VENT												
BASS A07 VENT												
BASS A08 VENT												
BASS A09 VENT												
BASS A10 VENT												

Figura 4.11: Formato de registro de datos. (Elaboración propia)

4.6. Espectros de vibraciones de referencia

En base a lo presentado en la sección 2.4 es importante tener espectros de vibraciones de referencia para la comparación, tanto para maquinaria en buen estado como aquella que presenta una falla potencial.

Los espectros presentados a continuación fueron obtenidos de maquinarias de la planta con configuraciones similares a las que se incluyen en este plan de mantenimiento por lo que sirven como referencias para algunas de las fallas que se pueden mostrar. Se muestran los espectros para distintos niveles de severidad.

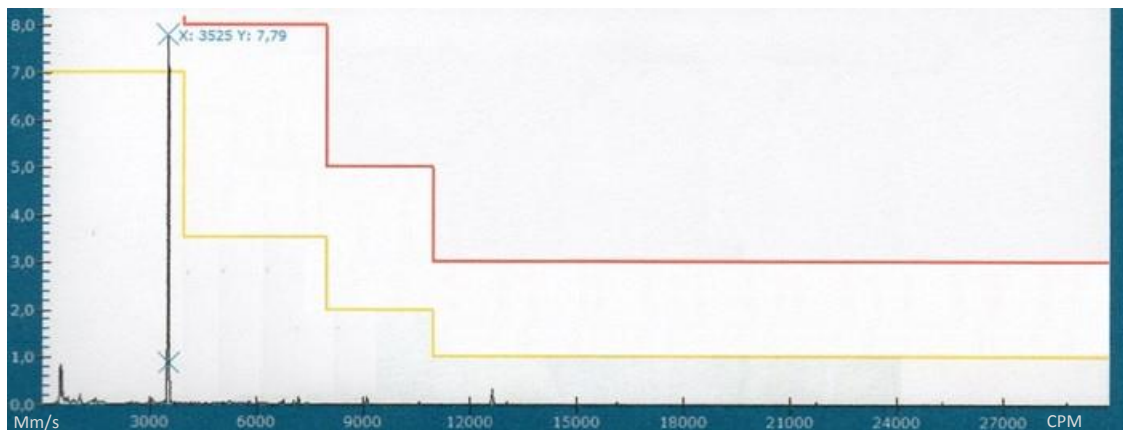


Figura 4.12: Espectro de vibraciones, maquinaria en condición normal. (VibroControl, 2013)

La figura 4.12 muestra un espectro de vibraciones para una maquinaria rotativa en buenas condiciones. Se observa que el pico más elevado se encuentra en la frecuencia fundamental, que corresponde al valor de las revoluciones por minuto del motor. El valor de la velocidad pico en ese punto es de 7.79 mm/s. En las frecuencias superiores no se observa ningún pico que exceda 1.0mm/s para la velocidad.

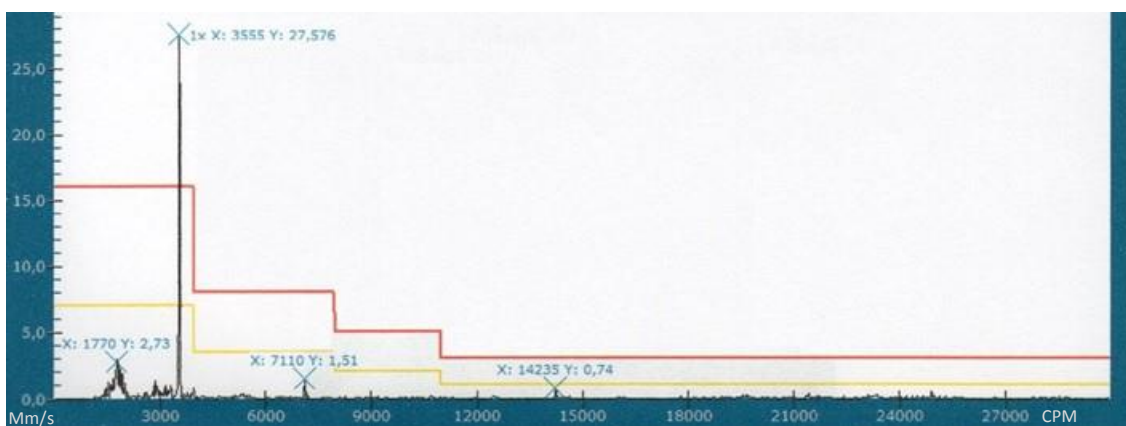


Figura 4.13: Espectro de vibraciones, maquinaria con desbalanceo grave. (VibroControl, 2013)

En la figura 4.13 se presenta un espectro de vibraciones para una maquinaria rotativa con problemas de desbalanceo. El valor de la velocidad en la frecuencia fundamental se eleva hasta un valor de 27.6 mm/s. Excediendo los límites permisibles para este tipo de maquinaria.



Figura 4.14: Espectro de vibraciones, maquinaria en condición severa. (VibroControl, 2013)

Continuando, en la figura 4.14 se presenta un espectro de vibraciones para una maquinaria en condición severa. Como se observa existe un pico de velocidad que excede los 70mm/s para frecuencia fundamental y los valores de velocidad para frecuencias

elevadas mayores a 18000 cpm (ciclos por minuto) se encuentran alrededor de los 5mm/s indicando una falla potencial, muy cercana a la falla funcional, en los rodamientos.

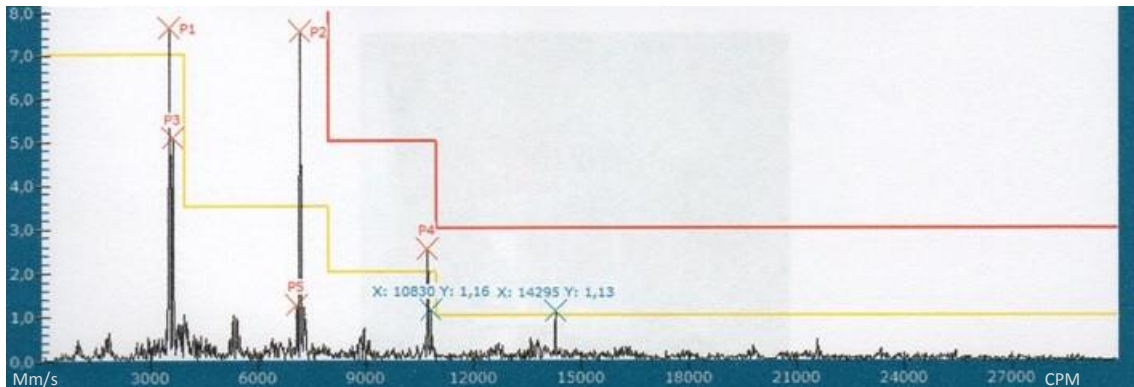


Figura 4.15: Espectro de vibraciones, maquinaria con holgura grave. (VibroControl, 2013)

Finalmente la figura 4.15 muestra un espectro de vibraciones para una maquinaria con un problema de holgura debido a la presencia de picos en el segundo, tercer y cuarto armónico y en subarmónicos 1.5X y 2.5X. El valor pico en el segundo armónico se encuentra alrededor de los 7.8 mm/s igualando al valor en la frecuencia fundamental.

