Universidad Zaragoza
1542

Proyecto Fin de Carrera

Metodología de implantación para el desarrollo de la Función Mantenimiento en una empresa o reingeniería de la Función Mantenimiento.

Autor

Ramón Arizaga Arcelus

Directores

Rubén Campos Hijós

Antonio Garcés Tébar

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR, HUESCA

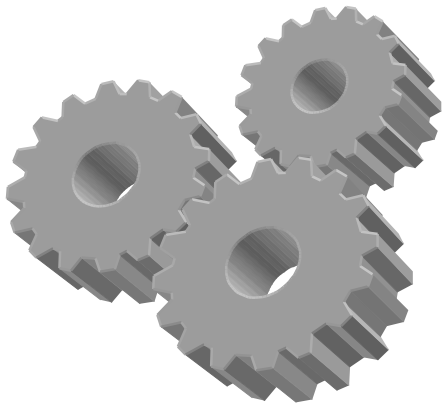
2013

Repositorio de la Universidad de Zaragoza – Zaguan

http://zaguan.unizar.es

PROYECTO

METODOLOGIA DE IMPLANTACION PARA EL DESARROLLO DE LA FUNCION MANTENIMIENTO EN UNA EMPRESA O REINGENIERIA DE MANTENIMIENTO

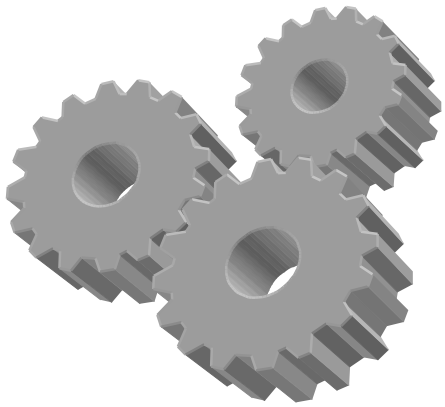


Autor: Ramon Arizaga Arcelus

PROYECTO

METODOLOGIA DE IMPLANTACION PARA EL DESARROLLO DE LA FUNCION MANTENIMIENTO EN UNA EMPRESA O REINGENIERIA DE MANTENIMIENTO

PRELIMINAR



Autor: Ramon Arizaga Arcelus

AGRADECIMIENTOS

- ✓ ***D.Jose María Sarasua* (+)**

  Emprendedor, de enorme espíritu cooperativista.

Por haber promovido y haber contribuido eficazmente en el desarrollo del Proyecto COMON.

- ✓ ***D. Zoran Juric.***

  Consultor y fundador del grupo MANTECNOLOGIA. Gran conocedor de la Función Mantenimiento.

Por haber actuado como catalizador del Proyecto de Implantación del GMAO y Mantenimiento Predictivo en Fagor Ederlan.

- ✓ ***D. Sebastian Herruzo.***

  Técnico de Mantenimiento Predictivo en FagorEderlan. Especialista en Termogafria y Análisis de Vibraciones.

Por la información facilitada sobre la práctica cotidiana del Mantenimiento Predictivo.

- ✓ ***D. Jose Antonio Rojo Peinado.***

  Especialista en análisis de vibraciones del grupo IRM-PREDICSA. Proveedor y asesor en la puesta en marcha del Mantenimiento Predictivo en Fagor Ederlan.

Por la información facilitada sobre las Técnicas del Mantenimiento Predictivo.

- ✓ ***D. Eduardo Carrera.***

  Consultor Freelance especialista en la implantación de TPM, 5S, EFQM, 6Sigma. Gran conocedor de las similitudes y posibilidades de las mencionadas Técnicas de Gestión. Jefe de Planta en la época que se obró la mejora sustancial de la Efectividad Global.

Por la información facilitada en las Técnicas de Gestión.

✓ **D. Angel Ruiz**

Responsable de compras y antiguo Responsable del SAT de DANOBAT.

✓ **D. Julen Azpeitia**

Responsable de fluidos y antiguo Técnico del SAT de DANOBAT.

A ambos por haberme facilitado un Layout estándar de una línea de mecanización de discos o tambores de freno.

✓ ***D. Rubén Campos y D. Antonio Garcés.***

Tutores del Proyecto.

Por su espíritu animador y facilitador durante la elaboración del presente Proyecto.

✓ Sras. y Srs. Miembros de la ***Secretaría de la EPS*** y a la Administradora del centro, ***Dña. Mercedes García.***

Por haberme gestionado y facilitado la homologación de mi Plan de Estudios al actual Plan vigente.

✓ Sras. y Srs. Miembros de la ***Comisión de Docencia de la EPS***

Por haberme homologado mi Ciclo Formativo al actual.

RESUMEN

En el presente proyecto se van a desarrollar los pilares sobre los que se sustenta la función mantenimiento.

Se va a presentar una Metodología de Implantación la cual, basado en mi propia experiencia y la recibida de los expertos con los que he podido trabajar, considero que es la que mejor garantiza el resultado final.

El punto de partida es el análisis de la función mantenimiento en España, autentico estudio de mercado realizado por la Asociación Española de Mantenimiento.

A continuación del punto de partida, se van a explicar los diferentes tipos de mantenimiento y se van a dar orientaciones para definir el mantenimiento integral en función de diferentes características de las empresas.

En el siguiente paso, sobre la base adquirida de los tipos de mantenimiento, se van a desarrollar los conceptos con los que trabaja la función mantenimiento, el cual está soportado fundamentalmente por la gestión de mantenimiento asistida por ordenador (GMAO).

Y para completar los principios y fundamentos se van a desarrollar algunos conceptos fundamentales para entender el funcionamiento de las técnicas de mantenimiento predictivo más importantes: Análisis Termográfico y Análisis de Vibraciones.

Una vez desarrollados los conceptos fundamentales de los pilares de la función mantenimiento, se va a explicar su Metodología de Implantación, con la aportación de pequeños detalles importantes en la práctica real. De esta manera quedaran relacionados los Fundamentos Teóricos y la Metodología de Implantación

Una vez expuesta la Metodología de Implantación, como ilustración se van a desarrollar dos casos prácticos como ejemplos que demuestran la eficacia de todo lo anteriormente expuesto. El segundo caso es la puesta en práctica de la Metodología de Implantación descrita. El primero de ellos es una experiencia en la que se parte de

cero en cuanto a conocimientos teóricos. En ambos casos se puede decir que el camino recorrido en la realidad es totalmente inverso a la exposición didáctica del presente Proyecto, primero fue mi experiencia propia y luego la adquisición de los conocimientos teóricos que fundamentan la experiencia previa.

Como colofón final se va a explicar un desarrollo de una presentación real de una consultoría, incluido el benchmarking.

En los anexos se presentan:

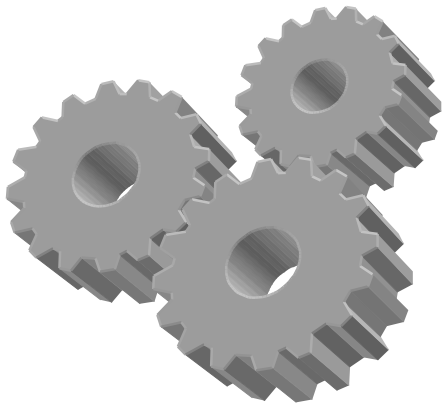
- Artículos de análisis de vibraciones: para aquel que lea el presente trabajo busque similitudes y diferencias. A la vez complementan la exposición del presente Proyecto
- Métodos de Gestión: porque entiendo que hoy en día el desarrollo de la función mantenimiento debe ser realizado y entendido bajo esa visión. El lector podrá obtener aquí esa visión.
- Documentación de Equipos: porque entiendo que por una parte el consultor debe ser independiente y ofrecer orientaciones sobre los mejores equipos y por otra quiero que sirva para que el lector pueda familiarizarse con ellos.

En definitiva, con todo ello lo que pretendo es que aquél que desee pueda aprender acerca de la función mantenimiento, de sus connotaciones organizativas y técnicas, su forma de implantación, etc., y tenga en el presente trabajo una obra completa que le sirva de guía.

PROYECTO

METODOLOGIA DE IMPLANTACION PARA EL DESARROLLO DE LA FUNCION MANTENIMIENTO EN UNA EMPRESA O REINGENIERIA DE MANTENIMIENTO

INDICE



Autor: Ramon Arizaga Arcelus

ÍNDICE

PRELIMINAR

PRÓLOGO

INTRODUCCIÓN

1. SITUACIÓN DE LA FUNCION MANTENIMIENTO EN ESPAÑA

PRINCIPIOS Y FUNDAMENTOS

2. DESCRIPCIÓN DE LOS TIPOS DE MANTENIMIENTO CONTEMPLADOS
3. CONCEPTOS Y TERMINOLOGÍA
4. GMAO
5. SELECCIÓN ORIENTATIVA DEL TIPO DE MANTENIMIENTO ADECUADO
6. NOCIONES DE INTERPRETACIÓN DE LAS PRINCIPALES TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO

DESARROLLO

7. SISTEMÁTICA DE IMPLANTACIÓN O REINGENIERÍA DEL MANTENIMIENTO
8. DESARROLLO PRÁCTICO.
9. ESTUDIO DE COSTES DE IMPLANTACIÓN

FINAL

10. CONSULTORÍA INTEGRAL
11. CONCLUSIONES
12. REFERENCIAS

ANEXOS

13. ANÁLISIS DE VIBRACIONES
14. MÉTODOS DE GESTION
15. DOCUMENTACIÓN DE PRODUCTOS
16. ANÁLISIS DE WEIBULL

PRÓLOGO

Deseo compartir mi experiencia laboral a través del presente Proyecto, como agradecimiento a las antiguas Universidades Laborales en general y a la Universidad Laboral de Huesca en particular. Por el esfuerzo que realizaron ofreciendo al alumnado buenos libros, buenos laboratorios de trabajo y también buenos Profesionales de la docencia. Mi gratitud a todo aquel sistema formativo.

Recuerdo con cierta nostalgia aquella inquietud estudiantil por aprender, por saber cómo llegar a encontrar la información más allá de los libros, tratando de reconstruir en mi mente los problemas en una situación real, donde la principal dificultad radica en el análisis y conocimiento de lo que sucede y como no también en la difícil gestión del recurso humano.

El futuro de las empresas estará asegurado en gran medida en la implicación eficiente, eficaz y verdadera de las Personas (por encima aun del llamado recurso humano) en las diferentes actividades que conforman la empresa. Este es el enfoque del EFQM. El presente Proyecto pretende arrojar un poco de luz también en ese camino. Camino que nunca será fácil y que necesitará elevadas dosis de fe, paciencia y convicción para salvar la infinidad de obstáculos que aparecerán sin duda por el mismo.

Para el conocimiento del estado de la ciencia, en este mundo cada vez más especializado, normalmente es suficiente con encontrar los partners adecuados que nos ayuden a desarrollar los Proyectos e ideas. Por otra parte la incorporación de las nuevas tecnologías hace mucho más fácil el acceso a todo tipo de información.

En ese camino de la gestión del recurso humano considero una labor importante para el desarrollo Profesional el compartir foros, charlas, etc. que nos ayuden, además de ampliar nuestro conocimiento, a ampliar nuestra red personal de contactos a nivel multidisciplinar.

Por todo ello deseo compartir mi experiencia laboral, especialmente en el Mantenimiento:

- ✓ Con la Universidad que ha hecho posible a la postre el que yo me haya podido desenvolver con cierta soltura por dichos caminos.
- ✓ Con todos aquellos alumnos que tengan alguna inquietud similar a aquella que yo tenía cuando estudiaba en la Universidad Laboral de Huesca. Seria para mí un honor haberles arrojado algo de luz en ese difícil camino.

INTRODUCCIÓN ORIENTADORA AL PROYECTO

Con el desarrollo del presente Proyecto trato de cumplir tres objetivos básicos.

Partiendo del primero de ellos, cual es la elaboración de un proyecto que me permita la obtención del título de Ingeniería Técnica, pretendo cumplir paralelamente con dos objetivos adicionales tan importes o más que el primero:

- Para el alumno que acceda al presente proyecto he procurado que tenga en una sola obra, sin tener que acudir a ninguna otra fuente, suficiente información en terminología, teoría, metodología de implantación, dificultades de la implantación, conexión con los principales sistemas de gestión de la empresa y su conocimiento, además de una presentación de productos de primer nivel, para su estudio. Partiendo de la figura de Facilitador definida en alguna técnica moderna de gestión y aprovechando los contactos que mi experiencia me ha dado he procurado facilitar la información técnica de productos, etc., que de otro modo quizás al alumno interesado le hubiese costado sobre manera el conseguirlo. He pretendido aunar en una sola obra a modo de enciclopedia todo lo relacionado con el desarrollo de la Función Mantenimiento incluyéndolo además dentro de la visión global de gestión de una empresa. De esta forma pretendo cumplir con las intenciones que he expresado en el prólogo.
    - Una recomendación final para cualquier alumno que acceda al presente trabajo es que analice la información del presente trabajo de forma transversal, busque similitudes y diferencias entre los diferentes capítulos, informes, artículos, documentación técnica, etc. Una de las funciones que tiene toda la documentación que aporto es precisamente esa, fomentar el desarrollo de la capacidad de análisis y de extracción de conclusiones propias, cualidad muy importante en el campo Industrial.

- Para aquel que desee poner en marcha un proyecto de Modernización de la Función Mantenimiento, presentarle en el desarrollo del presente Proyecto la visión de una Consultoría con un método de trabajo de implicación, como verdadera seña de identidad diferenciadora de otras consultorías. A la vez ofrecerle mi colaboración al nivel que estime oportuno.

Por todo ello en la presentación del presente Proyecto, Metodología de Implantación para el Desarrollo de la Función Mantenimiento o que de manera paralela se llamara Reingeniería del MANTENIMIENTO por sus connotaciones de Reinventarse para su

Modernización y a la vez dotarse de Técnica (Ingeniería), adoptaré la perspectiva de Auditor de la Función Mantenimiento por varias razones:

- La experiencia adquirida me permite la adopción de este punto de visión.
- Para las empresas de cierto tamaño recomiendo la adopción de un Experto Asesor Externo que dinamice todo el proceso de Reingeniería.
- Debido a mi experiencia acumulada estoy capacitado para realizar la función de Auditor Externo y dispongo de los recursos adicionales necesarios.
- Para aquellos que por tamaño o limitaciones económicas les sea imposible acudir a un Consultor Externo, podrán obtener del estudio del presente Proyecto la información necesaria para enfocar su Proyecto con una cierta perspectiva de Auditor, lo cual les facilitara su desarrollo.

Por esta razón adoptaremos formalmente la primera persona del plural a lo largo del desarrollo del presente Proyecto de METODOLOGIA DE IMPLANTACION PARA EL DESARROLLO DE LA FUNCIÓN MANTENIMIENTO O REINGENIERIA DE LA FUNCIÓN MANTENIMIENTO.

Los proyectos habitualmente parten de la exposición del conocimiento al que habitualmente se le denomina Estado del Arte y luego hacen un Desarrollo Practico en función de aquel. En nuestro caso abordaremos primero una parte de Principios y Fundamentos teóricos que nos ayuden a la compresión de La Función Mantenimiento.



Figura 1

Figura 1 Representa el trabajo de la consultoría y la puesta en común inicial.

El capítulo denominado DESARROLLO DE IMPLANTACIÓN es, como se describe modernamente el CORE del todo el proyecto, porque en él se reflejan las claves del éxito en la secuencia de implantación. Las consultorías y/o auditorias normalmente lo que hacen es un análisis de situación y luego presentan un plan de actuación que el cliente debe poner en marcha. Nuestra experiencia, sí en el entorno Cooperativo y sí en la implantación con una Consultora implicada nos reafirma en esta convicción de que el objetivo debe ser conseguido entre todos, aunque cada cual tenga su nivel de responsabilidad.