Todos estos espectros sirven como referencia para problemas comunes que se pueden encontrar en la maquinaria rotativa presente en la planta de Tic Tac.

Según se puede observar en los espectros mostrados en las figuras anteriores, las propiedades dinámicas del motor sirven como indicadores de su funcionamiento. Específicamente, la caracterización del tipo de fallo depende de las frecuencias de vibración medidas en el sistema.

Por lo tanto, para la implementación del plan de mantenimiento preventivo, es necesario asociar una frecuencia dada con el correspondiente tipo de fallo. Esto se hará para cada una de las 48 máquinas que han sido contempladas dentro de este estudio, a medida de que se sigan recopilando datos que permitan crear un historial del

comportamiento de las mismas. Se espera que en 12 meses se hayan recogido los datos necesarios y se disponga de toda la información para contar con un plan de mantenimiento preventivo completamente implementado.

4.7. Evaluación de implementación

Actualmente la planta industrial dispone del equipo de análisis de vibraciones por lo que no se requiere de una inversión inicial en instrumentación. Esto implica que la única inversión necesaria previa a la implementación es en la capacitación del personal de mantenimiento.

La certificación internacional de Análisis de Vibraciones ISO Categoría I incluye un temario donde se revisan los temas necesarios de principios de vibraciones, adquisición de datos y un análisis de vibraciones básico. Esta certificación dotaría a los técnicos con el conocimiento necesario para realizar mediciones adecuadamente.

Inicialmente se puede implementar el programa empleando el montaje mediante un acople magnético donde sea posible y el acople directo mediante perno en el resto de lugares. Una vez implementado se debe reducir el uso del acople magnético debido al posible daño que puede sufrir el sensor en el montaje y desmontaje.

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- La diferencia y los aspectos claves y deficiencias de cada tipo de mantenimiento a realizar en una planta industrial queda establecida.
- La implementación del plan de mantenimiento involucra el entrenamiento del personal de mantenimiento del equipo en la teoría del análisis de vibraciones y del reconocimiento de espectros de vibraciones
- Se determinó los requerimientos básicos para el desarrollo de un plan de mantenimiento en base a normativas y lineamientos de instituciones especializadas en el tema.
- Se estableció que la maquinaria a incluir en el plan de mantenimiento aparte de cumplir con los requisitos establecidos por la normativa, a la vez debe cumplir con las restricciones impuestas por el instrumento analizador de vibraciones, para este proyecto el instrumento Fluke 810.
- El registro donde se muestren espectros de vibraciones para las fallas potenciales es importante para la comparación, en caso de presentarse alguna falla no identificada por el instrumento o para corroborar una falla común detectada.
- En función de las capacidades del equipo los parámetros adecuados a registrar son los valores picos de vibraciones presentadas en cada eje y la presencia de fallas potenciales con su severidad.
- Debido a la presencia de maquinaria rotativa que involucra ventiladores acoplados directamente la necesidad de un correcto montaje de sensores es un parámetro fundamental para determinar problemas en el eje radial.

- La importancia de una correcta ubicación de los sensores implica una medición adecuada con la menor cantidad de problemas por lo que es necesario preparar adecuadamente la superficie donde se ubique el sensor.
- Se estableció los tipos de adhesivos adecuados a emplear en el montaje. En este caso vienen a ser adhesivos Loctite 499 o 454. Es una marca disponible en el mercado local y en el caso de no disponer del adhesivo recomendado por el fabricante (Loctite 499) se puede aplicar el recomendado por los usuarios externos a la empresa (Loctite 454) debido a la similitud de características.
- Se determinó, en base al intervalo P-F para esta técnica de mantenimiento predictivo y al cronograma de mantenimiento de la planta, las mediciones se pueden realizar en intervalos de 3 meses.
- La maquinaria que cumple con los requisitos, de normativas y limitaciones del instrumento de análisis, asciende a 48 unidades.
- Se incluye un registro de espectros de vibraciones reales para realizar comparaciones en las fallas más comunes encontradas en el tipo de maquinaria incluida dentro del plan de mantenimiento.

5.2. Recomendaciones

- Previo a la implementación del plan de mantenimiento se debe capacitar al personal que vaya a utilizar en instrumento analizador de vibraciones.
- Se recomienda obtener una base de datos de espectros vibracionales más amplia que involucre fallos no comunes de componentes que se encontraron en la planta industrial.

- Evitar el uso del acople magnético para el sensor debido a los riesgos que este presenta. La facilidad de daño del sensor incrementa al montaje y desmontaje del mismo.
- Instalar bases de montaje fijas para un acople mediante perno removible en toda la maquinaria de tal forma que la ubicación de los sensores no varié entre cada mantenimiento.

CAPÍTULO 6: BIBLIOGRAFÍA

- Agilent Technologies. (2002). *Fundamentals of Signal Analysis Series, Introduction to Time, Frequency and Modal Domains*. Application Note.
- Ben-Daya, M., Duffuaa, S., Raouf, A., Knezevic, J., & Ait-Kadi, D. (2009). *Handbook of Maintenance Management and Engineering*. Springer.
- Cuatrecasas, L., & Torrell, F. (2010). *TPM en un entorno Lean Management*. Barcelona: Profit Editorial.
- Dytran Instruments Inc. (s.f.). *Accelerometer Mounting Considerations*. Chatsworth: Dytran Instruments Inc.
- Emerson Process Management. (2011). *High Frequency Vibration Analysis*. Emerson Process Management.
- Endevco. (2009). *Guide to accelerometer installation*. Endevco.
- EPRI. (2006). *Vibration Monitoring and Analysis Program Development Interim Guideline*. Palo Alto: EPRI.
- Fluke. (2010). *Vibration Tester 810 Guia de referencia rápida*. Fluke Corporation.
- Fluke. (2010). *Vibration Tester 810 Users Manual*. Fluke Corporation.
- Fluke. (s.f.). *Fluke 810 Vibration Tester*. Recuperado el 20 de Junio de 2015, de Fluke: <http://en-us.fluke.com/products/vibration-meters-and-laser-alignment-tools/fluke-810-vibration.html>
- Hewlett Packard. (s.f.). *Effective Machinery Measurements using Dynamic Signal Analyzers*. Hewlett Packard.
- IMMP. (2015). *Análsis de Vibraciones ISO Categoría I*. Recuperado el 16 de Julio de 2015, de Instituto Mexicano de Mantenimiento Predictivo: <http://www.immp.com.mx/av1.html>
- ISO. (2001). *ISO 7919-2 - Mechanical vibration Evaluation of machine vibration by measurements on rotating shafts*. ISO.
- ISO. (2003). *ISO 17359 - Condition monitoring and diagnostics of machines — General guidelines*. ISO.
- ISO. (2009). *ISO 10816-3 - Mechanical Vibration - Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts*. ISO.
- Loctite. (2007). *TDS Loctite 454*. Henkel Loctite.
- Loctite. (2008). *TDS Loctite 499*. Henkel Loctite.
- Moubray, J. (1997). *Reliability-centered Maintenance II*. New York: Industrial Press Inc.
- Palmer, R. (2012). *Maintenance Planning and Scheduling Handbook* (3ra ed ed.). McGraw-Hill.

Scheffer, C., & Girdhar, P. (2004). *Practical Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance*. Elsevier Limited.

Shrotri, A., & Khandagale, S. (Abril de 2012). Design of a Predictive Maintenance Program. *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*, I(4).

VibroControl. (2013). *Informe técnico de la inspección vibracional de las v ntolas de las bassinas de la línea A y B*. Quito.

ANEXO A: DATOS TÉCNICOS FLUKE 810



DATOS TÉCNICOS

Analizador de vibraciones Fluke 810



Características y ventajas

- La identificación y localización conjunta de las averías mecánicas más comunes (cojinetes, alineación incorrecta, desequilibrio, holguras) concentra los trabajos de mantenimiento en el origen del problema, con lo que se reducen los tiempos de parada no planificados.
- El nivel de vibración general le permite evaluar de manera rápida el funcionamiento global de la máquina, directamente desde la pantalla de diagnóstico.
- Los cuatro niveles de la escala de gravedad de las fallas lo ayudan a establecer prioridades entre los trabajos de mantenimiento.
- Las recomendaciones de reparación les sugieren a los técnicos cuáles son las medidas correctivas que se deben implementar.
- Los informes detallados de diagnóstico, junto con los diagramas espectrales, ayudan a confirmar la calidad de los datos y a acotar las posibilidades para determinar la causa que dio origen a la falla.
- La ayuda en pantalla sensible al contexto ofrece un conjunto de consejos en tiempo real y sirve de guía a los usuarios nuevos.
- La configuración flexible de la velocidad de la máquina le brinda la posibilidad de evaluar una amplia gama de elementos que incluyen sistemas de transmisión, cajas de cambios y engranajes cónicos.
- La memoria integrada ampliable de 2 GB proporciona el espacio suficiente para los datos de su máquina.
- La función de autocomprobación garantiza un rendimiento óptimo y más tiempo en el trabajo.
- El tacómetro láser proporciona precisión en la medición de la velocidad de los equipos y favorece un diagnóstico seguro.
- El acelerómetro triaxial reduce el tiempo de medición en 2/3, en comparación con los acelerómetros axiales de eje único.
- El software Viewer para PC amplía la capacidad de almacenamiento de datos y el seguimiento de los equipos.

La herramienta de solución de problemas más avanzada para los equipos de mantenimiento mecánico que necesitan una respuesta inmediata. La exclusiva tecnología de diagnóstico lo ayuda rápidamente a identificar y priorizar los problemas mecánicos y pone a su alcance la experiencia de un analista en vibraciones.

Se sentirá orgulloso de su instalación, de su equipo y de su trabajo. A pesar de hacer todo lo posible por mantener sus equipos en marcha, a veces no se dispone ni del tiempo suficiente ni de los recursos necesarios para estar al día con la carga de trabajo y, mucho menos, para ser proactivo en el mantenimiento mecánico. Disfrute de la ventaja que le ofrece el analizador de vibraciones Fluke 810 al combinar un poderoso motor de diagnóstico con un sencillo proceso, paso a paso, para generar informes sobre las fallas específicas de la máquina y su gravedad la primera vez que se realizan las mediciones, sin historial de medición previo. Las mediciones de vibración general y los diagramas espectrales le permiten a los técnicos evaluar rápidamente el funcionamiento de la máquina, mientras que los informes mejorados y las recomendaciones prácticas le brindan la confianza que necesita para atender primero los problemas más críticos.

Use el analizador de vibraciones Fluke 810 para las siguientes tareas:

- Solucionar rápidamente los problemas que presentan los equipos y comprender la causa principal de las averías.
- Inspeccionar el equipo antes y después del mantenimiento planificado y confirmar la reparación.
- Poner en marcha los equipos nuevos y garantizar una instalación correcta.
- Proporcionar una prueba cuantificable de las condiciones de trabajo de los equipos e impulsar las inversiones para la reparación o sustitución de los equipos.
- Priorizar y planificar las reparaciones y trabajar con mayor eficiencia.
- Anticiparse a la aparición de averías en los equipos y tener el control sobre el inventario de piezas de recambio.
- Formar a técnicos nuevos o con menor experiencia para mejorar la propia confianza y las habilidades en el seno del equipo de mantenimiento.