En el desarrollo real del presente Proyecto lo que tendríamos es:

- Por un lado el conocimiento Técnico que los incorporaría la figura del Consultor (nosotros en el presente caso) y que lo vamos a exponer como Principios y Fundamentos y posteriormente en el Desarrollo de Implantación.
- Por otro un equipo humano perteneciente a una organización empresarial (cliente).



Figura 2

Figura 2 Representa la clave del éxito de implantación.

Los cuales (consultor y cliente) convergen en un Desarrollo Práctico CONJUNTO.

En el anexo Métodos de Gestión presentamos algunos artículos/resúmenes sobre métodos de Gestión, *referencias 14, 15, 16 y 17.* En todos ellos, sobre todo en el EFQM, se podrá observar la importancia de las personas en los sistemas de Gestión. Por lo tanto con el Desarrollo del presente Proyecto de Metodología de Implantación para el Desarrollo de la Función Mantenimiento se irá plenamente en la dirección que estos métodos dictan u orientan, porque el éxito de la implantación será fundamentalmente el de las Personas de la Organización.



Figura 3

Figura 3 Representa el trabajo en equipo como clave del éxito.

En el Desarrollo Práctico iremos reseñando dichas referencias con el desarrollo del Proyecto.

En el mercado existe un bombardeo de siglas, que de alguna manera hemos querido también clarificar.

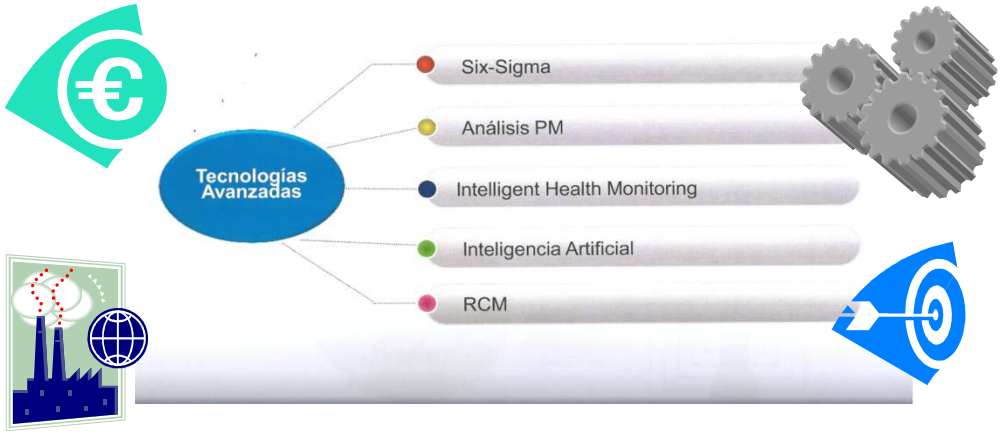


Figura 4

Figura 4 representa el paradigma de siglas que existe hoy en día en el mercado.

1.- ESTADO DEL MANTENIMIENTO EN ESPAÑA.

INTRODUCCIÓN

Para valorar el interés o viabilidad de cualquier proyecto empresarial, comercial, etc., debe de realizarse un estudio de mercado en el cual queden reflejadas la saturación o no del mismo respecto al proyecto empresarial o producto que se pretenda introducir. Y valorar así las posibilidades de nuestra idea empresarial o comercial. El presente proyecto de Metodología de Implantación para el desarrollo de la función Mantenimiento en una Empresa es un proyecto con una finalidad primordialmente didáctica, perono por ello pretendemos obviar esta importante fase previa. Como primer ejercicio didáctico haremos pues un estudio de mercado. Para ello normalmente se contrata a empresas especializadas, sin embargo en nuestro caso tenemos la fortuna de contar con la Asociación Española de Mantenimiento (AEM) que entre sus inquietudes y desarrollos esta precisamente el conocimiento de la situación de la Función Mantenimiento en España.

Nuestro conocimiento del sector nos permite disponer del ejemplar publicado por AEM de la encuesta realizada en 1997, con la que podemos hacer el mencionado estudio de mercado.

RESUMEN DE LA ENCUESTA REALIZADA POR LA ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE MANTENIMIENTO (AEM), en 1997

OBJETIVO DE LA ENCUESTA

El objetivo de la encuesta es conocer el grado de desarrollo y aplicación del Mantenimiento por parte de las empresas correspondientes a los diferentes sectores de producción y servicios.

Se ha pretendido además:

- Analizar la evolución desde la encuesta anterior
- Comparar el desarrollo del Mantenimiento en los diferentes sectores, poniendo en relieve sus peculiaridades respecto a la organización del mismo en las empresas, características y datos sobre su aplicación y utilización de sus técnicas de gestión.
- Conocer la importancia de la organización del Mantenimiento y el grado de implantación en las empresas en que está establecido, tanto desde el punto de vista de su posición en el organigrama de las mismas como en el número y cualificación de las personas que lo integran.

- Obtener el perfil característico de los técnicos que desempeñan la dirección del Mantenimiento.
- Promocionar el conocimiento del Mantenimiento haciendo llegar a un gran número de empresas un cuestionario en el que se señalan muchas de sus áreas de aplicación y gestión.
- Adecuar la actuación en programas futuros de AEM, en función de las conclusiones del estudio de la encuesta.

RESUMEN DE RESULTADOS

LA ORGANIZACIÓN DE MANTENIMIENTO

La organización de mantenimiento, en el 59% de los casos depende de la Gerencia, el 24% de la DirecciónTécnica y el 12% de la Jefatura de Producción. En la medida que desciende en el nivel de dependencia el departamento de Mantenimiento tiende a perder peso en el organigrama.

Solamente en el 59% de las empresas se consulta al departamento de Mantenimiento previo a la compra de nuevos equipos.El 51% de las empresas el Almacén de Repuestos depende del departamento de Mantenimiento.

Tan solo el 30% de las empresas disponen de Oficina de Planificación, Inspección de equipos, Ingeniería de Mantenimiento y Delineación.

Como resumen en este apartado se podría decir que es evidente que los aspectos técnicos y de previsión tienen un amplio campo de perfeccionamiento en los departamentos de Mantenimiento.

GASTO DE MANTENIMIENTO

Los datos no son nada satisfactorios en cuanto al desarrollo del presupuesto de mantenimiento por parte del responsable, en gran medida se le viene impuesto.

Existe una tendencia hacia la disminución del gasto y existe una tendencia hacia la externalización del personal.

CONTROL DE LOS TRABAJOS DE MANTENIMIENTO

El 81% utiliza la Orden de Trabajo (OT), como documento básico. La relación entre los trabajos preventivos y correctivos es 38%/62%.

Solamente el 43% controlan el coste de las OT, lo que implica una pérdida importante de información de gestión. Solamente el 23% tiene desglosado el control del gasto por especialidades.

INFORMATIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO

Un 83% afirma que de una u otra forma la aplican.

El Mantenimiento Preventivo se controla por ordenador en el 56% de los casos, Las OT´s en el 53% de los casos, el inventario de máquinas en el 52%, el Historial técnico en el 47% y la Planificación en el 39%.

Las empresas de mayor tamaño están más adelantadas en la utilización de medios informáticos.

Respecto a la procedencia del software el 55% lo ha desarrollado el personal del centro, aunque la suma de respuestas es mayor que el número de empresas que utilizan la informática en el Mantenimiento, lo cual indica que se hacen soluciones mixtas.

La utilización de programas comerciales se ha incrementado hasta el 36%.

Sin embargo del 83% que utiliza la informática solamente el 25% aplica un programa integral.

CONCLUSIONES QUE EXTRAEMOS NOSOTROS DEL ESTUDIO

Siendo la evolución mundial del Mantenimiento la que se indica en la siguiente figura:

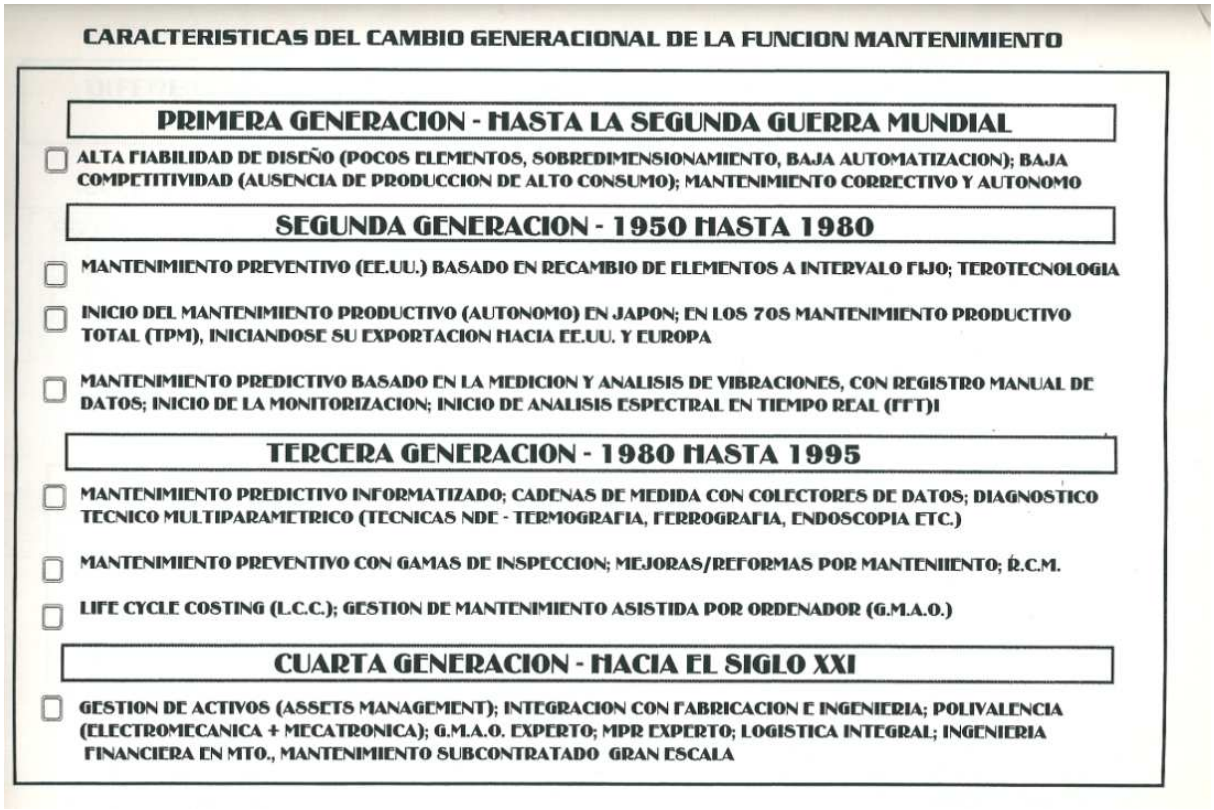


Figura 1

Figura 1 Representa la evolución histórica del mantenimiento en el mundo.

Se observa que la evolución del Mantenimiento en España camina hacia un Mantenimiento moderno en el que se gestionen los activos; no obstante aún queda bastante por resolver.

⇒ Por lo tanto podemos obtener la conclusión que existe aún suficiente mercado en España para la implantación del presente Proyecto para el desarrollo de la Función Mantenimiento.

Como ejercicio didáctico podríamos terminar aquí y pasar a las siguientes fases del proyecto, pero lo haremos con un mayor rigor profesional a pesar de que la experiencia adquirida y el conocimiento del sector nos permiten vaticinar que las condiciones habrán variado bastante poco desde 1997.

Por ello analizaremos la última encuesta realizada por la AEM en 2010, en la que se describen las siguientes conclusiones.

RESUMEN DE LA ENCUESTA REALIZADA POR LA ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE MANTENIMIENTO (AEM), en 2010

- Los sistemas organizativos y de control del Mantenimiento aplicados por las empresas, que tuvieron una notable mejora en el periodo 1900-2000, sufren en la actualidad un notable estancamiento.

- Aumento notable del Mantenimiento Contratado.

- La formación del personal de Mantenimiento sigue siendo una asignatura pendiente.

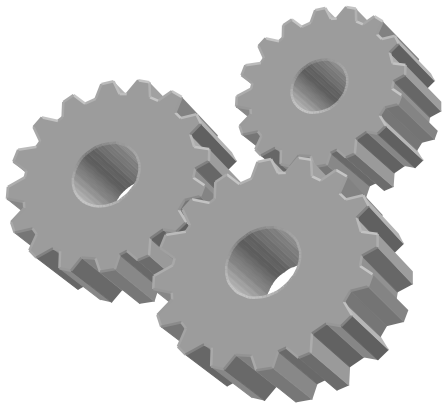
- Ha habido una bajísima respuesta a la solicitud de datos concretos sobre los índices de Mantenimiento.

⇒ Sigue habiendo mucho por mejorar en La Función Mantenimiento en España, por lo que nuestro proyecto de Reingeniería de Mantenimiento sigue teniendo un importante campo de aplicación.

PROYECTO

METODOLOGIA DE IMPLANTACION PARA EL DESARROLLO DE LA FUNCION MANTENIMIENTO EN UNA EMPRESA O REINGENIERIA DE MANTENIMIENTO

PRINCIPIOS Y FUNDAMENTOS



Autor: Ramon Arizaga Arcelus

PRINCIPIOS Y FUNDAMENTOS

2. **DESCRIPCIÓN DE LOS TIPOS DE MANTENIMIENTO CONTEMPLADOS**
3. **CONCEPTOS Y TERMINOLOGÍA**
4. **GMAO**
5. **SELECCIÓN ORIENTATIVA DEL TIPO DE MANTENIMIENTO ADECUADO**
6. **NOCIONES DE INTERPRETACIÓN DE LAS PRINCIPALES TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO**
    - **NOCIONES DE INTERPRETACIÓN**
    - **TERMOGRAFIA**
    - **ANÁLISIS DE VIBRACIONES**

Vamos avanzando poco a poco en el conocimiento de los principios y fundamentos de La Función Mantenimiento. Vamos a dar otro paso y a continuación daremos un repaso a los diferentes Tipos de Mantenimiento, esto nos va a permitir con lo que veamos en el siguiente capítulo organizar el Mantenimiento Integral de nuestra Planta, Fábrica o Instalación.

2.- TIPOS DE MANTENIMIENTO

Existe en el mercado y en la documentación existente respecto la Función Mantenimiento infinidad de siglas con significados a veces diferentes en función de lo que cada cual pretende resaltar, por lo que en primer lugar lo que haremos será presentar y definir los significados de los más relevantes comenzando por los tipos de Mantenimiento.

Las investigaciones llevadas a cabo en el ámbito del Mantenimiento han ido aportando diversos y variados sistemas o clases de Mantenimiento, cada uno de los cuales presenta peculiaridades que la hacen útil en un área específica.

Estas clases de mantenimiento se distinguen entre sí por:

- El tipo de control que ejercen sobre el estado de las máquinas
- Los medios utilizados en la realización de ese control
- Las instalaciones sobre las que actúa
- El volumen de medios que despliegan

Un sistema óptimo de Mantenimiento Integral (M.I.) debe de hacer uso de las clases o grupos de Mantenimiento, clasificándolas primero, y descubriendo las ventajas que cada uno puede aportar a la empresa.

El responsable de Mantenimiento que desee desarrollar el Mantenimiento Integral, deberá conocer el contenido de cada clase de Mantenimiento y elaborar un sistema de Mantenimiento Preventivo y Correctivo en base a aquellas clases de Mantenimiento que de alguna manera le permitan elaborar un eficaz grupo preventivo-correctivo.

Como indicábamos antes existe en el mercado una tendencia a nombrar con siglas lo que cada cual hace, modificando a veces el significado según intereses. Veamos en primer lugar las clases de Mantenimiento estudiando cada una de ellas desde las perspectivas de su filosofía y su utilización:

- Prevención del Mantenimiento (P.M.)
- Mantenimiento de Uso (M.U.S.)
- Mantenimiento Predictivo (M.D.)
- Mantenimiento Periódico (P.Pe.)
- Mantenimiento Según Estado(M.S.E.)
- Mantenimiento Bajo Control (M.B.C.)
- Mantenimiento de Proyecto (M.Y.)
- Mantenimiento de Reacondicionamientos Sistemáticos (M.R.S.)
- Mantenimiento Selectivo (M.S.)
- Mantenimiento de Emergencia (M.E.)
- Mantenimiento Basado en La Fiabilidad (R.C.M.)

(PM) PREVENCIÓN DEL MANTENIMIENTO

A la hora de estudiar la implantación de un sistema de Mantenimiento Integral es menester prestar interés a la primera clase de Mantenimiento: la prevención del mismo (PM). Su base es fundamentalmente económica y todavía no se le presta atención. Su objetivo es, no solamente reducir o eliminar el Mantenimiento de una máquina, equipo o instalación al mínimo participando para ello en su diseño o concepción, sino investigar la eliminación de los elementos superfluos no indispensables o "sugerir la compra de material COSTOSO pero con un funcionamiento seguro" y con Un Mantenimiento sensiblemente más económico que el del material más barato. Es decir es de primera clase porque actúa al principio “el primero”.



Figura 1

Figura 1 Representa los informes del Gasto de Mantenimiento que el GMAO nos ofrece para todo el ciclo de vida LCC.

Para comprender bien la ideología del PM bastará con imaginar una máquina originariamente cara, de materiales selectos, en definitiva robusta que a lo largo de su vida funciona sin averías y con buen rendimiento, y a su vez una máquina que realiza la misma

función pero fabricada de materiales baratos, frágiles, que se averían fácilmente. Esta segunda máquina requerirá importante desembolsos en Mantenimiento a lo largo de su vida, que si los llevamos o trasladamos al momento cero, o al de adquisición de la máquina resulta que:

Costo de compra de la máquina robusta	<	Costo de la máquina barata más los gastos de Mantenimiento a lo largo de su vida útil.

O lo que es lo mismo, el diseño que reduzca el Mantenimiento durante la marcha de cualquiera máquina es sin duda (PM) de importancia vital y ahorra dinero y quebraderos de cabeza al Equipo de Mantenimiento.

Al estudiar los criterios de renovación de maquinaria se profundiza y se dan recetas prácticas pero toman decisiones en los casos reales donde entra en juego la Prevención de Mantenimiento.

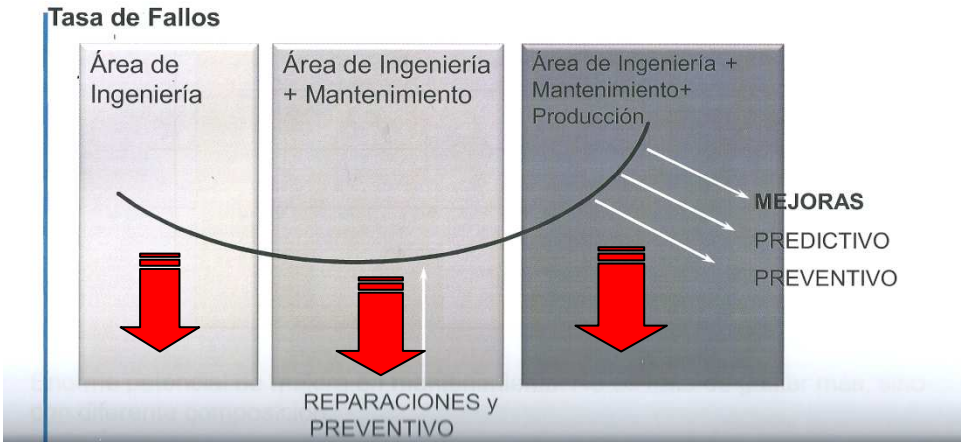


Figura 2

(MUS) MANTENIMIENTO DE USO

Este tipo de mantenimiento tiene diversas nomenclaturas. El MUS pretende responsabilizar, mediante la formación adecuada y la necesaria integración en la marcha del proceso productivo, a los propios usuarios (personal de producción, especialistas) de los equipos de la conservación y mantenimiento en servicio de las instalaciones por ellos manejadas de tal forma que, determinados trabajos de conservación e incluso pequeñas reparaciones compatibles con sus habituales ocupaciones, sean realizadas por dichos usuarios.

Figura 2 Representa la curva de la tasa de fallos (curva de la bañera para el ciclo de vida (LCC) de la máquina.

Con ello lograremos:

1. Que se realicen a su debido tiempo ciertas actuaciones que, si hemos de involucrar a otra persona, no se hubiera llevado a cabo en el momento oportuno.

2. Dar cierto estímulo a los usuarios de los equipos para que sólo no se consideren responsables de la producción en sus máquinas, sino también de conservarlas bien.

3. Descargar el personal de Mantenimiento de una serie de trabajos rutinarios que no precisan ni de la formación propia de este personal ni de los medios con que ha de desarrollar su trabajo.

El Mantenimiento de uso está muy bien visto por los directivos de las empresas. Ahora bien, su acción viene limitada por la calidad, y la carga de los trabajos de los operarios dedicados a la producción, y así surgen las diferentes nomenclaturas.

Qué trabajos son típicos del M.U.S.:

- ✓ Engrases diversos, sin necesidad de cambiar aceites y grasas.
- ✓ Apriete de tornillos, tuercas, palancas y piezas accesibles.
- ✓ Comprobación de temperaturas en cojinetes o elementos de máquinas.
- ✓ Calentamiento de motores o piezas en general.
- ✓ Limpiezas de equipos y/o subconjuntos

El departamento de Mantenimiento, conocedor de las fases o puntos claves de vigilancia de cada máquina elaborará por escrito las normas de MUS y formará el personal usuario sobre su contenido.



Figura 3

Hemos tenido oportunidad de contemplar en algunas empresas que el Servicio de Mantenimiento reparte y controla diversos trabajos de revisión (M.Preventivo) entre los usuarios, y que desde ese momento pasan a formar parte de la clase M.U.S.

Figura 3 Representa la motivación d los operario al sentirse dueños de sus máquinas.

El Mantenimiento de uso es una de las clases de Mantenimiento del Mantenimiento Integral más rentable y económica. El M.U.S. modernamente, con el desarrollo de las técnicas del TPM (Total Productive Maintenance), viene llamándose también Mantenimiento Autónomo, ya hemos comentado que MUS es un tipo de mantenimiento muy bien visto por los directivos, por esa misma razón existen infinidad de aplicaciones del sistema TPM.

Por la forma o medida en que esté desarrollado el Mantenimiento Autónomo dentro del desarrollo del TPM podremos encontrar los siguientes despliegues:

1. MANTENIMIENTO AUTÓNOMO ELEMENTAL

Éste consiste en el desarrollo y aplicación de:

- ✓ Limpieza, inspección y engrase, formulados mediante Gamas de Usuario (*Check-List*) de corta, media y larga frecuencia (diario, semanal, mensual por ejemplo).
- ✓ Adiestramiento de equipos de trabajo de Mano Obra Directa (MOD) En la ejecución de tareas y registro, con la participación de los Profesionales de Mantenimiento de la propia plantilla del Departamento de Mantenimiento.

2. MANTENIMIENTO AUTÓNOMO INTEGRAL

- ✓ Implica la integración del personal de Mantenimiento en Grupos Autónomos, sustituyendo ocasionalmente la M.O.D. (Maquinistas de Línea y Preparadores).
- ✓ Esta alternativa implica mayores cambios organizativos, nombramiento de Jefes de Equipo y formación integral.
- ✓ El alcance de autonomía de actuación es mayor, pudiendo asumir el Grupo Autónomo, aparte de lo mencionado en el caso anterior, las actividades preventivas menores, reglajes, ajustes y reparaciones elementales, así como la ejecución de ciertas mejoras ergonómicas.

3. MANTENIMIENTO AUTÓNOMO Y MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM)

En las últimas décadas, simultáneamente con la reconversión tecnológica de los medios productivos, se han hecho esfuerzos de aumentar la productividad del personal de MOD, mediante la introducción de tareas elementales de Mantenimiento de Primer Nivel como Mantenimiento Productivo. De hecho, aunque el modelo japonés desarrollado en la década de los 70 por Seiichi Nakajima, actualmente implantado en diversas sectores industriales (automoción, metal-mecánico, alimentario y otros), es en esencia una especie de reencuentro del personal operativo con la necesidad de cuidar de la Efectividad Global (OEE) de las instalaciones y equipos. En ocasiones se han malinterpretado y sobrevalorado las

posibilidades de dicho sistema. En el Proyecto se implanta la alternativa más idónea, de acuerdo con la realidad operativa de cada Empresa.

MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM)

Es el Proyecto de mayor envergadura, con una duración total mínima de dos años e involucramiento de toda la organización productiva, desde la Dirección de Planta hasta los estamentos operativos.

Se aplica la secuencia de 12 pasos, según los preceptos originales del T.P.M. (enfoque de S. Nakajima):



Figura 4

1	Decisión de la dirección de aplicar el TPM como proyecto de empresa	Formación a la Dirección
2	Información y formación Técnica	Presentación a la Dirección
3	Crear una estructura de pilotaje del TPM (empresas grandes)	Comisiones
		Animadores
4	Diagnóstico de la situación de partida. Indicadores de progreso técnicos.	Banco de datos de valores técnico económicos (capitalizar el histórico)
5	Redacción de un plan tipo. Objetivos metas y recursos	Despliegue de objetivos y políticas: se estableces las actividades con responsables y plazo
6	Lanzamiento	Implicación en las 5S
		Presentación del plan con responsables y plazo
7	Implantación de la mejora continua en los sistemas y procesos (MTO Condicional)	Análisis de problemas diarios (MTO condicional)
		Gestión por prioridades
		Grupo de fiabilización
8	Desarrollo del Automantenimiento	Plan de automantenimiento

	y MTO preventivo	Formación a los operadores
		Control de parámetros
9	Desarrollo de mantenimiento programado	Mejora de la gestión del mantenimiento programado.
		Formación
		Estudio de las máquinas típicas
		Fiabilización de las máquinas
10	Formación del equipo humano en los métodos y experiencias del mantenimiento global	Entrevistas/evaluación de competencias
		Contrato de formación/curso
		Gestión de la polivalencia
		Grupos de fiabilización
11	Integrar el TPM en los sistemas de gestión, diseño y construcción de nuevos equipos	Máquinas
		Compra de nuevos equipos
		Integración de los indicadores de medida
		Grupos de fiabilización
12	Certificar la aplicación TPM	Mejorar la formación
		Auditar-definir nuevos objetivos

Tabla 1

(M.D.) MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Esta clase de Mantenimiento persigue conocer e informar permanentemente del estado y operatividad de las instalaciones mediante el conocimiento de los valores de determinadas variables, representativas de tal estado y operatividad.

Figura 4 Representa las jornadas de presentación de la prueba piloto del TPM. El método del JITPM es muy formalista.
Tabla 1 Representa los 12 pasos de implantación del TPM según el método de Seichi Nakajima

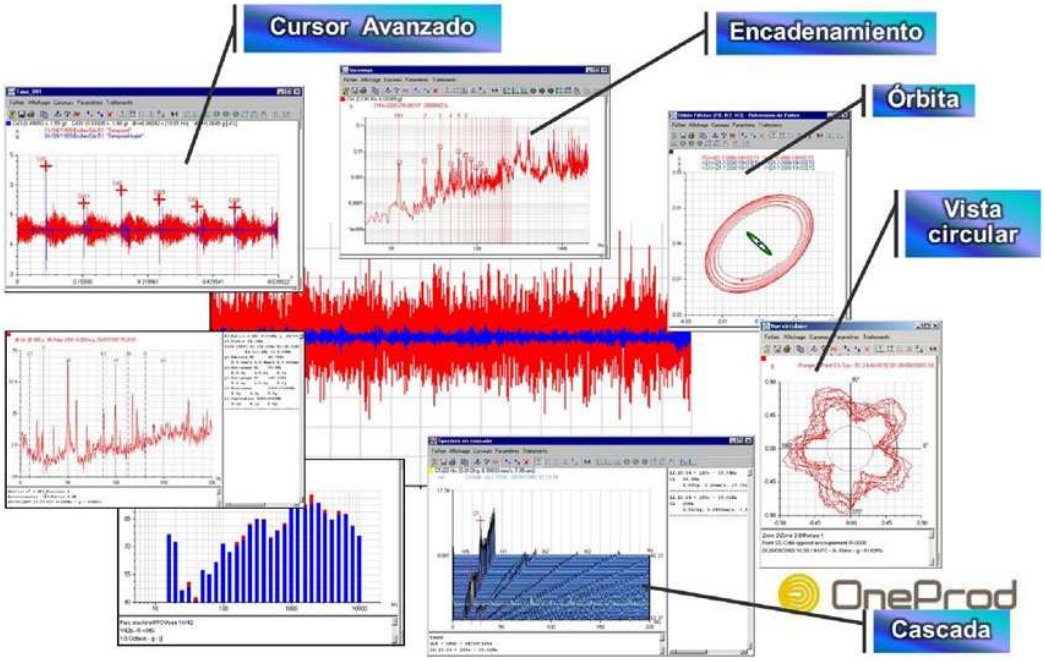


Figura 5

Por ejemplo:

En una instalación determinada deben conocerse los valores que normalmente deberán presentar:

- ∇ la presión
- ∇ las pérdidas de carga
- ∇ las caídas de temperatura
- ∇ los consumos energéticos
- ∇ el desgaste de una superficie
- ∇ la dimensión de una cota
- ∇ la amplitud de vibración
- ∇ la intensidad de corriente
- ∇ los esfuerzos
- ∇ el ruido.

Figura 5 Representa las diferentes posibilidades de análisis y presentación de los software de análisis de vibraciones.

Y ante cualquier desviación en los valores presentados por estas variables, se actuará con la eficacia necesaria para evitar:

Defectos de mayores proporciones que podrían sobrevenir por la permanencia en trabajo de la instalación o de marcha del proceso en condiciones fuera de las de diseño.

Es decir, el método fundamentalmente consiste en:

- Encontrar la magnitud que mejor defina la seguridad con que se está desarrollando el proceso en estudio.
- Asignar el o los valores correctos que debe mantener dicha magnitud.
- Dotar a la instalación del o de los instrumentos de medida adecuados para conocer los valores reales de tal magnitud y, como consecuencia poder predecir el fallo.
- Organizar el servicio para que, por sistema, detecte las desviaciones entre los valores reales y los deseables en la magnitud controlada y actúe con la eficacia concerniente.

Precisamente el M.D. debe cuantificar, con la máquina en marcha, los dos siguientes tipos de variables:

- Las que informan sobre el funcionamiento de la máquina, puesta a punto, defectos de encendido, fallos de combustión, temperatura, presiones, etc.
- Las que informan sobre el estado de sus partes mecánicas, aros, motores o compresores, cierres de válvulas, huelgos excesivos, desgaste de cojinetes, etc.

Las primeras permiten, luego de un adecuado análisis, proceder a las correcciones necesarias.

En cambio, las segundas son las que nos dicen cómo se encuentran las partes mecánicas de la máquina. Estas requieren un primer análisis para identificar cada fenómeno y luego otros siguientes para seguir la evolución de los mismos. Para poder controlar la evolución de los parámetros mencionados se debe de establecer un programa de análisis, cuyo periodo dependerá del tipo y los antecedentes de la máquina, oscilando entre 15 y 120 días.