Especificaciones del analizador									
Especificaciones de diagnóstico									
Averías estándar	Desequilibrio, holgura, alineación incorrecta y averías en los rodamientos								
Análisis para	Motores, ventiladores, correas y cadenas de transmisión, cajas de cambios y engranajes, acoplamientos, bombas (centrífugas, de pistón, de paletas deslizantes, de propulsión, de tornillo, de rotación de rosca, de engranajes, lobulares), compresores de pistón, compresores centrífugos, compresores de tornillo, máquinas con acoplamientos compactos, husillos								
Rango de velocidad de rotación de la máquina	200 rpm a 12.000 rpm								
Detalles de diagnóstico	Diagnósticos claros con indicaciones de gravedad de la avería (leve, moderada, grave, crítica), detalles de reparación, picos experimentados, espectros								
Especificaciones eléctricas									
Rango	Automático								
Convertidor A/D	4 canales, 24 bits								
Ancho de banda usable de alta frecuencia	5 Hz a 20 kHz								
Funciones de procesamiento de señales digitales	Filtro anti-alias configurado automáticamente, filtro paso alto, eliminación, superposición, presentación en ventana, FFT, cálculo de la media								
Frecuencia de muestreo	2,56 kHz a 51,2 kHz								
Rango dinámico	128 dB								
Relación señal/ruido	100 dB								
Resolución FFT	800 líneas								
Ventanas espectrales	Hanning								
Unidades de frecuencia	Hz, órdenes, cpm								
Unidades de amplitud	in/seg, mm/seg, VdB (EE. UU.), VdB* (Europa)								
Memoria no volátil	Tarjeta de memoria micro SD, 2 GB de memoria interna + almacenamiento de 2 GB adicional a través de ranura accesible para el usuario								
Especificaciones generales									
Dimensiones (A x P x AN)	18,56 cm x 7 cm x 26,72 cm (7,3 pulg. x 2,76 pulg. x 10,52 pulg.)								
Peso (con batería)	1,9 kg (4,2 lb)								
Pantalla	¼ VGA, 320 x 240 color (5,7 pulg. en diagonal) TFT LCD con retroiluminación de LED								
Conexiones de entrada/salida	<table border="1"> <tr> <td>Conexión de sensor triaxial</td> <td>Conector M12 de 4 patillas</td> </tr> <tr> <td>Conexión de sensor de eje único</td> <td>Conector BNC</td> </tr> <tr> <td>Conexión de tacómetro</td> <td>Conexión mini DIN de 6 patillas</td> </tr> <tr> <td>Conexión a PC</td> <td>Conector mini 'B' USB (2.0)</td> </tr> </table>	Conexión de sensor triaxial	Conector M12 de 4 patillas	Conexión de sensor de eje único	Conector BNC	Conexión de tacómetro	Conexión mini DIN de 6 patillas	Conexión a PC	Conector mini 'B' USB (2.0)
Conexión de sensor triaxial	Conector M12 de 4 patillas								
Conexión de sensor de eje único	Conector BNC								
Conexión de tacómetro	Conexión mini DIN de 6 patillas								
Conexión a PC	Conector mini 'B' USB (2.0)								
Batería	<table border="1"> <tr> <td>Tipo de batería</td> <td>Ión-litio, 14,8 V, 2,55 Ah</td> </tr> <tr> <td>Tiempo de carga de la batería</td> <td>Tres horas</td> </tr> <tr> <td>Tiempo de descarga de la batería</td> <td>Ocho horas (en condiciones normales)</td> </tr> </table>	Tipo de batería	Ión-litio, 14,8 V, 2,55 Ah	Tiempo de carga de la batería	Tres horas	Tiempo de descarga de la batería	Ocho horas (en condiciones normales)		
Tipo de batería	Ión-litio, 14,8 V, 2,55 Ah								
Tiempo de carga de la batería	Tres horas								
Tiempo de descarga de la batería	Ocho horas (en condiciones normales)								
Adaptador de red CA	<table border="1"> <tr> <td>Tensión de entrada</td> <td>100 V CA a 240 V CA</td> </tr> <tr> <td>Frecuencia de entrada</td> <td>50/60 Hz</td> </tr> </table>	Tensión de entrada	100 V CA a 240 V CA	Frecuencia de entrada	50/60 Hz				
Tensión de entrada	100 V CA a 240 V CA								
Frecuencia de entrada	50/60 Hz								
Sistema operativo	WinCE 6.0 Core								
Idiomas	Inglés, francés, alemán, italiano, japonés, portugués, chino simplificado, español								
Garantía	Tres años								
Medioambiental									
Temperatura de funcionamiento	0 °C a 50 °C (32 °F a 122 °F)								
Temperatura de almacenamiento	-20 °C a 60 °C (-4 °F a 140 °F)								
Humedad de funcionamiento	De 10 a 95 % H.R. (sin condensación)								
Certificaciones reconocidas	CHINA RoHS, CSA, CE, C-TICK, RAEE								
Compatibilidad electromagnética	EN 61326-1:2006, EN 61010-1:2001 2a edición.								

Especificaciones del sensor		
Tipo de sensor	Acelerómetro	
Sensibilidad	100 mV/g ($\pm 5\%$, 25 °C)	
Rango de aceleración	Pico de 80 g	
No linealidad en amplitud	1 %	
Respuesta en frecuencia	Z X, Y	De 2 a 7000 Hz ± 3 dB De 2 a 5000 Hz ± 3 dB
Requisitos de alimentación (IEPE)	18 V CC a 30 V CC, 2 mA a 10 mA	
Tensión de salida de polarización	12 V CC	
Conexión a tierra	Carcasa con conexión a tierra	
Diseño del elemento sensor	Cerámicas piezoeléctricas/corte	
Material del estuche	Acero inoxidable 316L	
Soporte montaje	Tornillo prisionero de cabeza redonda 10-32, imán de tierras raras de 2 polos (resistencia a la tracción de 21,7 Kg)	
Conector de salida	M12 de 4 patillas	
Conector de acoplamiento	M12 - F4D	
Memoria no volátil	Compatible con TEDS 1451.4	
Límite de vibración	Pico de 500 g	
Límite de impacto	Pico de 5000 g	
Sensibilidad electromagnética, equivalente en g	100 μ g/gauss	
Sellado	Hermético	
Rango de temperatura	-50 °C a 120 °C (-58 °F a 248 °F) $\pm 7\%$	
Garantía	Un año	
Especificaciones del tacómetro		
Dimensiones (PxAN)	2,86 cm x 12,19 cm (1,125 pulg. x 4,80 pulg.)	
Peso	96 g (3,4 oz) con cable	
Alimentación	Alimentación a través del analizador de vibraciones 810	
Detección	Diodo láser clase 2	
Rango	6,0 rpm a 99.999 rpm	
Precisión	6,0 rpm a 5999,9 rpm 5999,9 rpm a 99.999 rpm	$\pm 0,01\%$ y ± 1 dígito $\pm 0,05\%$ y ± 1 dígito
Resolución	0,1 rpm	
Rango efectivo	1 cm a 100 cm (0,4 pulg. a 39,27 pulg.)	
Tiempo de respuesta	1 segundo (> 60 rpm)	
Controles	Botón transparente de encendido/apagado de la medición	
Interfaz	Mini DIN 6 patillas	
Longitud del cable	50 cm (19,586 pulg.)	
Garantía	Un año	
Accesorios del tacómetro	Cinta reflectante: 1,5 cm x 52,5 cm (0,59 pulg. x 20,67 pulg.)	
Software Viewer para PC		
Requisitos mínimos del hardware	1 GB de RAM	
Requisitos del sistema operativo	Windows XP, Vista, Windows 7	




Software Viewer para PC

El analizador de vibraciones Fluke 810 incluye el software Viewer para PC que amplía su capacidad de almacenamiento de datos y de seguimiento. Con el software Viewer usted podrá:

- Generar informes de diagnóstico y realizar un seguimiento de la gravedad del estado de su máquina.
- Crear configuraciones de equipos cómodamente, a través del teclado y el ratón, y transferir los datos a su analizador de vibraciones 810.
- Ver con mayor detalle los espectros de diagnóstico y vibración.
- Importar y almacenar imágenes en JPEG e imágenes térmicas en IS2 de Fluke para lograr una visualización más completa del estado de su máquina.



Formación líder en la industria, a su medida

El analizador de vibraciones Fluke 810 diagnostica con precisión los problemas mecánicos más comunes, lo que permite una mejor comprensión de la vibración y de su impacto en el equipo, para que su personal sea más consciente de los problemas que pueden aparecer en el futuro. Fluke se ha asociado con Mobius Institute, líder de la industria en formación sobre vibraciones, para ofrecerle un programa de formación autodidacta en DVD que utiliza las galardonadas herramientas de formación interactiva de Mobius Institute. Este DVD está disponible a la venta y le permitirá aprender más sobre las cuestiones básicas de la vibración, a la vez que le mostrará cómo sacar el máximo provecho de las características y funcionalidad del analizador de vibraciones Fluke 810.



Información para realizar pedidos

Fluke-810 Analizador de vibraciones

Accesorios incluidos

Analizador de vibraciones con tecnología de diagnóstico, acelerómetro triaxial TEDS, soporte magnético para el acelerómetro, kit de montaje con adhesivo para el acelerómetro, cable de desconexión rápida del acelerómetro, tacómetro láser y bolsa de almacenamiento, juego de baterías inteligentes con cable y adaptadores, correa para hombro, correa de mano ajustable, software Viewer para PC, cable mini-USB a USB, guía de introducción, guía rápida de referencia ilustrada, manual de usuario en CD-ROM, DVD de capacitación y maletín de transporte rígido.