De estos controles periódicos surgen correcciones en su régimen de marcha y también necesidades en cuanto a cambio de elementos de máquina, antes de que éstos lleguen a provocar averías de importancia.

Esto minimiza el tiempo de equipo fuera de servicio por razones de un programa de Mantenimiento preventivo, reduce emergencias y por tanto optimiza costos y disponibilidad de las máquinas.

Para otras máquinas hay que estudiar previamente la colocación de los transductores e interpretar técnicamente los diversos casos.

Para hacer un correcto análisis de M.D. es necesario:

- Llevar un adecuado historial de la máquina.
- Estudiar la posición o posiciones donde se deben instalar los transductores de vibración.

Con ello se pretende recoger convenientemente la historia de los análisis, de las inspecciones y reparaciones, datos muy valiosos para diagnosticar la evolución de los fallos, y por otra parte colocar los sensores en lugares que ofrezcan fiabilidad total para la interpretación de resultados.

(M.E.S.) EL MANTENIMIENTO "SEGÚN ESTADO"

La clase de Mantenimiento M.S.E. consiste en la revisión total (con desmontaje del componente de la máquina y traslado al .taller para ser inspeccionado) del componente o conjunto pero no a intervalos programados, sino variables.

Para determinar cuándo hay que desmontarlo y mandarlo al taller existen dos procedimientos según el tipo de componente:

1. Inspecciones "según Estado". Estas se efectúan sobre la propia máquina sin desmontar el elemento. Por ejemplo, el estado de desgaste de una pieza visible, la dimensión de un elemento, pérdidas del sistema hidráulico.

Está claro que en este caso no se desmonta el componente más que si después de inspeccionarlo in situ es necesario llevarlo al taller.

2. Datos "según Estado". Consiste en recolectar una serie de datos por los cuales, una vez analizados, podemos deducir el estado de funcionamiento del componente, por ejemplo:
    - Consumo de combustible.
    - Consumo de aceite, análisis de basicidad, viscosidad y contenido de partículas en el aceite,

- registro de datos relativos a presión, temperatura, fases mecánicas, etcétera...

Este procedimiento debe asegurar la marcha de la máquina y mostrar la fiabilidad, degradación o fallo inminente del componente.

Esta clase de Mantenimiento permite a los operadores de la planta o personal de Mantenimiento el conocimiento de los estados de la máquina en el sentido de "salud" mecánica o eléctrica y promueve la planificación de las revisiones o reparaciones basándose en las reales condiciones en cada tiempo de la instalación. De este modo se eliminan revisiones, reparaciones y paradas inútiles y se mejora la utilización de la máquina.

Son condiciones indispensables para sacar provecho e implantar el M.S.E.:

1. Disponer de los debidos instrumentos de medida y comprobación. Hoy día existen muchas y diversas posibilidades.
2. Tener un equipo de inspectores bien preparados para grandes plantas productivas en continuo, o personal especializado y formado como norma general.
3. Poseer un oportuno soporte informativo que ayude a planificar y a hacer e seguimiento.
4. Contar con la debida organización.
5. Diseñar la máquina con los componentes accesibles para ser inspeccionados.

Seguidamente presentamos una tabla que recoge los principales instrumentos que pueden ser utilizados en el M.S.E. Dichos instrumentos, como es lógico, se hallan en continua evolución tecnológica.

Tipos de Inspección	Elementos móviles o giratorios	Elementos estáticos	Aparallaje eléctrico	Instrumentación	Fabricados	Instrumentos para la verificación
Visual	X	X	X	X	X	Estroboscopio
Verificación Temperatura	X		X			Instrumentos térmicos. Infrarrojos
Verificación Ruido	X					Estetoscopio, Sonómetro
Verificación Vibraciones	X					Analizador Vibraciones, Vibrómetro
Verificación corrosión, erosión, espesores		X				Rayos X, Corrientes Parásitas
Verificación pérdidas de vacío, vapor		X				Ultrasonidos, Sonómetro
Verificación condiciones lubrificantes	X					Espectroscopio, Detectores magnéticos
Verificación grietas y defectos		X				Ultrasonidos, Corrientes Parásitas, Rayos X, Fluorescencia, Líquidos Penetrantes
Verificación funciones eléctricas o electrónicas			X	X		Voltímetro, Amperímetro, Osciloscopio
Relés, Transformadores			X	X		Instrumentos de parado, Oscilógrafo
Aislamiento térmico		X			X	Termografía

Seccionadores líneas AT, Tiristores			X			Termografía
Estado de Cojinetes y Rodamientos	X					Análisis vibraciones, vibrómetros, sonómetros
Pérdidas de Calor		X			X	Termografía
Limpieza de Tuberías e Intercambiadores		X				Corrientes Parásitas, Termografía
Desgate	X					Rayos X, Radioactividad

Tabla 2

Tabla 2 Representa las distintas posibilidades del mantenimiento predictivo según elementos a inspeccionar, variables y sus técnicas de medición

El M.S.E. es un sistema de Mantenimiento universalmente utilizado y su eficacia es reconocida en todos los países.

Según un reciente estudio realizado en países del Mercado Común el porcentaje, detectado por el sistema M.S.E. de máquinas defectuosas sobre el total de las inspeccionadas es:

- Para maquinaria nueva, 3%
- Para maquinaria después de revisada, 9%
- Para máquinas controladas p inspeccionadas después de 30 días de marcha, 3 a 4%.
- Para maquinaria inspeccionada inmediatamente después de una parada de la planta, 20 a 25%.

El uso del M.S.E. tiene como efecto inmediato:

- Disminuir notablemente el número de jornadas no programadas hasta un 75% de las que sin M.S.E. ocurrían.
- Disminuir los costes totales de la planta en un porcentaje que se aproxima al 15%.

Como recomendación práctica podemos decir que:



Figura 6

- En sectores industriales cuya producción depende fundamentalmente de la maquinaria, es decir donde las inversiones realizadas hayan sido elevadas, o lo que es lo mismo, en instalaciones muy automatizadas con una inversión, por persona empleada, realmente importante, es imprescindible utilizar el M.S.E.
- En plantas de una sola línea, o de proceso continuo a tres turnos también es fundamental el uso del M.S.E.
- Como lógico corolario a lo anteriormente expresado, M.S.E. se debe aplicar en la industria extractiva, química, petrolífera, siderúrgica y en producción de servicios.

La evolución de la técnica y la aparición de nuevas técnicas de medición y predicción del estado del componente, así como la tendencia de buscar nomenclaturas diferenciadoras ha hecho que a este Mantenimiento también es llamado Mantenimiento On Conditioning (M.O.C.).Por ello, en la actualidad estos dos tipos de Mantenimiento pueden ser englobados en uno mismo, donde la denominación anglosajona parece aporta más renombre.

(M.E.) MANTENIMIENTO DE EMERGENCIA

El Mantenimiento de Emergencia es el aplicado aún en bastantes industrias. Es un método esencialmente de reacción ante el estímulo de avería, por lo que se aplica al Mantenimiento cuando ésta se produce.

Figura 6 Representa una medición de vibraciones con un colector de datos, se puede ver el acelerómetro.

El problema esencial del sistema es que la aparición de las averías es totalmente aleatoria con lo que la demanda de trabajo lo es asimismo, lo que dificulta grandemente (o hace imposible) cualquier previsión, lo que se traduce en elevados costes tanto de personal si se quiere disponer del necesario en los momentos de alta demanda como de esperar en caso de tener que controlar en estos mismos momentos en el caso de no querer plantillas desocupadas en buena parte del tiempo.

Los inconvenientes principales que origina tal tipo de mantenimiento son esencialmente:

- Reparaciones realizadas en malas condiciones.
- Utilización del personal disponible con mayor rapidez, posiblemente no siempre el más adecuado.
- Reparaciones provisionales.
- Urgencias continuas.
- Tiempo de reparación dilatada por espera de materiales.
- Condiciones de seguridad precarias.

Cuya consideración abona la introducción de sistemas más tecnificados en la aplicación del mantenimiento.

Sin embargo, a pesar de la aplicación de métodos más técnicos y fiables es incuestionable que se presentaran averías en cualquier planta industrial, en mayor o menor proporción, por lo que es necesario organizar del modo más eficiente posible éste tipo de trabajos.

El origen de una intervención correctiva lo tendremos en que los diversos equipos, apartados, instalaciones o máquinas dejan de proporcionar el servicio que tienen encomendado y es necesario recuperarlo. Es por ello que también es denominado Mantenimiento Correctivo, que a su vez se divide en NO Planificable cuando hay parada y Planificable cuando la máquina o instalación puede seguir trabajando lo que permite planificar una parada.

El mantenimiento de emergencia debe ser controlado a través de los correspondientes boletines de Petición de Trabajos, aunque la comunicación de la emergencia pueda ser hecha por otros medios más rápidos que permitan la mayor rapidez en la organización de los trabajos de corrección necesarios.

El Servicio de Mantenimiento debe tener muy claro que todos los trabajos de emergencia que originan paro en maquinaria o instalaciones importantes deben ser atacados inmediatamente, a tenor de las graves repercusiones que los mismos pueden tener de cara a la producción y a sus costes.

La rapidez de intervención será orientada a través del uso de la correspondiente codificación de urgencia, aun considerando la misma como relativa, en el sentido de que, excepción hecha de casos muy concretos, la acción de mantenimiento la tiene prioritariamente concedida la corrección de las averías sobre los otros trabajos a ejecutar.

La organización de este tipo de trabajos puede mejorar en cierta forma si se tienen en cuenta una serie de criterios que conviene aplicar:

1. Es necesario concienciarse de que los trabajos de emergencia, para que sean más económicos, deben lograr restablecer las condiciones operativas de los equipos atendidos; lo que hay que mantener, como objetivo, es el Servicio, no la máquina, con lo cual queremos indicar que los trabajos a ejecutar deberán ser los mínimos necesarios para conseguir este restablecimiento, lo que no debe confundirse con que los trabajos estén mal realizados. Debe asegurarse como mínimo el servicio hasta el momento en que pueda disponerse de la máquina con mayor tranquilidad, por ello es necesario que, aparte del informe sobre los trabajos realizados, se amplíe éste en el sentido de especificar los complementarios que deberán ser realizados con posterioridad para que la fiabilidad del equipo sea la adecuada.
2. Es importante determinar la necesidad de disponer de equipos redundantes para la cobertura de posibles emergencias.
3. Es importante el establecimiento de gamas de trabajo y de diagramas de proceso para los trabajos que se demuestren repetitivos.
4. Disponer de conjuntos de planos y esquemas completos de los equipos, bien archivados, de forma que sean fáciles de encontrar en el momento en que se precise.
5. Disponer, en forma similar, de documentación técnica adecuada, en especial catálogos de partes.
6. Tener equipos de trabajo especializados en las máquinas e instalaciones de mayor responsabilidad, lo que permite organizar la tarea en la forma más rápida y efectiva.
7. Tener documentación referente a los lugares de localización de los recambios más importantes y específicos.
8. Es conveniente el contacto con los responsables de producción que podrán darnos,

frecuentemente, datos valiosos que nos permitan encontrar la causa de la avería con mayor rapidez.

Es necesario procesar toda la información derivada del mantenimiento correctivo para decidir la conveniencia de una mayor aplicación de sistemas preventivos o de reforma.

(M.Pe) MANTENIMIENTO PERIÓDICO (M.H.T.-Hard Time-)

La clase de Mantenimiento M.Pe. esencialmente consiste en la revisión total del componente, pieza o conjunto a intervalos programados, aunque no haya habido fallo del mismo; con el requerimiento de que el componente o conjunto, después de cada revisión ha de quedar a "cero horas" de funcionamiento, es decir, como uno nuevo, desde el punto de vista del servicio que tiene que prestar.

Esta clase de Mantenimiento implica:

1. Desmontar el componente o conjunto de la máquina en el que va instalado.
2. Revisarlo en taller o sin más cambiarlo sistemáticamente por otro nuevo, o repararlo perfectamente.
3. Disponer de repuestos fiables y de medios de inspección o comprobación totalmente garantes de su función.
4. Desmontar a intervalos de tiempo programados, o por horas de funcionamiento fijas.



Figura 7

Como es lógico la clase M.Pe. resulta costosa económicamente. El simple cambio sistemático de una pieza al cabo de x horas de funcionamiento supone desaprovechar en muchos casos una vida residual difícil de prever.

Figura 7 Representa las tareas de revisión de mantenimiento preventivo

Con el desarrollo de las técnicas de la fiabilidad se puede determinar con gran aproximación la vida probable de cada pieza y proceder a su sustitución cuando se alcancen las horas de funcionamiento calculadas. Aun así el sistema puede resultar caro.

El M.Pe. es muy utilizado en el mantenimiento de aviones militares y comerciales. También es útil en aquellas máquinas o partes de la misma que sean cuello de botella o indispensables en un proceso productivo. Algunas industrias de USA, Rusia, Francia, Alemania etc. hacen uso del M.Pe., pero conociendo de antemano su elevado costo.

En la aviación comercial, las casas constructoras de aviones cada vez tienden más a la reducción del M.Pe. en el sistema de Mantenimiento hasta límites que hoy día rozan el 10%.

La mejora en la fiabilidad de los componentes y el uso de modernos elementos de inspección han abaratado el Mantenimiento Integral, si se recurre a la utilización de otras clases de Mantenimiento que en el desarrollo del presente Proyecto analizaremos.

(M.B.C.) MANTENIMIENTO BAJO CONTROL

La clase M.B.C. no implica ninguna acción de mantenimiento ni de inspecciones. El componente o conjunto no está sometido a desmontajes programados y se mantiene en operación hasta que falla.

Sin embargo, este procedimiento está sometido a las siguientes restricciones:

- El fallo del componente no debe afectar a la marcha de la máquina, es decir ésta no se parará por avería del componente.
- Las funciones que realiza el componente en la marcha de la máquina o instalación deben de alguna forma ser verificadas por determinados ensayos.

Si se prevé que el componente pueda tenerun desgaste con la edad, es decir, una vida determinada, deberá ser colocado primeramente en M.S.E. "según estado" si existe una inspección válida o registro de datos o bien M.Pe. (Periódico) si no existen inspecciones o comprobaciones válidas.

Al usuario de máquinas le interesa mayormente que el fabricante de las mismas no introduzca en su diseño elementos de vida limitada, porque esto supone que cuando dicho

elemento alcanza el límite de vida debe desmontarse y tirarse, colocándose uno nuevo, aunque todavía tuviera una vida remanente. Este tipo de elemento encarece notablemente el mantenimiento.

En la Aviación Comercial se utilizan fundamentalmente el M.Pe., M.S.E., M.B.C., en proporciones que han variado en los últimos años.

Se observa que el M.S.E. y M.Pe. han disminuido su importancia relativa con el paso de los años, mientras que el porcentaje de Mantenimiento M.B.C. ha aumentado (figura 8).

Se puede ver una tendencia a la estabilización a partir de 1975. Entre el 70 al 80% para M.B.C. y entre el 15 y el 20% por M.S.E. y entre el 3 al 10% para M.Pe.