Fluke. Manteniendo su mundo en marcha.

Fluke Corporation
Everett, WA 98206 EE.UU.

Latin America
Tel: +1 (425) 446-5500
Web: www.fluke.com/laam

Para obtener información adicional póngase en contacto con:
En EE. UU. (800) 443-8853 o
Fax (425) 446-5116
En Europa/Medio Oriente/Africa
+31 (0)40 267 5100 o
Fax +31 (0)40 267 5222
En Canadá (800)-36-FLUKE o
Fax +1 (425) 446-5116
Acceso a Internet: www.fluke.com

©2015 Fluke Corporation. Reservados todos los derechos. Impreso en los Países Bajos. Información sujeta a modificación sin previo aviso.
5/2015 3964541-d_LAES

No está permitido modificar este documento sin autorización por escrito de Fluke Corporation.

ANEXO B: HOJAS DE DATOS VIBRACIONALES

Número de serie de dispositivo : PC desktop

Configuración de máquina : BASS A01 VENT

Campo configuración	Entrada
Tipo de motor	CA
Motor CA con variador de velocidad	No
Velocidad en RPM	3480
Kw nominales	3.73
Motor instalado	Horizontal
El motor tiene	Rodamiento
Motor desacoplado del tren de accionamiento	No
Motor con acoplamiento compacto	Sí
Motor atornillado directamente a	Vent.
Nº de paletas del ventilador [opcional]	8

Número de serie de PC desktop

dispositivo :

Configuración de máquina : BASS A02 VENT

Campo configuración	Entrada
Tipo de motor	CA
Motor CA con variador de velocidad	No
Velocidad en RPM	3470
Kw nominales	3
Motor instalado	Horizontal
El motor tiene	Rodamiento
Motor desacoplado del tren de accionamiento	No
Motor con acoplamiento compacto	Sí
Motor atornillado directamente a	Vent.
Nº de paletas del ventilador [opcional]	8

Número de serie de dispositivo : PC desktop

Configuración de máquina : BASS A03 VENT

Campo configuración	Entrada
Tipo de motor	CA
Motor CA con variador de velocidad	No
Velocidad en RPM	3480
Kw nominales	3.73
Motor instalado	Horizontal
El motor tiene	Rodamiento
Motor desacoplado del tren de accionamiento	No
Motor con acoplamiento compacto	Sí
Motor atornillado directamente a	Vent.
Nº de paletas del ventilador [opcional]	8

Número de serie de dispositivo : PC desktop

Configuración de máquina : BASS A04 VENT

Campo configuración	Entrada
Tipo de motor	CA
Motor CA con variador de velocidad	No
Velocidad en RPM	3480
Kw nominales	3.73
Motor instalado	Horizontal
El motor tiene	Rodamiento
Motor desacoplado del tren de accionamiento	No
Motor con acoplamiento compacto	Sí
Motor atornillado directamente a	Vent.
Nº de paletas del ventilador [opcional]	8

Número de serie de dispositivo : PC desktop

Configuración de máquina : BASS A05 VENT

Campo configuración	Entrada
Tipo de motor	CA
Motor CA con variador de velocidad	No
Velocidad en RPM	3460
Kw nominales	3.73
Motor instalado	Horizontal
El motor tiene	Rodamiento
Motor desacoplado del tren de accionamiento	No
Motor con acoplamiento compacto	Sí
Motor atornillado directamente a	Vent.
Nº de paletas del ventilador [opcional]	8

Número de serie de dispositivo : PC desktop

Configuración de máquina : BASS A06 VENT

Campo configuración	Entrada
Tipo de motor	CA
Motor CA con variador de velocidad	No
Velocidad en RPM	3480
Kw nominales	3.73
Motor instalado	Horizontal
El motor tiene	Rodamiento
Motor desacoplado del tren de accionamiento	No
Motor con acoplamiento compacto	Sí
Motor atornillado directamente a	Vent.
Nº de paletas del ventilador [opcional]	8

Número de serie de dispositivo : PC desktop

Configuración de máquina : BASS A07 VENT

Campo configuración	Entrada
Tipo de motor	CA
Motor CA con variador de velocidad	No
Velocidad en RPM	3480
Kw nominales	3.73
Motor instalado	Horizontal
El motor tiene	Rodamiento
Motor desacoplado del tren de accionamiento	No
Motor con acoplamiento compacto	Sí
Motor atornillado directamente a	Vent.
Nº de paletas del ventilador [opcional]	8

Número de serie de dispositivo : PC desktop

Configuración de máquina : BASS A08 VENT

Campo configuración	Entrada
Tipo de motor	CA
Motor CA con variador de velocidad	No
Velocidad en RPM	3460
Kw nominales	3.73
Motor instalado	Horizontal
El motor tiene	Rodamiento
Motor desacoplado del tren de accionamiento	No
Motor con acoplamiento compacto	Sí
Motor atornillado directamente a	Vent.
Nº de paletas del ventilador [opcional]	8

Número de serie de dispositivo : PC desktop

Configuración de máquina : BASS A09 VENT

Campo configuración	Entrada
Tipo de motor	CA
Motor CA con variador de velocidad	No
Velocidad en RPM	3460
Kw nominales	3.73
Motor instalado	Horizontal
El motor tiene	Rodamiento
Motor desacoplado del tren de accionamiento	No
Motor con acoplamiento compacto	Sí
Motor atornillado directamente a	Vent.
Nº de paletas del ventilador [opcional]	8

Número de serie de dispositivo : PC desktop

Configuración de máquina : BASS A10 VENT

Campo configuración	Entrada
Tipo de motor	CA
Motor CA con variador de velocidad	No
Velocidad en RPM	3477
Kw nominales	2.2
Motor instalado	Horizontal
El motor tiene	Rodamiento
Motor desacoplado del tren de accionamiento	No
Motor con acoplamiento compacto	Sí
Motor atornillado directamente a	Vent.
Nº de paletas del ventilador [opcional]	8

Número de serie de dispositivo : PC desktop

Configuración de máquina : BASS A11 VENT

Campo configuración	Entrada
Tipo de motor	CA
Motor CA con variador de velocidad	No
Velocidad en RPM	3450
Kw nominales	2.64
Motor instalado	Horizontal
El motor tiene	Rodamiento
Motor desacoplado del tren de accionamiento	No
Motor con acoplamiento compacto	Sí
Motor atornillado directamente a	Vent.
Nº de paletas del ventilador [opcional]	8

Número de serie de dispositivo : PC desktop

Configuración de máquina : BASS B01 ASP

Campo configuración	Entrada
Tipo de motor	CA
Motor CA con variador de velocidad	No
Velocidad en RPM	3480
Kw nominales	3.73
Motor instalado	Vertical
El motor tiene	Rodamiento
Motor desacoplado del tren de accionamiento	No
Motor con acoplamiento compacto	Sí
Motor atornillado directamente a	Vent.
Nº de paletas del ventilador [opcional]	10