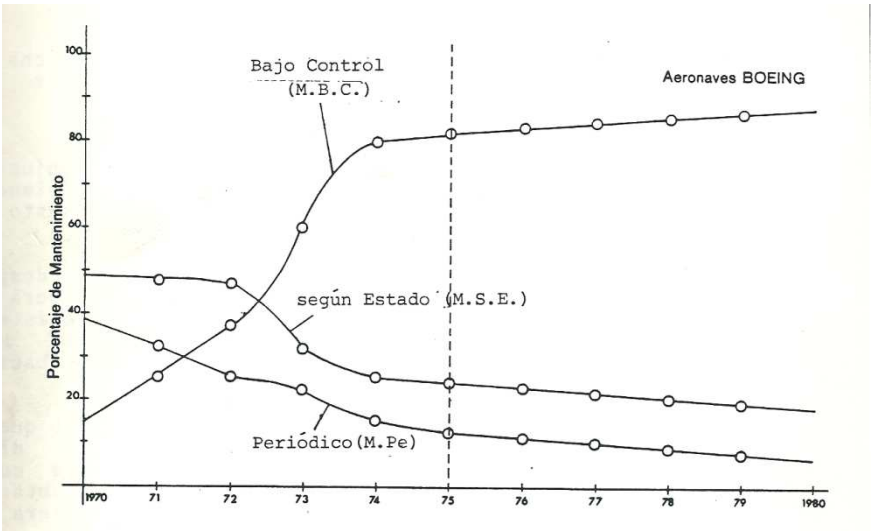


Figura 8

Como ejemplo, podemos decir que en 1983 el avión A310 fabricado por Airbus Industrie, en su parte estructural y sistemas de vuelo, sistema hidráulico, neumático, aire acondicionado, anti-hielo, agua, oxígeno y tren de aterrizaje no llega a montar ni una docena de componentes con vida limitada.

(M.Y.) MANTENIMIENTO DE PROYECTO

Esta clase de Mantenimiento tiene una gran importancia porque su buena implantación garantiza un eficaz Mantenimiento Integral durante la vida de la máquina o instalación.

Figura 8 Representa los % de mantenimientos aplicados según los años en Aeronaves BOING

(M.Y.) se ha de ocupar de que los diseños de los conjuntos, piezas, elementos o de la máquina en conjunto posean las características deseables para una actuación rápida y eficaz en Mantenimiento. Entre éstas destacamos:

- Diseño adecuado para poder situar debidamente los aparatos de medida necesarios para el Mantenimiento Predictivo (M.D.).
- Elección de pilotos indicadores de causas de fallo.

Elementos de seguridad que eviten males mayores, tales elementos pueden ser fusibles mecánicos para eludir grandes pares mecánicas, paradas de urgencias de máquinas, etc..

- Diseños que faciliten el montaje y desmontaje de piezas y conjuntos.
- Posibilidad de repuestos comerciales, fácilmente localizables en el mercado convencional.
- La estandarización de los conjuntos que forma parte del M.Y. y consiste en definir, rediseñando, conjuntos fácilmente desmontables que contengan las piezas que habitualmente se averían o tienen una elevada probabilidad de fallo.
- El estudio de redundancias o reservas a punto de componentes o de instalaciones completas que impiden la parada total de la producción.
- Es evidente que los diseñadores de los equipos, no siempre familiarizados con el Mantenimiento de los mismos, dejarán de prever gran número de estos detalles que la política correcta en el Departamento de Mantenimiento ha de ir detectando y consiguiendo con los criterios que, necesariamente, ha de tener por su experiencia y por el análisis de las averías que cada instalación, para el servicio a que se destina y en las condiciones en que ha de satisfacerlo.

Los estudios basados en las curvas ABC de costos y en la estadística de averías obtenidos del GMAO aportan correcciones y orientaciones valiosísimas para mejorar las máquinas.

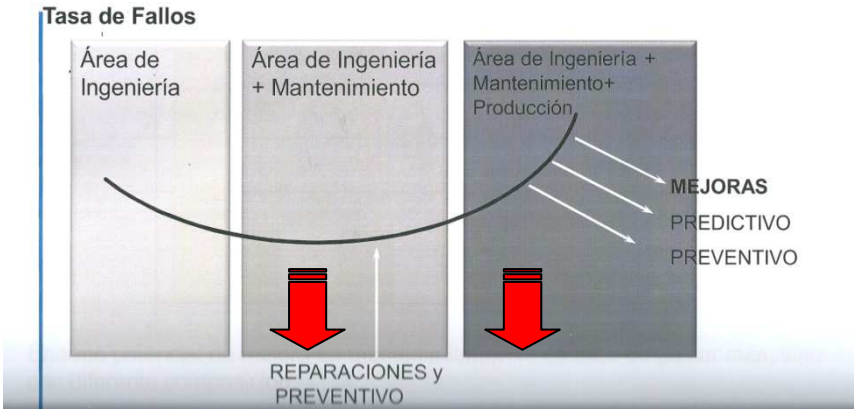


Figura 9

Figura 9 Representa la curva de la tasa de fallos con la incidencia de los diferentes tipos de mantenimientos en la disminución de la tasa de fallos.

Los anteriores tipos de Mantenimiento inciden en las zonas de la curva de la bañera señaladas en la figura 9, disminuyendo la tasa de fallos:

(M.R.S.) MANTENIMIENTO DE REACONDICIONAMIENTOS SISTEMÁTICOS

Esta clase de Mantenimiento trata de volver a poner totalmente a punto aquellos equipos que, por su uso, ya están envejecidos y sus condiciones físicas hacen difícil o antieconómica la marcha de los mismos. Con el M.R.S. Conseguiremos:

- Programar adecuadamente las reparaciones costosas en tiempo y/o dinero, no provocando con ellas paros imprevistos por producción o gastos fuertes fuera de los programados.
- Estudiar a fondo estas grandes reparaciones para efectuarlas en el lugar más oportuno:
- nuestra propia empresa,
- la casa constructora de la máquina,
- talleres exteriores.
- Decidir, sin agobios, si tal reparación ha de efectuarse o si por el contrario, es preferible sustituir el equipo por otro nuevo.

El M.R.S. es un Mantenimiento que podemos calificar como de alto nivel, dado que requiere un volver a diseñar la máquina. Para ello es preciso:

- Croquizar piezas y conjuntos.
- Mecanizar conjuntos, a veces complicados.
- Mejorar la máquina de origen ya que la experiencia de Mantenimiento es capaz y debe subsanar importantes fallos de la máquina.

El M.R.S. requiere estudiar alternativas de renovación, reconstrucción o simplemente mejoras en las máquinas.

La clase M.S. es nueva. Está basada en la moderna técnica de fiabilidad, pero con ingredientes experimentales y prácticos.



Figura 10

MANTENIMIENTO BASADO EN LA FIABILIDAD (R.C.M.)

Se define como Filosofía de Mantenimiento que incorpora la mezcla más efectiva de prácticas operativas reactivas, proactivas, preventivas y predictivas.

Un análisis riguroso de R.C.M. *(Reliability Centered Maintenance)* se basa en una combinación de técnicas de proceso de aprendizaje fundamentado en los modos de fallo de equipos similares al analizado.

Figura 10 Representa una empresa dedicada al MRS, retrofitting o reparaciones de máquina. Es la fotografía de una empresa real situada en Elgeta.

A título comparativo, el enfoque del T.P.M. se centra en el personal, tanto de Mano de Obra Directa como Indirecta, y su respuesta ante las necesidades de Mejora Continua de Activos Productivos; el R.C.M. se centra en la máquina en sí, en busca de su mayor Fiabilidad Operativa, determinando una composición óptima de tipos de Mantenimiento.

Podría aseverarse que el R.C.M. es la aplicación del T.P.M. al Mantenimiento: se potencian grupos interdisciplinares de Mejora Continua de Mantenimiento.

FASES DE IMPLANTACIÓN

1. Establecimiento del Grupo R.C.M.

- Facilitador de R.C.M. - es el consultor experto en la conducción metodológica del Programa y responsable de la consecución de Objetivos.
- Representantes de Fabricación, usualmente un Mando Intermedio y un Operario relevante, para la operación de (los) activo (s) que serán tratados con la metodología de R.C.M. (por ejemplo, maquinistas de línea o maestros especialistas del proceso productivo en cuestión).
- Representantes de Mantenimiento: un Mando Intermedio (o Técnico de Mantenimiento) y un Oficial.
- Un representante de Ingeniería, interno o externo; existe la posibilidad de involucrar al proveedor o fabricante de la tecnología en cuestión.

2. Formulación de Estándares de Funcionamiento u Productividad

Se pretende identificar rigurosamente el valor funcional del activo en cuestión, en el contexto operativo de un proceso productivo. Hay que diferenciar equipos por su nivel de criticidad en cuanto a su impacto en la fabricación, en caso de cese de su funcionamiento.

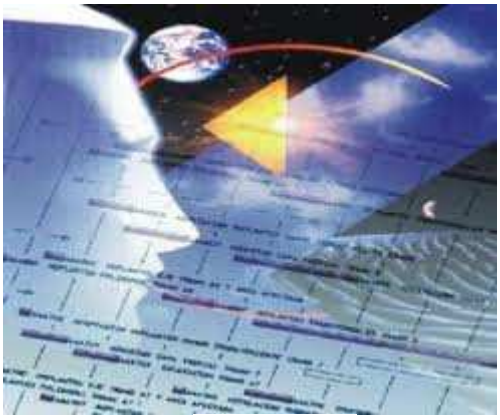


Figura 11

Asimismo, el R.C.M. enfatiza en esta fase la necesidad de cuantificar los *Estándares de Productividad* donde sea posible; éstos se refieren a la capacidad de proceso, nivel de calidad, servicio a Clientes, referencias medioambientales, costos de operación y aspectos de riesgo laboral.

Figura 11 Representa los estudios de AMFE, Análisis de Weibull, etc. que se realizan en el RCM

Fallos Funcionales

Una vez definidos en la fase anterior los estándares funcionales y de productividad, para cada Item tratado por R.C.M. deben definirse los *Fallos Funcionales*, es decir, las anomalías y averías que impiden al activo tratado el cumplimiento de Estándares de Funcionamiento y Productividad.

Modos de Fallo

En esta fase se pretende identificar cómo fallan los activos productivos, efectuando un análisis causa - efecto. Debido a que esta fase puede volverse muy engorrosa y prolongada, es preciso definir los criterios de terminación de la cadena causal. Dicho de otra manera, no deben confundirse causas con efectos; el R.C.M. pretende llegar al fondo de la serie de fallos posibles (en inglés, *Root Cause Analysis*), evitando tratar *síntomas* en lugar de la *enfermedad*.

Todo esto es necesario para formular posteriormente una política de gestión de prevención de fallos.

Efectos de Fallos

Utilizando experiencias del Grupo de Trabajo, si se trata de un activo con historial de operación, o hipótesis en el caso de Items en la fase de diseño, en esta fase se deben especificar los efectos de cada uno de los fallos en el sistema, con el fin de predeterminar los niveles de Mantenimiento Preventivo adecuados (si es necesario).

Consecuencias de Fallos

En esta fase deben cuantificarse, es decir, ponderarse las consecuencias técnicas y luego económicas de cada fallo. Esto es crucial para todo el tratamiento de recursos del Mantenimiento Planificado.

Mediante el R.C.M. se clasifican dichas consecuencias en cuatro grupos:

- *Consecuencias Ocultas*. No tienen un impacto directo aparente, pero exponen todo el Sistema Productivo [tanta el activo, como la gestión del Mantenimiento y Fabricación] a que sufra fallos en cadena con serias y, en muchos casos, catastróficas consecuencias. Como ejemplo típico de estos sistemas (partes o dispositivos) podemos destacar *fusibles* de todo tipo (mecánico, eléctrico, etc.) que no protegen el sistema principal trasladando el fallo a un subsistema intrínsecamente más seguro, en teoría al menos. Estadísticamente está comprobado que hasta un 50% de modos de fallos de equipos modernos y complejos corresponden a este grupo.

- *Consecuencias medioambientales y de riesgo laboral (seguridad).* Este aspecto es claro, sobre todo en el contexto de la nueva legislación del Control de Riesgo Laboral y de las exigencias cada vez mayores del Control de Impacto Ambiental plasmadas en la Norma Internacional de la Serie ISO 14000.
- *Consecuencias Operacionales.* Son las más evidentes en términos de repercusiones que pueden tener los fallos para la Fabricación, Calidad, Servicia al Cliente y costos directas e indirectas de Mantenimiento.
- *Consecuencias No Operacionales*. Básicamente comprenden repercusiones que pueden tener los fallos en el costo directo de reparación.

Como resultado de estos análisis, se toman las decisiones fundamentales para optimizar el Mantenimiento Planificado. Evidentemente, deben establecerse criterios de inclusión o exclusión de activos relativos a los Programas Preventivos.

Para desarrollar adecuadamente un Programa R.C.M., es muy recomendable disponer de amplia documentación histórica (Informes de G.M.A.O.) con el fin de facilitar la optimización del Mantenimiento Planificado.

Cabe añadir que el papel de Ingeniería de Mantenimiento cobra un importante protagonismo cuando se efectúan los análisis mediante R.C.M., ya que de ellos resultan muchas propuestas de Mejoras por Mantenimiento.

El método del RCM tiene mucho que ver o se parece a la metodología AMFE aplicado a los procesos en el EFQM. Es por tanto un tipo de Mantenimiento “Worl Class”, cuya aplicación a nuestro entender requiere de un desarrollo previo de otras técnicas del Mantenimiento que lleven el estado de máquina o activos a un cierto nivel de fiabilidad y conocimiento de su estado: GMAO, Predictivo, etc. Entendemos que cuando la situación es crítica acciones sencillas de sentido común ayudaran a una mejoría de la situación, mejoras, limpiezas, etc.

Lo que consiguen el MRS y el RCM es alargar en el tiempo que la tasa de fallos sea mínima.

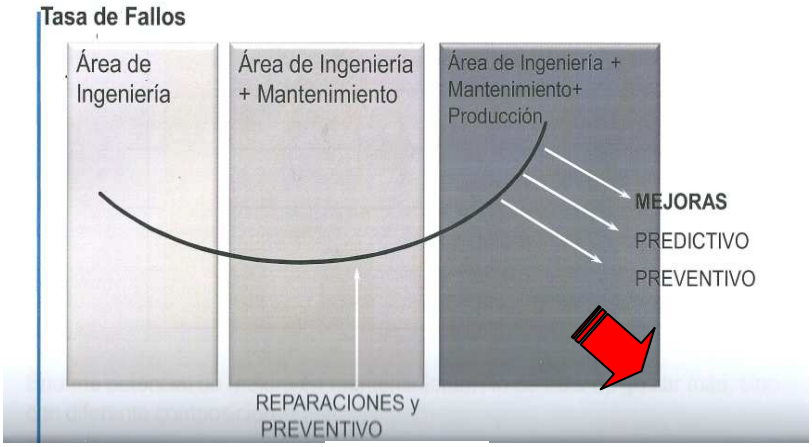


Figura 12

Figura 12 Representan la curva de la tasa de fallos con la incidencia de los diferentes tipos de mantenimientos en la disminución de la tasa de fallos.

(M.S.) MANTENIMIENTO SELECTIVO

Podemos decir que M.S. reúne una serie de técnicas que permiten automáticamente seleccionar las máquinas e instalaciones agrupadas de menor a mayor fiabilidad.

De esta forma, prestando exquisita atención a las que ofrecen menor fiabilidad se logra que la fiabilidad global de la planta aumente.

Veamos un ejemplo:

La cadena de fabricación de bielas de motocicletas está formada por: 1 brochadora, 1 torno especial, 2 fresadoras, 1 rectificadora y 2 taladros radiales.

Se aplican las Técnicas de M.S., es decir:

- Inspección visual de cada conjunto de las máquinas.
- Valoración del medio ambiente de trabajo.
- Análisis de las condiciones de trabajo de cada máquina.
- Determinación de la edad o vida útil hasta el momento.
- Se realizan varias pruebas y mediciones de funcionamiento, comprobando la calidad de las fases de trabajo de cada una.

Estos cinco factores clasificados de 0 a 100 puntos servirán para obtener un valor medio de fiabilidad que también varía de 0 a 100 puntos. Supongamos que el orden de clasificación de menor a mayor fiabilidad es:

Máquina	**Fiabilidad**
Torno especial	20%
Brochadora	32%
Fresadora B	41%
Rectificadora	48%
Fresadora A	57%
Taladro C	85%
Taladro A	96%

Tabla 3

Como se puede observar en la tabla 3 ha habido una selección automática de las máquinas porque existen varias de ellas que ofrecen en el momento actual una fiabilidad de marcha en el proceso baja o peligrosa. A las cinco primeras máquinas se las debe atender intensamente con varias clases de Mantenimiento con objeto de elevar su fiabilidad al nivel numérico del 85%.

En este caso se ve correcta la aplicación de la suma de clases de Mantenimiento siguiente:

(M.U.S. + M.S.E. + M.Y. + M.R.S. + M.P. + M.C.)

que permitirán elevar la fiabilidad de cada máquina a la cifra deseada, y lograr que la cadena obtenga una fiabilidad global del 85%.

El M.S. ahorra enormemente los costos pues hace que las acciones de Mantenimiento incidan sobre algunas máquinas y no se paseen por el conjunto, que dará lugar a revisiones, inspecciones y reparaciones costosas y superfluas.

Del análisis de los tipos de mantenimiento MBC y MS podríamos también sintetizar la idea de que el mantenimiento no debe ser indiscriminado.

Personalmente me he cansado de discutir este concepto con algunos Directores de Calidad que sólo entienden de la aplicación literal de manuales.

Es decir en el ejemplo que hemos visto la aplicación directa de “manual” nos lleva a una composición del MI como la indicada arriba.

Sin embargo se podría hacer un planteamiento de centrarse primero en las 4 máquinas que tiene más baja fiabilidad y dejar de lado, al principio al menos, las 3 máquinas que tienen más alta fiabilidad. Es decir podríamos aplicar la técnica ABC aplicada a la fiabilidad, es decir discriminar en este caso por fiabilidad, podrían ser otras razones. El discriminar ayuda a centrar esfuerzos (Tabla 4).

	ABC	Fiabilidad	Tasa Fallos	% Total
Torno Especial	24,92	20	80	24,92
Brochadora	46,11	32	68	21,18
Fresadora B	64,49	41	59	18,38
Rectificadora	80,69	48	52	16,20
Fresadora A	94,08	57	43	13,40
Taladro C	98,75	85	15	4,67
Taladro A	100,00	96	4	1,25
TOTAL			321	100,00

Tabla 4

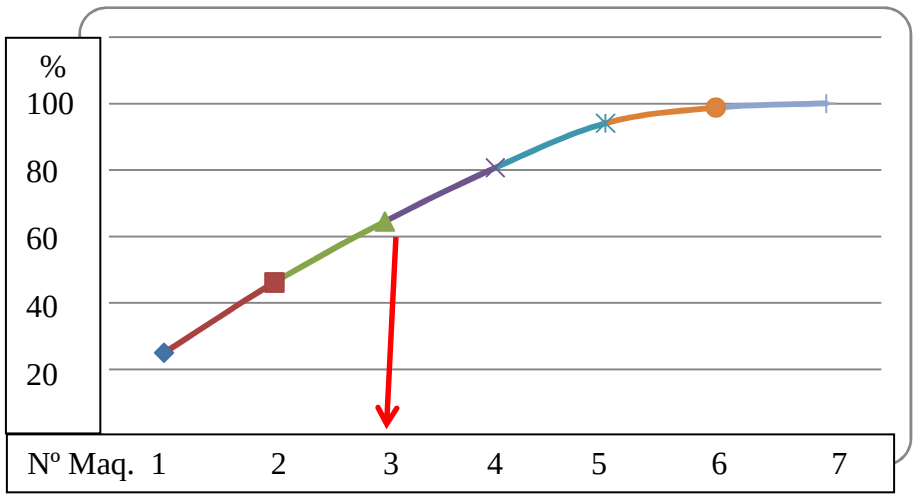


Figura 13

Figura 13 Representa cómo se consigue centrar la atención en 3 máquinas en lugar de las 7.

Lo que conseguimos de esta forma es centrar la atención en 3 máquinas en lugar de las 7, según puede verse en la figura 13, ósea la reducción de la población inicial para centrarnos es casi del 43%. Si estuviésemos muy apurados para abordarlo, por ejemplo nos podríamos centrar en 3, que prácticamente abarcarían el 65% de las paradas y sin embargo representar sólo el 43% del parque.

PRINCIPIOS Y FUNDAMENTOS

Para ir centrando paulatinamente el proyecto partiremos de la presentación progresiva de algunos principios, definiciones y fundamentos que nos vayan proporcionando la luz suficiente para la comprensión de La Función Mantenimiento.

3.- CONCEPTOS Y TERMINOLOGÍA

Como ya hemos indicado arriba, antes de profundizar en el contenido del presente proyecto, entendemos necesaria la aclaración de cierta terminología.

MANTENIMIENTO INTEGRAL

Se define como aquel mantenimiento que adopta los diferentes tipos o categorías de Mantenimiento existentes para desarrollar la función Mantenimiento, lo hemos desarrollado en el capítulo 2. Se utiliza también cuando se ofrece un servicio externo que ofrece diagnóstico y reparación.

MANTENIMIENTO ÓPTIMO

Se denomina Mantenimiento Optimo a aquel que reduce al máximo el coste de mantenimiento. El coste imputable y derivado de la acción (o no acción) de Mantenimiento. Más adelante desglosaremos el significado de coste de mantenimiento

FUNCIÓN MANTENIMIENTO

Se trata del conjunto de actividades que se desarrollan en los diferentes departamentos de la empresa, para las cuales la Gestión de Mantenimiento Asistido por Ordenador (GMAO) es el centro neurálgico, y cuyo objetivo es minimizar el Coste de Mantenimiento durante el ciclo de vida de una máquina o equipo (LCC).

Lo iremos desmenuzando poco a poco.

El Coste de Mantenimiento, dado que va a ser el eje sobre el que se van a vertebrar todas las decisiones que se tomen en la gestión de La Función Mantenimiento, conviene aclarar el significado del término de Coste de Mantenimiento, para que no haya dudas.

COSTE TOTAL DE MANTENIMIENTO

En toda instalación fabril se producen averías las cuales pueden provocar paro de las mismas en una forma total ó parcial. Pueden también ser detectadas antes de que ocurran y así puede ser programadas su corrección o reparación para que se realice en el momento más

oportuno y evitar así el paromencionado, principalmente el total.

Tanto en un caso como en el otro hay una acción de Mantenimiento que origina un costo determinado. Sin embargo, no será este solamente el costo total debido al Mantenimiento de la Instalación (coste directo), ya que si dicha corrección ha originado un paro en la instalación, también este costo debe considerarse (coste indirecto).

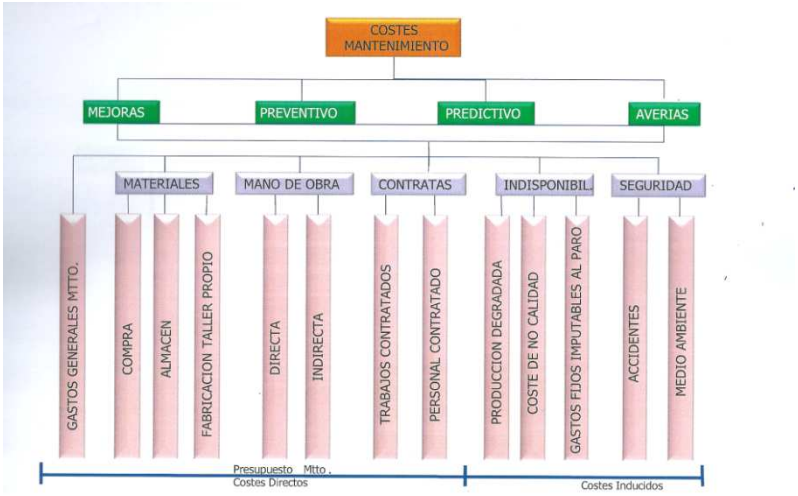


Figura 1

Figura 1 Representa un esquema con las diferentes actividades de La Función Mantenimiento y los costes directos y los costes indirectos de parada y Salud Laboral.

Por tanto toda organización que pretenda a hacer mínimo el coste directo de Mantenimiento actuará de forma incompleta y más aún diríamos que hasta negativa porque el mínimo del total no es lo mismo que el mínimo de uno de los sumandos, los resultados pueden ser absolutamente nefastos.

Lo que queremos hacer significar es que si tenemos los dos factores de coste:

1. Acción directa
2. Costo del paro

⇒ Es la suma de estos dos factores la que debe hacerse mínima.

Lo que de manera clásica suele ocurrir es que se pretenda hacer mínimo el coste de la acción directa pero sin embargo aumente el coste indirecto enormemente, lo veremos más adelante en uno de los ejemplos prácticos.

Vamos pues a estudiar individualmente cada uno de estos costos para aclarar los conceptos. Empezaremos por el coste de acción directa.

- ❖ COSTE DE ACCIÓN DIRECTA

En la cuantía de los mismos intervienen tres capítulos perfectamente determinados.Vamos a examinar especialmente cada uno de ellos:

1. Coste correspondiente a los materiales

En la realización de un trabajo de Mantenimiento se precisa materiales diversos que podemos considerar incluido en:

- Materiales Standard
- Materiales especiales
- Piezas de recambio

Los materiales Standard son aquellos que empleamos con cierta frecuencia y en muy diversos tipos de reparaciones y gran cantidad de máquinas distintas, instalaciones diversas, Mantenimiento general de edificios, etc., están incluidos en el Almacén de Mantenimiento (o deben estarlo).

Dichos materiales saldrán de dicho almacén mediante el vale correspondiente, el cual estará debidamente referenciado para que pueda hacerse el correspondiente cargo al trabajo que corresponda.

Existirán fichas de los mismos en el Almacén y en ellas se irán realizando las extracciones, hasta llegar al punto en que deben hacerse los pedidos de reposición correspondientes. Existen técnicas para la gestión de estos stocks.

Los materiales especiales de difícil adquisición en el mercado serán construidos en los propios Talleres Centrales de Mantenimiento, mandados construir sobre plano en Talleres exteriores y en según qué circunstancia si se prevé su existencia en algún sector del Mercado exterior se adquirirán en el momento preciso.

El costo de dichos materiales será:

1. El valor de factura en caso adquisición en el mercado exterior.
2. El precio de factura del constructor en caso de ser realizado en Talleres exteriores.
3. El derivado de la ficha de trabajo abierta en solicitud del propio Mantenimiento al Taller y corresponderá a su vez el valor de los materiales (materia prima) empleada, sumadas al valor de las horas empleadas en la construcción y que veremos en el momento de estudiar como determina el coste del valor total de la Mano de Obra.
4. Las piezas de recambio estarán en el almacén de Mantenimiento pero dentro del mismo ocuparan un departamento especial.

- Se ha hablado mucho sobre el valor que debe darse a estas piezas de recambio. El precio de coste en el momento de su adquisición ó el valor de reposición en cuanto son utilizadas.
- Lo más aconsejable es darles el valor de reposición.
- Es frecuentemente utilizado un sistema consistente en cargar a la máquina ó instalación correspondiente en el momento de la recepción de la pieza. En el momento de su utilización sale del almacén sin cargo.
- Este sistema tiene el inconveniente de no ser real, ya que carga el valor del Mantenimiento de estas máquinas ó instalaciones anormalmente, adecuado a los mismos costes inexistentes. Además, si el control de dicho Almacén de piezas de recambio no es muy estricto puede darse el caso de una doble imputación.
- El inconveniente del sistema de imputación del coste con el valor de reposición del recambio puede tropezar con el inconveniente de no conocer este valor, principalmente cuando la procedencia de dicho repuesto es de importación sin embargo a pesar de ello es preferible. En caso de dificultad se imputará en el momento en que se conozca este precio.
- En otras ocasiones el recambio es fabricado por algún taller exterior ó en el mismo de Mantenimiento. Nos encontramos ante el mismo caso mencionado en el apartado anterior y por tanto actuaremos del mismo modo.

COSTE DE ESTRUCTURA del propio servicio de Mantenimiento

Mantenimiento como cualquier otrodepartamento tiene unos gastos de Estructura propios, que son:

1. Los sueldos del Personal Superior del Servicio (Ingeniero y técnicos general si los hay)
2. El personal del Departamento de Mantenimiento
3. Los técnicos de Métodos, planificación, programación
4. La amortización de la propia instalación (máquinas, utillaje de comprobación, medición, etc.)
5. El utillaje propio de trabajo (brocas, sacabocados, sierras,etc.)
6. La amortización de los edificios ocupados
7. El gasto propio de Energía

8. Una parte de los gastos Generales de los Servicios de Personal y Administración

En cambio, no debe cargar con ninguna parte de los Gastos Generales de Empresa, Dirección general, Comercial, ni incluso de Producción, ya que Mantenimiento no precisa para su actuación de ninguno de los servicios mencionados, naturalmente excepto el último, pero solo en la medida en que allí se verifica principalmente su acción, pero la existencia del Mantenimiento no origina gastos en Producción, por lo que no debe participar este Servicio en la carga de sus gastos de estructura.

Estos gastos Generales se distribuirán de una forma ponderada entre los equipos homogéneos existentes en el Servicio de Mantenimiento. Esta distribución se hará por cantidad de máquinas y utillaje empleados, número de peticiones de trabajo recibidas, superficie geográfica del Servicio empleada.

Una vez hecha la distribución por equipos, se repartirá el valor global correspondiente por el número de horas a realizar por el equipo.

Esta es la más aconsejable distribución que debe hacerse de los gastos Generales, pero en una primera fase, puede utilizarse un sistema no tan exacto, pero más rápido, consistente en distribuir el total de dichos Gastos Generales entre todas las horas a realizar efectivamente por el personal de Mantenimiento.

Debe repartirse el total de este gasto entre las horas que REALMENTE SE TRABAJARAN, lo cual puede hacerse muy aproximadamente descontado de las horas teóricas, las estadísticamente presumidas de absentismo, enfermedad, accidente, etc. Las diferencias que puedan presentarse tienen ya entonces una importancia menor.

COSTE DE MANO DE OBRA

Estos costes deben también calcularse por secciones ó equipos homogéneos. En este coste horario aparecerán:

- El salario de los operarios
- Los salarios y sueldos de los encargados directos de cada sección considerada
- Los preparadores, cronometradores, que actúen exclusivamente para cada sección ó equipo
- Las cargas sociales de todas clases que originen todo los componentes de cada grupo.

EL COSTE HORARIO será el resultado de sumar los capítulos 2 y 3, ó sea los costes correspondientes a la Mano de Obra propia, más los gastos Generales de cada grupo.

LOS GASTOS DE ACCIÓN DIRECTA para cada trabajo efectuados los obtendremos mediante la expresión:

G = (Nº de horas empleadas x COSTE HORARIO) + COSTE DE MATERIALES

- ❖ COSTE DE LA PARADA

El segundo sumando del total establecido como coste de una acción de Mantenimiento corresponde al coste que origina el paro por varios conceptos:

- Materiales perdidos que estaban en proceso en el momento de producirse la avería
- Jornales perdidos por los operarios, ya que los operarios de Producción no pueden emplearse en su tarea
- Incidencias eventuales en la línea, arriba y abajo de la máquina ó instalación parada
- Producción perdida durante el paro de la máquina ó instalación

No obstante debemos considerar dos supuestos eminentemente decisivos en el momento de detectar este coste y que son:

- La pérdida de producción es recuperable
- La pérdida de producción no se podrá recuperar

En el primer supuesto,prácticamente el coste es únicamente el siguiente:

1. Pérdida de los materiales en proceso en el momento de la avería
2. Coste de los jornales de los operariosde producción, solamente hasta el momento en que pueda ser encontrado para ellos una ocupación que, por lo menos en parte, pueda hacer menores dichas pérdidas.