Número de serie de dispositivo : PC desktop

Configuración de máquina : BASS B02 ASP

Campo configuración	Entrada
Tipo de motor	CA
Motor CA con variador de velocidad	No
Velocidad en RPM	3480
Kw nominales	3.73
Motor instalado	Vertical
El motor tiene	Rodamiento
Motor desacoplado del tren de accionamiento	No
Motor con acoplamiento compacto	Sí
Motor atornillado directamente a	Vent.
Nº de paletas del ventilador [opcional]	10

Número de serie de dispositivo : PC desktop

Configuración de máquina : BASS B03 ASP

Campo configuración	Entrada
Tipo de motor	CA
Motor CA con variador de velocidad	No
Velocidad en RPM	2905
Kw nominales	4.6
Motor instalado	Horizontal
El motor tiene	Rodamiento
Motor desacoplado del tren de accionamiento	No
Motor con acoplamiento compacto	Sí
Motor atornillado directamente a	Vent.
Nº de paletas del ventilador [opcional]	10

Número de serie de dispositivo : PC desktop

Configuración de máquina : BASS B04 ASP

Campo configuración	Entrada
Tipo de motor	CA
Motor CA con variador de velocidad	No
Velocidad en RPM	3508
Kw nominales	3.73
Motor instalado	Vertical
El motor tiene	Rodamiento
Motor desacoplado del tren de accionamiento	No
Motor con acoplamiento compacto	Sí
Motor atornillado directamente a	Vent.
Nº de paletas del ventilador [opcional]	10

Número de serie de dispositivo : PC desktop

Configuración de máquina : BASS B05 ASP

Campo configuración	Entrada
Tipo de motor	CA
Motor CA con variador de velocidad	No
Velocidad en RPM	3480
Kw nominales	3.73
Motor instalado	Vertical
El motor tiene	Rodamiento
Motor desacoplado del tren de accionamiento	No
Motor con acoplamiento compacto	Sí
Motor atornillado directamente a	Vent.
Nº de paletas del ventilador [opcional]	10

Número de serie de dispositivo : PC desktop

Configuración de máquina : BASS B07 ASP

Campo configuración	Entrada
Tipo de motor	CA
Motor CA con variador de velocidad	No
Velocidad en RPM	3508
Kw nominales	3.73
Motor instalado	Vertical
El motor tiene	Rodamiento
Motor desacoplado del tren de accionamiento	No
Motor con acoplamiento compacto	Sí
Motor atornillado directamente a	Vent.
Nº de paletas del ventilador [opcional]	10

Número de serie de dispositivo : PC desktop

Configuración de máquina : BASS B08 ASP

Campo configuración	Entrada
Tipo de motor	CA
Motor CA con variador de velocidad	No
Velocidad en RPM	3480
Kw nominales	3.73
Motor instalado	Vertical
El motor tiene	Rodamiento
Motor desacoplado del tren de accionamiento	No
Motor con acoplamiento compacto	Sí
Motor atornillado directamente a	Vent.
Nº de paletas del ventilador [opcional]	10

Número de serie de dispositivo : PC desktop

Configuración de máquina : BASS B09 ASP

Campo configuración	Entrada
Tipo de motor	CA
Motor CA con variador de velocidad	No
Velocidad en RPM	3480
Kw nominales	3.73
Motor instalado	Vertical
El motor tiene	Rodamiento
Motor desacoplado del tren de accionamiento	No
Motor con acoplamiento compacto	Sí
Motor atornillado directamente a	Vent.
Nº de paletas del ventilador [opcional]	10

Número de serie de dispositivo : PC desktop

Configuración de máquina : BASS B10 ASP

Campo configuración	Entrada
Tipo de motor	CA
Motor CA con variador de velocidad	No
Velocidad en RPM	3480
Kw nominales	3.73
Motor instalado	Vertical
El motor tiene	Rodamiento
Motor desacoplado del tren de accionamiento	No
Motor con acoplamiento compacto	Sí
Motor atornillado directamente a	Vent.
Nº de paletas del ventilador [opcional]	10

Número de serie de dispositivo : PC desktop

Configuración de máquina : BASS B11 ASP

Campo configuración	Entrada
Tipo de motor	CA
Motor CA con variador de velocidad	No
Velocidad en RPM	3480
Kw nominales	3.73
Motor instalado	Vertical
El motor tiene	Rodamiento
Motor desacoplado del tren de accionamiento	No
Motor con acoplamiento compacto	Sí
Motor atornillado directamente a	Vent.
Nº de paletas del ventilador [opcional]	10

Número de serie de dispositivo : PC desktop

Configuración de máquina : BASS B12 ASP

Campo configuración	Entrada
Tipo de motor	CA
Motor CA con variador de velocidad	No
Velocidad en RPM	3470
Kw nominales	3
Motor instalado	Vertical
El motor tiene	Rodamiento
Motor desacoplado del tren de accionamiento	No
Motor con acoplamiento compacto	Sí
Motor atornillado directamente a	Vent.
Nº de paletas del ventilador [opcional]	10

Número de serie de dispositivo : PC desktop

Configuración de máquina : BASS B13 ASP

Campo configuración	Entrada
Tipo de motor	CA
Motor CA con variador de velocidad	No
Velocidad en RPM	3480
Kw nominales	3.73
Motor instalado	Vertical
El motor tiene	Rodamiento
Motor desacoplado del tren de accionamiento	No
Motor con acoplamiento compacto	Sí
Motor atornillado directamente a	Vent.
Nº de paletas del ventilador [opcional]	10

Número de serie de dispositivo : PC desktop

Configuración de máquina : BASS B14 ASP

Campo configuración	Entrada
Tipo de motor	CA
Motor CA con variador de velocidad	No
Velocidad en RPM	3480
Kw nominales	3.73
Motor instalado	Vertical
El motor tiene	Rodamiento
Motor desacoplado del tren de accionamiento	No
Motor con acoplamiento compacto	Sí
Motor atornillado directamente a	Vent.
Nº de paletas del ventilador [opcional]	10

Número de serie de dispositivo : PC desktop

Configuración de máquina : BASS B15 ASP

Campo configuración	Entrada
Tipo de motor	CA
Motor CA con variador de velocidad	No
Velocidad en RPM	3480
Kw nominales	3.73
Motor instalado	Vertical
El motor tiene	Rodamiento
Motor desacoplado del tren de accionamiento	No
Motor con acoplamiento compacto	Sí
Motor atornillado directamente a	Vent.
Nº de paletas del ventilador [opcional]	10

Número de serie de dispositivo : PC desktop

Configuración de máquina : BASS B16 ASP

Campo configuración	Entrada
Tipo de motor	CA
Motor CA con variador de velocidad	No
Velocidad en RPM	3508
Kw nominales	3.73
Motor instalado	Vertical
El motor tiene	Rodamiento
Motor desacoplado del tren de accionamiento	No
Motor con acoplamiento compacto	Sí
Motor atornillado directamente a	Vent.
Nº de paletas del ventilador [opcional]	10