En el segundo supuesto tendremos como complemento de dicho coste:

1. Igualmente como antes, la pérdida de materiales en proceso
2. Jornales de los operarios hasta nueva ocupación
3. Diferencia entre el precio de venta y el precio de coste de la producción perdida y no recuperable, lo que también se denomina Margen Bruto.

⇒ Es bajo las condiciones de este segundo supuesto donde el desarrollo del presente Proyecto adquiere todo su valor. Debido a que las pérdidas del Margen Bruto, por los citados motivos, pueden hacer que una empresa vaya a la quiebra. En los ejemplos prácticos veremos un caso real de este riesgo.

⇒ Ahora bien es fundamental valorar debidamente esta pérdida económica, de nada sirve decir que la Producción no puede parar porque las consecuencias con el cliente, económicas etc., son catastróficas si ésta pérdida no está realmente cuantificada.

⇒ Servirá también para justificar las mejoras a realizar.

REPARABILIDAD Y FIABILIDAD

El conocimiento de estos dos parámetros es muy interesante. En nuestras empresas, no todos los equipos ni elementos que constituyen una instalación se averían con la misma frecuencia ni se reparan con la misma facilidad.

Para medir estos dos aspectos se emplean los conceptos de fiabilidad y reparabilidad.

Fiabilidad

Es la probabilidad de que un equipo o instalación esté por encima así mismo de servicio después de un período determinado.También se puede definir como la probabilidad de que no se averíe durante un determinado período de tiempo.

Es muy útil el conocimiento del Índice de fiabilidad (IF) que es el tiempo medio transcurrido entre dos fallos, así como su evolución en el tiempo lo que nos permitirá poder predecir el comportamiento futuro del componente en cuestión.También es conocido como MTBF del inglés Midle Time Between Failure

El valor de los índices de fiabilidad es recomendable que se exijan en el momento de la adquisición del nuevo equipo, pues así nos evitamos el cálculo de dichos índices partiendo del histórico de averías del componente en cuestión.

Reparabilidad

Es la probabilidad de que un equipo averiado pueda ser puesto nuevamente en condiciones idóneas de servicio después de una avería, en un tiempo determinado o standard.

El índice de reparabilidad (IR) es la inversa del tiempo medio de reparación (MTTR)

En este apartado hay que tener presente que los índices de reparabilidad mejoran sustancialmente con una metodización de la reparación y con la estandarizacióndel elemento en cuestión, consiguiéndose así mayor disponibilidad del recambio.

Una vez aclarado el concepto de Coste de Mantenimiento, abordaremos la cuestión de La Informatización del Mantenimiento.

4.-LA INFORMATIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO

Siendo la informatización del Mantenimiento una cuestión de vital importancia en la buena organización y gestión de la Función Mantenimiento desarrollaremos en este capítulo, de los Principios y Fundamentos, todas las consideraciones técnicas que inciden en su correcta implantación y desarrollo práctico. Habitualmente se le conoce como GMAO (Gestión de Mantenimiento Asistido por Ordenador), la tendencia moderna viene aplicándole la terminología TIC (Tecnología de la Información Computerizada).

REQUISITOS PARA SU INTRODUCCIÓN

El mantenimiento es una actividad compleja. Precisa de ayudas para preparar, planificar, ejecutar y controlar su actividad.

Los sistemas informáticos pueden prestarnos esta ayuda. Lo que el GMAO no resuelve son las cuestiones de hábitos, tendencias, etc., que cualquier organización pueda tener. Aquí está la esencia o clave para una buena implantación.

Para ello, por lo tanto, es necesario:

- Disponer de una organización desarrollada.
- Compatibilizar la misma con las necesidades del programa y viceversa.

Hay que adaptar lo uno a lo otro y viceversa, para ello se debe:

- Elegir convenientemente tanto el hardware como el software.
- Aplicar sistemas interactivos.
- Mentalizar a los usuarios en el sentido de que nada debe ser hecho “a espaldas” del programa.

1.- ORGANIZACIÓN

El planteamiento organizativoque desarrollaremos en el presentecapítulo admite evidentemente su tratamiento informático, que será luego el que nos permita una gestión eficaz de La Función Mantenimiento.

2.- ADAPTACIÓN

A pesar de lo anteriormente dicho, será siempre necesario (o conveniente) adaptar parte del programa informático a las características nuestro sistema organizativo, a no ser que lo diseñemos para nuestro exclusivo uso, lo cual no recomendamos.

Hoy en día, por regla general los sistemas son más abiertos y por lo tanto personalizables que los de antes. No obstante conviene siempre cerciorarse de esta posibilidad.

3.- ELECCIÓN

En la elección de la solución informática debemos buscar que sea:

- Fácil de manejar.
- Adaptable.
- Documentada.
- Segura.



Figura 1

Y nos debe permitir:

- La edición de órdenes de trabajo.
- Planificarlas y programarlas.
- Asignarlas.
- Reservar materiales precisos.
- Agilizar la gestión de repuestos.
- Memorizar los históricos de los equipos.
- Conectar con otros departamentos (administración, contabilidad, etc.).

4.- SISTEMAS INTERACTIVOS

El que el sistema sea interactivo quiere decir que debe permitirnos la posibilidad de consultar y modificar, es decir el responsable del sistema debe estar por encima propio programa.

Figura 1Representa la evolución de una planificación manual engorrosa a una planificación a través del GMAO mucho más ágil y completa.

Los requisitos básicos necesarios son:

- Debe permitir la entrada, consulta y edición de documentos por parte de cualquier persona autorizada, en cualquier momento con posibilidad de acceder a los datos autorizados que puede haber introducido otras.
- Deben poderse modificar prioridades.
- Deben poderse introducirse modificaciones de otro tipo.
- Debe avisar cuando se alcancen ciertos niveles en las variables en las que se hayan especificado cotas de alarma o atención.

5.- MENTALIZACIÓN DE LOS USUARIOS

Debemos poner especial énfasispara que no se realicen trabajos, operaciones, asignaciones de recursos, etc. sin entrarlos en el sistema, la información obtenida y muchos datos de base serán falsos, con lo que el sistema se resentirá gravemente hasta poder llegar a desmoronarse totalmente. En cualquier sistema donde intervienen las personas es siempre un punto clave, en el Desarrollo de Implantación y Desarrollo Practico aportaremos algunas directrices de carácter práctico.

Hemos dicho que recomendamos la adopción de un programa standard, aunque deban hacerse ligeras adaptaciones, y las razones para ello son que dichos programas son:

- De mayor tecnología y probada fiabilidad.
- De menor coste, o de coste conocido.
- De más fácil y mejor implantación.
- Tienen un futuro mejor, ya que se aprovecharán automáticamente de todos los avances tecnológicos compatibles con el programa de una forma prácticamente automática.
- Tienen club de usuarios que nos puede aportar apoyo o ideas adicionales.

Recomendamos asimismo decantarse hacia los miniordenadores o PC´s antes que a los ordenadores centrales,si con sistemas de pequeña informática bastan para las características de nuestra empresa.

Finalmente nos será necesario un periodo de formación y práctica de los usuarios antes de introducir el sistema. Dicha información y práctica atenderá al uso del sistema esencial y exclusivamente.

CAMPOS FUNDAMENTALES DE APLICACIÓN



Figura 2

Los campos fundamentales de aplicación del GMAO son:

- Ordenes de trabajo (OT).
- Edición, programación yplanificación
- Hay que tener en cuenta los diversos tipos de trabajos que generan OT´s:

1. Mantenimiento correctivo o de emergencia.
2. Mantenimiento preventivo.
3. Mantenimiento programado y extraordinario.
4. Mantenimiento general.

Veamos el tratamiento que necesitan:

1. Mantenimiento de emergencia

El sistema informático debe ayudar a realizar las tareas necesarias ante una avería que se presenta inoportunamente:

- Determinar el tipo de intervención necesaria, especialidad, urgencia, etc.
- Decidir las acciones a ejecutar para resolver la avería.
- Determinar los materiales necesarios para ello.
- Investigar si los materiales existen en el Almacén de Mantenimiento o si hay que aprovisionarse.
- Realizar y controlar los trabajos previstos.

Figura 2 Representa la capacidad del GMAO para organizar las diferentes actividades de La Función Mantenimiento como si se trataran de figuras de ajedrez.

Con el sistema debemos poder:

- Crear la orden de trabajo (O.T.), de los diferentes tipos Mantenimiento
- Buscar y reservar materiales para las intervenciones Planificadas.
- Decidir el personal más idóneo para realizar los trabajos planificados
- Consultar la historia del equipo averiado a fin de ver si puede sernos de ayuda, viendo lo que se ha hecho con anterioridad ante una emergencia del mismo tipo o similar.
- Ver si algunas gamas de trabajo o diagramas de proceso pueden ser aplicados al caso que se presenta, ya que éstas estarán indicadas en el histórico.

Una vez terminado el trabajo, el sistema nos debe permitir la introducción de los datos correspondientes a los trabajos realizados, su valoración e imputación, así como el pase de los mismos al histórico correspondiente.

2. Mantenimiento preventivo

En este caso los trabajos a realizar son conocidos por lo que el sistema informático nos ayudara a:

- Planificar las órdenes previstas.
- Indicar la forma de realizar los trabajos.
- Reservar con la antelación debida los materiales necesarios previstos.
- Controlar la realización de los trabajos.

Para poder hacerlo el sistema deberá conocer:

- El plan preventivo previsto (trabajos, fechas, tiempos).
- Las gamas de trabajo y diagramas de proceso correspondientes a los mismos, con especificación de las especialidades que las integran, así como los tiempos para cada una de ellas.
- Los materiales standard previstos para cada trabajo.
- Las herramientas y equipos necesarios.

Para ello es necesario que podamos:

- Crear la orden de trabajo (BI) de Mantenimiento Preventivo y Predictivo (Boletín Inspección).
- Introducir los datos sobre los trabajos a realizar indicando especialidades, tiempos y gamas si las hay previstas.
- Introducir datos correspondientes a materiales y herramientas necesarias.
- Hacer reservas sobre materiales de almacén u ordenar aprovisionamientos, así como posteriores devoluciones eventuales al término de trabajo.
- Establecer, para cada trabajo, los tiempos entre revisiones (carga x días) según el plan preventivo.

En disposición del Plan de Mantenimiento y de los trabajos a realizar para cumplimentarlo, una vez introducidos todos los datosel programa debe ser capaz, para cada periodo de lanzamiento del Plan,de editar las órdenes correspondientes, de hacer las reservas de materiales o indicar los aprovisionamientos necesarios e incluso presentar en gráfico,etc., la relación de carga de trabajo en cada especialidad, carga de trabajo contra horas disponibles por especialidad, etc.

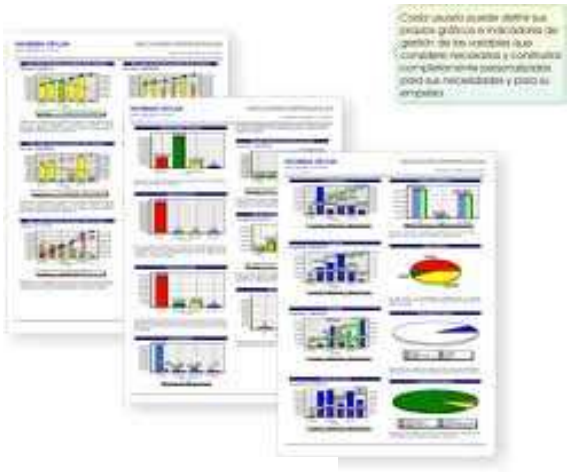


Figura 3

El programa deberá así mismo permitir que, a través de esta información, podamos efectuar cambios como pueden ser de adelantos o retrasos de alguno de los trabajos previstos a fin de equilibrar la carga, etc.

3. Mantenimiento programado y extraordinario

Se refiere a trabajos no previstos en el Plan de Mantenimiento Preventivo, pero que no deben ser realizados en forma inmediata, con lo que permiten una mejor preparación y pueden quedar previstos en el plan de futura realización. La demora estará condicionada por la carga de trabajo de cada especialidad.

Figura 3 Representa una batería de informes que todo GMAO debe proporcionar, costos generales, por línea, por especialidad, horas de averías, tarta de fallos por grupos funcionales, carga de trabajo, etc.

El programa funcionará, en gran parte, de la misma forma aplicada al Mantenimiento Preventivo, del que lo diferenciará el no disponer de planificación standard.

4. Mantenimiento general

Se utilizará para la realización de trabajos no especificados anticipadamente y que corresponden a un determinado Centro de Coste. El sistema permitirá:

- La apertura de estas OT´s abiertas.
- La introducción de datos tanto de Mano de Obra como de materiales, así como la reserva y extracción de los mismos del almacén.
- Normalmente se indicará el periodo de vigencia de la orden con lo cual se cerrará automáticamente en la fecha prevista.

HERRAMIENTAS DE GESTIÓN

Además de las herramientas necesarias para el desarrollo del Mantenimiento Correctivo y Preventivo-Predictivo, el programa de GMAO debe ser capaz de ofrecernos algunas herramientas que nos ayuden en la gestión de la Función Mantenimiento:

1. Control de las órdenes de trabajo

El sistema debe permitirnos la consulta de la situación de las órdenes de trabajo en cada momento, lo que suele poder hacerse a través de diversas vías de acceso:

- Por número de orden.
- Por especialidad.
- Por centro de coste.
- Por equipo.
- Por urgencia, etc.

De esta formatendremos un control excelente sobre los posibles retrasos y sus causas.

En las distintas órdenes de trabajo que podamos especificar los costes previstos si los conocemos o los hemos investigado, deberán aparecer posteriormente los costos reales, con lo que llevaremos un control excelente de las desviaciones por O.T. y sobre el presupuesto general para los periodos establecidos.

Es fundamental para ello considerar el concepto del costo delparo correspondiente a los diversos equipos.

Este control nos indicará las causas de posibles retrasos y en consecuencia se podrá

ejercitar las pertinentes acciones para resolver los inconvenientes presentados y que esencialmente serán:

- Falta de personal especializado disponible, con lo que habrá que considerar la conveniencia de subcontratar o intentar que el *"cliente"* acepte el retraso en la realización.
- Falta de materiales. Aunque el programa lanza las oportunas realizaciones si los trabajos son preventivos o programados a fin de que estén en disposición en la fecha prevista, siempre puede haber retrasos en la gestión de petición o de suministro que provocan la falta en el momento de la necesidad. Será necesario en éste caso proveer un suministro urgente extraordinario.
- Producción no puede parar el equipo para poder ejecutar los trabajos. Tratar de determinar una nueva fecha y reprogramar. Esto hay que evitarlo a poder ser en el plan de Mantenimiento Preventivo, aunque siempre puede haber un poco de holgura en la ejecución.
- Falta de herramientas adecuadas o de elementos auxiliares de trabajo. Hay que gestionar éstos detalles o bien anticipadamente o con urgencia ante averías.



Figura 4

2. Históricos de averías:

Para los equipos que se determinen, todas las intervenciones que sobre los mismos se hagan, deberán quedar reflejados en la ficha histórica de intervención del mismo:Trabajos con especificación de su tipo (preventivo, programado,, o de emergencia), sustituciones, adiciones y modificaciones, etc., con especificación de fechas, números de O.T., tipo de trabajo realizado, tiempos de realización, costos de la mano de obra, materiales y servicios externos, coste del fallo, gamas de trabajo utilizadas, etc.

Figura 4 Representa una tarta de fallos por grupos funcionales (arborescencia) de una máquina, debe de servir para valorar la rentabilidad de las mejoras.