Número de serie de dispositivo : PC desktop

Configuración de máquina : BASS B01 VENT

Campo configuración	Entrada
Tipo de motor	CA
Motor CA con variador de velocidad	No
Velocidad en RPM	3508
Kw nominales	3.73
Motor instalado	Horizontal
El motor tiene	Rodamiento
Motor desacoplado del tren de accionamiento	No
Motor con acoplamiento compacto	Sí
Motor atornillado directamente a	Vent.
Nº de paletas del ventilador [opcional]	8

Número de serie de dispositivo : PC desktop

Configuración de máquina : BASS B02 VENT

Campo configuración	Entrada
Tipo de motor	CA
Motor CA con variador de velocidad	No
Velocidad en RPM	3480
Kw nominales	3.73
Motor instalado	Horizontal
El motor tiene	Rodamiento
Motor desacoplado del tren de accionamiento	No
Motor con acoplamiento compacto	Sí
Motor atornillado directamente a	Vent.
Nº de paletas del ventilador [opcional]	8

Número de serie de dispositivo : PC desktop

Configuración de máquina : BASS B03 VENT

Campo configuración	Entrada
Tipo de motor	CA
Motor CA con variador de velocidad	No
Velocidad en RPM	3480
Kw nominales	3.73
Motor instalado	Horizontal
El motor tiene	Rodamiento
Motor desacoplado del tren de accionamiento	No
Motor con acoplamiento compacto	Sí
Motor atornillado directamente a	Vent.
Nº de paletas del ventilador [opcional]	8

Número de serie de dispositivo : PC desktop

Configuración de máquina : BASS B04 VENT

Campo configuración	Entrada
Tipo de motor	CA
Motor CA con variador de velocidad	No
Velocidad en RPM	3510
Kw nominales	3.73
Motor instalado	Horizontal
El motor tiene	Rodamiento
Motor desacoplado del tren de accionamiento	No
Motor con acoplamiento compacto	Sí
Motor atornillado directamente a	Vent.
Nº de paletas del ventilador [opcional]	8

Número de serie de dispositivo : PC desktop

Configuración de máquina : BASS B05 VENT

Campo configuración	Entrada
Tipo de motor	CA
Motor CA con variador de velocidad	No
Velocidad en RPM	3480
Kw nominales	3.73
Motor instalado	Horizontal
El motor tiene	Rodamiento
Motor desacoplado del tren de accionamiento	No
Motor con acoplamiento compacto	Sí
Motor atornillado directamente a	Vent.
Nº de paletas del ventilador [opcional]	8

Número de serie de dispositivo : PC desktop

Configuración de máquina : BASS B06 VENT

Campo configuración	Entrada
Tipo de motor	CA
Motor CA con variador de velocidad	No
Velocidad en RPM	3480
Kw nominales	3.73
Motor instalado	Horizontal
El motor tiene	Rodamiento
Motor desacoplado del tren de accionamiento	No
Motor con acoplamiento compacto	Sí
Motor atornillado directamente a	Vent.
Nº de paletas del ventilador [opcional]	8

Número de serie de dispositivo : PC desktop

Configuración de máquina : BASS B07 VENT

Campo configuración	Entrada
Tipo de motor	CA
Motor CA con variador de velocidad	No
Velocidad en RPM	3480
Kw nominales	3.73
Motor instalado	Horizontal
El motor tiene	Rodamiento
Motor desacoplado del tren de accionamiento	No
Motor con acoplamiento compacto	Sí
Motor atornillado directamente a	Vent.
Nº de paletas del ventilador [opcional]	8

Número de serie de dispositivo : PC desktop

Configuración de máquina : BASS B08 VENT

Campo configuración	Entrada
Tipo de motor	CA
Motor CA con variador de velocidad	No
Velocidad en RPM	3508
Kw nominales	3.73
Motor instalado	Horizontal
El motor tiene	Rodamiento
Motor desacoplado del tren de accionamiento	No
Motor con acoplamiento compacto	Sí
Motor atornillado directamente a	Vent.
Nº de paletas del ventilador [opcional]	8

Número de serie de dispositivo : PC desktop

Configuración de máquina : BASS B09 VENT

Campo configuración	Entrada
Tipo de motor	CA
Motor CA con variador de velocidad	No
Velocidad en RPM	3480
Kw nominales	3.73
Motor instalado	Horizontal
El motor tiene	Rodamiento
Motor desacoplado del tren de accionamiento	No
Motor con acoplamiento compacto	Sí
Motor atornillado directamente a	Vent.
Nº de paletas del ventilador [opcional]	8

Número de serie de dispositivo : PC desktop

Configuración de máquina : BASS B10 VENT

Campo configuración	Entrada
Tipo de motor	CA
Motor CA con variador de velocidad	No
Velocidad en RPM	3480
Kw nominales	3.73
Motor instalado	Horizontal
El motor tiene	Rodamiento
Motor desacoplado del tren de accionamiento	No
Motor con acoplamiento compacto	Sí
Motor atornillado directamente a	Vent.
Nº de paletas del ventilador [opcional]	8

Número de serie de dispositivo : PC desktop

Configuración de máquina : BASS B11 VENT

Campo configuración	Entrada
Tipo de motor	CA
Motor CA con variador de velocidad	No
Velocidad en RPM	3470
Kw nominales	3
Motor instalado	Horizontal
El motor tiene	Rodamiento
Motor desacoplado del tren de accionamiento	No
Motor con acoplamiento compacto	Sí
Motor atornillado directamente a	Vent.
Nº de paletas del ventilador [opcional]	8

Número de serie de dispositivo : PC desktop

Configuración de máquina : BASS B12 VENT

Campo configuración	Entrada
Tipo de motor	CA
Motor CA con variador de velocidad	No
Velocidad en RPM	3450
Kw nominales	2.2
Motor instalado	Horizontal
El motor tiene	Rodamiento
Motor desacoplado del tren de accionamiento	No
Motor con acoplamiento compacto	Sí
Motor atornillado directamente a	Vent.
Nº de paletas del ventilador [opcional]	8

Número de serie de dispositivo : PC desktop

Configuración de máquina : BASS B13 VENT

Campo configuración	Entrada
Tipo de motor	CA
Motor CA con variador de velocidad	No
Velocidad en RPM	3477
Kw nominales	2.2
Motor instalado	Horizontal
El motor tiene	Rodamiento
Motor desacoplado del tren de accionamiento	No
Motor con acoplamiento compacto	Sí
Motor atornillado directamente a	Vent.
Nº de paletas del ventilador [opcional]	8

Número de serie de dispositivo : PC desktop

Configuración de máquina : BASS B14 VENT

Campo configuración	Entrada
Tipo de motor	CA
Motor CA con variador de velocidad	No
Velocidad en RPM	3477
Kw nominales	2.2
Motor instalado	Horizontal
El motor tiene	Rodamiento
Motor desacoplado del tren de accionamiento	No
Motor con acoplamiento compacto	Sí
Motor atornillado directamente a	Vent.
Nº de paletas del ventilador [opcional]	8

Número de serie de dispositivo : PC desktop

Configuración de máquina : BASS B15 VENT

Campo configuración	Entrada
Tipo de motor	CA
Motor CA con variador de velocidad	No
Velocidad en RPM	3450
Kw nominales	2.64
Motor instalado	Horizontal
El motor tiene	Rodamiento
Motor desacoplado del tren de accionamiento	No
Motor con acoplamiento compacto	Sí
Motor atornillado directamente a	Vent.
Nº de paletas del ventilador [opcional]	8

Número de serie de dispositivo : PC desktop

Configuración de máquina : BASS B16 VENT

Campo configuración	Entrada
Tipo de motor	CA
Motor CA con variador de velocidad	No
Velocidad en RPM	3410
Kw nominales	2.24
Motor instalado	Horizontal
El motor tiene	Rodamiento
Motor desacoplado del tren de accionamiento	No
Motor con acoplamiento compacto	Sí
Motor atornillado directamente a	Vent.
Nº de paletas del ventilador [opcional]	8

Número de serie de dispositivo : PC desktop
 Configuración de máquina : P.J. D13 BOMBA

Campo configuración	Entrada
Tipo de motor	CA
Motor CA con variador de velocidad	No
Velocidad en RPM	1720
Kw nominales	1.5
Motor instalado	Horizontal
El motor tiene	Rodamiento
Motor desacoplado del tren de accionamiento	No
Motor con acoplamiento compacto	No
Acoplamiento entre el motor y el siguiente componente	No
Siguiente componente	Caja cambios
Tipo de soporte de la caja de cambios	Rodamiento
Nº de cambios de velocidad internos en la caja de cambios	1
¿Qué se conoce?	Relación trans
Relación de A	4.77
Relación de A a	1
Hay un acop. flexi. entre la caja engrana. y el siguiente compo.	Sí
Siguiente componente al que la caja de cambios está unida	Bomba
Tipo de soporte del componente actuado	Rodamiento
Tipo de bomba	Engra/torni
Nº de dientes/lóbulos [opcional]	3

Número de serie de dispositivo : PC desktop
 Configuración de máquina : P.J. D14 BOMBA

Campo configuración	Entrada
Tipo de motor	CA
Motor CA con variador de velocidad	No
Velocidad en RPM	1735
Kw nominales	1.5
Motor instalado	Horizontal
El motor tiene	Rodamiento
Motor desacoplado del tren de accionamiento	No
Motor con acoplamiento compacto	No
Acoplamiento entre el motor y el siguiente componente	No
Siguiente componente	Caja cambios
Tipo de soporte de la caja de cambios	Rodamiento
Nº de cambios de velocidad internos en la caja de cambios	1
¿Qué se conoce?	Relación trans
Relación de A	4.77
Relación de A a	1
Hay un acop. flexi. entre la caja engrana. y el siguiente compo.	Sí
Siguiente componente al que la caja de cambios está unida	Bomba
Tipo de soporte del componente actuado	Rodamiento
Tipo de bomba	Engra/torni
Nº de dientes/lóbulos [opcional]	3

Número de serie de dispositivo : PC desktop
 Configuración de máquina : P.J. D15 BOMBA

Campo configuración	Entrada
Tipo de motor	CA
Motor CA con variador de velocidad	No
Velocidad en RPM	1735
Kw nominales	1.5
Motor instalado	Horizontal
El motor tiene	Rodamiento
Motor desacoplado del tren de accionamiento	No
Motor con acoplamiento compacto	No
Acoplamiento entre el motor y el siguiente componente	No
Siguiente componente	Caja cambios
Tipo de soporte de la caja de cambios	Rodamiento
Nº de cambios de velocidad internos en la caja de cambios	1
¿Qué se conoce?	Relación trans
Relación de A	4.77
Relación de A a	1
Hay un acop. flexi. entre la caja engrana. y el siguiente compo.	Sí
Siguiente componente al que la caja de cambios está unida	Bomba
Tipo de soporte del componente actuado	Rodamiento
Tipo de bomba	Engra/torni
Nº de dientes/lóbulos [opcional]	3

Número de serie de dispositivo : PC desktop

Configuración de máquina : P.J. D16 BOMBA

Campo configuración	Entrada
Tipo de motor	CA
Motor CA con variador de velocidad	No
Velocidad en RPM	1720
Kw nominales	1.5
Motor instalado	Horizontal
El motor tiene	Rodamiento
Motor desacoplado del tren de accionamiento	No
Motor con acoplamiento compacto	No
Acoplamiento entre el motor y el siguiente componente	No
Siguiente componente	Caja cambios
Tipo de soporte de la caja de cambios	Rodamiento
Nº de cambios de velocidad internos en la caja de cambios	1
¿Qué se conoce?	Relación trans
Relación de A	4.77
Relación de A a	1
Hay un acop. flexi. entre la caja engrana. y el siguiente compo.	Sí
Siguiente componente al que la caja de cambios está unida	Bomba
Tipo de soporte del componente actuado	Rodamiento
Tipo de bomba	Engra/torni
Nº de dientes/lóbulos [opcional]	3

Número de serie de dispositivo : PC desktop
 Configuración de máquina : P.J. D17 BOMBA

Campo configuración	Entrada
Tipo de motor	CA
Motor CA con variador de velocidad	No
Velocidad en RPM	1720
Kw nominales	1.5
Motor instalado	Horizontal
El motor tiene	Rodamiento
Motor desacoplado del tren de accionamiento	No
Motor con acoplamiento compacto	No
Acoplamiento entre el motor y el siguiente componente	No
Siguiente componente	Caja cambios
Tipo de soporte de la caja de cambios	Rodamiento
Nº de cambios de velocidad internos en la caja de cambios	1
¿Qué se conoce?	Relación trans
Relación de A	4.77
Relación de A a	1
Hay un acop. flexi. entre la caja engrana. y el siguiente compo.	Sí
Siguiente componente al que la caja de cambios está unida	Bomba
Tipo de soporte del componente actuado	Rodamiento
Tipo de bomba	Engra/torni
Nº de dientes/lóbulos [opcional]	3

Número de serie de dispositivo : PC desktop

Configuración de máquina : CIBEC B.VACIO 1

Campo configuración	Entrada
Tipo de motor	CA
Motor CA con variador de velocidad	No
Velocidad en RPM	1716
Kw nominales	5.5
Motor instalado	Horizontal
El motor tiene	Rodamiento
Motor desacoplado del tren de accionamiento	No
Motor con acoplamiento compacto	No
Acoplamiento entre el motor y el siguiente componente	Sí
Siguiente componente	Bomba
Tipo de soporte del componente actuado	Rodamiento
Tipo de bomba	Centrífugo
Rodete soportado por:	Dos cojinetes
Nº de venas o aspas de la bomba [opcional]	17