3. Gestión de Stocks

Debe permitirnos el control de existencias, ordenar el reaprovisionamiento, establecer los lotes más económicos de compra, informar de los artículos que han caído por debajo de los Stocks de seguridad y dar información que permita la toma de decisiones de orden general.

Para ello será necesario:

1. Crear el fichero de existencias con especificación de los datos iniciales sobre punto de aprovisionamiento, lote de compra, stock de seguridad, precio del artículo, etc.
2. Crear el documento informático para la extracción de materiales de almacén e imputarlos a una determinada O.T.
3. Poder consultar si los materiales necesarios están inventariados en almacén, poder reservarlos en caso positivo o lanzar órdenes de reaprovisionamiento en caso de existencia insuficiente o de no estar inventariados.

La gestión de los stocks comportará la información sobre:

- Listado de existencias en cada periodo interesado y su importe.
- Listado de artículos que han caído por debajo del punto de aprovisionamiento, con indicación de la existencia de eventuales órdenes de reaprovisionamiento.
- Listado de consumos por periodo.
- Variación automática del lote de compra, del nivel de aprovisionamiento y del stock de seguridad de acuerdo con la variación de consumos y precios.
- Información sobre los artículos sin movimiento u obsoletos.
- Listados de existencias ordenadas por precio del artículo de forma a permitir el trazado de la correspondiente curva ABC.
- Listado de consumos ordenados por importe de los mismos, base de su curva ABC.

En cuanto a los reaprovisionamientos deberá facilitar:

- El documento de reaprovisionamiento según la especificación standard.
- La posibilidad de cambiar este standard.
- El control de recepción de partes, correspondientes a los pedidos.

- Indicación sobre posibilidad de realización de un trabajo interrumpido por falta de los materiales precisos, situación corregida por la recepción de los mismos.

4. Control de la Gestión del Mantenimiento

Todo lo indicado anteriormente es parte integrante de dicho control, pero este capítulo debe completarse con la posibilidad de que, mediante la introducción en el sistema de los datos necesarios, podamos conocer la evolución de los índices de control especificados para cadaapartado correspondiente. De tal forma que automáticamente nos los entregue en los periodos previamente determinados, tanto en su indicador puntual como en el evolutivo de manera que podamos obtener los cuadros de gestión que consideremos necesarios de una manera automática y a su debido tiempo.

También es interesante ver la conveniencia de que obtengamos el registro de la evolución de los índices de fiabilidad y de reparabilidad así como su tendencia.

ORGANIZACIÓN NECESARIA

Ya hemos indicado anteriormente el tipo de organización que se precisa para quetengamos éxito conla informatización.

Queremos insistir sin embargo en unas cuestiones básicas:

- La necesidad de la adecuada mentalización del personal que deba integrase en el programa.
- La necesidad deelegir un Jefe de Administración del sistema.
- La necesidad dela debida formación y concienciación.
- La necesidad deelegir un sistema adecuado a nuestras necesidades.

ORDENADORES Y PROGRAMAS. ALGUNAS CONSIDERACIONES.

Diremos finalmente lo que consideramos básico al estudiar la posibilidad de informatizar la gestión del mantenimiento.

En cuanto al ordenador en sí mismo decidir:

Si será dedicado en exclusiva o compartido con otras aplicaciones.



Figura 5

- Capacidad de almacenamiento y rapidez de información.



Figura 6

- Posibilidad de ampliación.
- Periféricos necesarios.

En cuanto al programa:

- A medida o standard. Mejor esto último.
- Posibilidades del programa de base y posibilidades de ampliación y adaptación (personalización).

Si recomendamos un standard es por su mejor economía, posibilidades de software y de posibilidades de personalización.

Respecto a la personalización ver si dicha adaptación puede hacerse:

- Sin programar o reprogramar.
- Mantenimiento al soporte.
- Compatible con nuevas versiones.
- Compatible con nuevo hardware.



Figura 7

PREPARACIÓN PARA LA INFORMATIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO (G.M.A.O.)

En la actualidad, muchas organizaciones de Mantenimiento consideran que tienen las condiciones adecuadas para informatizar la gestión. Según nuestras experiencias, son muy pocas las Empresas, sobre todo en el ámbito de las PYME´s, que disponen de cobertura documental procedimentada y fiable apta para la configuración en un sistema de Gestión de Mantenimiento Asistida por Ordenador (G.M.A.O.).

Figuras 5, 6, 7 Representan cabeceras de programas de GMAO muy conocidos en el sector.

Con bastante frecuencia se presenta una de las siguientes situaciones:

1. Un paquete comercial de G.M.A.O. adquirido, pero sub-aprovechado por falta de asesoramiento especializado o ausencia del personal adecuado en la estructura del Departamento de Mantenimiento.
2. Un programa de Gestión Integral de Producción que dispone de módulo de Mantenimiento; este caso se suele presentar en grupos empresariales, sobre todo multinacionales, donde se homologan sistemas de gestión y los paquetes informáticos provienen del desarrollo central.
3. Programas sencillos desarrollados en la propia Empresa, que se desean ampliar o sustituir por soluciones externas.
4. Necesidad de informatizar sólo un tipo de Mantenimiento, típicamente Preventivo.

Algo de esto se ha podido entrever en el informe de La AEM.

En todo caso, durante la implantación del Proyecto el Consultor debe ofrecer su ayuda en atención a las necesidades específicas de cada Empresa para el:

- Desarrollo propio de un programa hecho a la medida de la Empresa. Nuestros consultores asesoran su Departamento de Informática con plena participación del Departamento de Mantenimiento de la Planta.
- Diseño de los circuitos documentarios de Mantenimiento Correctivo, Preventivo, Predictivo y de Almacenes de Repuestas, prácticas operativas y flujos de información normalizadas.
- Apoyo total en la configuración del software comercial, en colaboración con el Departamento, de Mantenimiento y los técnicos de la casa proveedora.
- Elaboración de la gama de informes de G.M.A.O. necesarios para aprovechar al máximo el uso del software.

Hay que recalcar que muchos de los proveedores de software comercial de G.M.A.O. no son expertos en Mantenimiento Industrial, por lo que la intervención profesional del Consultor del Proyecto reduce sensiblemente el tiempo de implantación informática de G.M.A.O.

Como actividades auxiliares, el Consultor debe ser capaz de ofrecer asesoramiento en:

- Diseño o modificación de códigos de activos, estructuración arborescente de los Centros de Coste (Máquina) a nivel deseado de gestión (Grupos Funcionales).

- Integración de la gestión de Mantenimiento Preventivo y Predictivo en las mismas rutas.

- Revisión de los mínimos, máximos y puntas de pedido en los Módulos de G.M.A.O. de gestión de Almacenes de Repuestos.
- Desarrollo de programas especiales de cálculo de fiabilidad y mantenibilidad, a partir de los datos históricos de gestión.Enlace de datos históricos de G.M.A.O. con las necesidades del Departamento de Ingeniería.
- Enlace de datos de Producción y Mantenimiento para cálculos de Efectividad Global y Productividad. Esto en los sistemas MES es mucho más sencillo.



Figura 8

OBSERVACIÓN IMPORTANTE:

El Consultor del Proyecto no debe representar ninguna marca comercial de software de G.M.A.O., siendo totalmente independiente en la orientación del Cliente hacia la alternativa más adecuada de informatización del Mantenimiento Industrial.

ESQUEMA CIRCUITO TÍPICODOCUMENTACIÓNGMAO

Presentamos a continuación en la figura 9 una matriz de documentos tipo o esquema de documentos básicos:

Figura 8 Representa la asesoría que el consultor debe ofrecer para obtener los informes que ayuden a gestionar La Función Mantenimiento.

DOCUMENTOS BASICOS DE MEDICION Y CONTROL DE RECURSOS Y ACTUACIONES DE MANTENIMIENTO

DOCUMENTO	CIRCUITO DOCUMENTARIO	EMISOR	RECEPTOR	APLICACIONES	OBSERVACIONES
SOLICITUD/ORDEN DE TRABAJO	CIRCUITO BASICO DE MEDICION DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	TODOS LOS DPTOS.	DPTO. DE MANTO.	DOCTO. FUENTE PARA LA GESTION DE MANTO.	DIRECTAMENTE INFORMATIZABLE
BOLETIN DE INSPECCION DE GAMA PREVENTIVA	CIRCUITO DE REGISTRO DE INSPECCI-ONES PERIODICAS DE INSTALACIONES	DPTO. DE MANTO.	DPTO. DE MANTO.	EMISION DE OT'S PLANIFICABLES	EMISION POR G.M.A.O. AUTOMAT.
BOLETIN DE INSPECCION DE RUTA PREDICTIVA	CIRCUITO DE REGISTRO DE MEDIDAS PARA DIAGNOSTICO TECNICO	DPTO. DE MANTO.	DPTO. DE MANTO.	TENDENCIAS DE AVERIAS CUANTIFICABLES	SUSTITUIBLE POR COLECTOR /DATOS
PARTE DE INCIDENCIAS/ LIBRO DE NOVEDADES	CIRCUITO DE REGISTRO TOTAL DE INCIDENCIAS DE FABRICACION	DPTO. DE FABRICAC.	DIVERSOS (MTO., FAB.)	DATOS FUENTE PARA LA EFECTIVIDAD GLOBAL	SUSTITUIBLE POR PLC'S, SCADA ETC.
PARTE DE TRABAJO	JUSTIFICACION DIARIA DEL TIEMPO LABORAL PARA EL PERSONAL DE MTO.	DPTO. DE MANTO.	DPTO. DE MANTO.	CONTROL DE HORAS Y ACTIVIDADES	CADA VEZ MAS EN DESUSO
VALE DE ALMACEN	CIRCUITO DE OT'S PARA EL CONTROL DE SALIDAS DE MATERIALES DE MTO.	MANTO. O ALMACEN	DPTO. DE MANTO.	CONTROL DE CONSUMOS PARA GESTION DE ALMAC.	INFORMATIZABLE, VINCULADO A OT
GAMA DE USUARIO (CHECK-LIST)	CIRCUITO DE CONTROL DEL MANTO. AUTONOMO POR FABRICACION	DPTO. DE FABRICAC.	DPTO. DE FABRICAC.	CONTROL DE MTO. 1ER NIVEL - RUTINARIO	EMISION POR G.M.A.O. AUTOMAT.
PLAN DE ACCION	PROGRAMAS PERIODICOS DE CONTROL DE EJECUCION DE MTO.	DPTO. DE MANTO.	DPTO. DE MANTO.	SEGUIMIENTO DE MTO. EN LAS REUNIONES OPERAT.	SUSTITUIBLE POR INFORMES G.M.A.O.
HISTORICOS DE EQUIPOS	PROGRAMAS PERIODICOS DE CONTROL DE EJECUCION DE MTO.	DPTO. DE MANTO.	DPTO. DE MANTO.	FACILITAR LA GESTION DE ACTIVOS/OBSOLESCENCIA	SUSTITUIBLE POR INFORMES G.M.A.O.

Figura 9

En la figura 9 Aparecen los documentos básicos que habitualmente se utilizan en el desempeño de La Función Mantenimiento: OT, BI, Informes MES, Gamas, Históricos, etc.

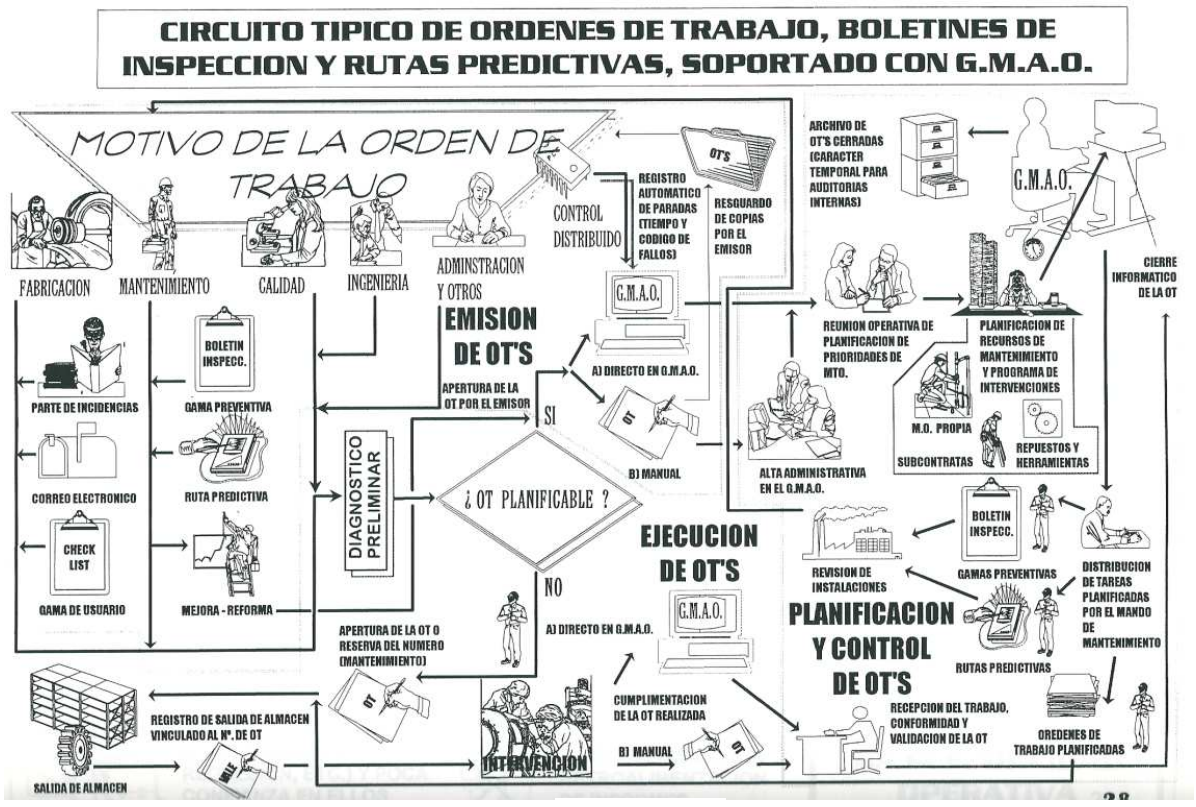


Figura 10

Figura 10 Se representa un esquema típico de un circuito documentario de la Función Mantenimiento

En la figura 10 presentamos un esquema típico de un circuito documentario de la Función Mantenimiento:

Quienes pueden generar una OT, como se gestiona hasta que se finaliza, etc.

Como se generan los BI y como se gestionan hasta su finalización.

Estas consideraciones son las que luego, como explicaremos en el método de implantación, el equipo de proyecto con la asesoría del Consultor debe de tener en cuenta. Además, como insistiría el consultor Japonés del JITPM, no hay que perder de vista el taller, es decir hay que tener en cuenta la idiosincrasia de cada taller.





Figura 11

Figura 11 Representa el trabajo organizado del equipo gracias al poder planificador del GMAO

5.-SELECCIÓN ORIENTATIVA DEL TIPO DE MANTENIMIENTO ADECUADO

INTRODUCCIÓN

Hemos visto la cantidad de tipos de Mantenimiento que existen, a cualquiera que tenga un mínimo de interés o inquietud le surgirá la siguiente pregunta ¿Y qué tipos de Mantenimiento aplico yo en mi empresa?.

Vamos a responder a esa pregunta ahora.

Los dos grandes soportes del M.I. son el Mantenimiento Preventivo (M.P.) y el Mantenimiento Correctivo (M.C.). La idea origen del M.P. es adelantarse en el tiempo a las averías, y uno de los índices que miden su eficacia es la disminución de éstas. Otra función importante del M.P. es velar por el estado de la maquinaria e instalaciones. Modernamente el concepto de MP aquí descrito engloba el MP propiamente dicho y el MCM (MD+MSE).

A corto plazo M.P. aumenta el número de intervenciones de los ejecutivos del Mantenimiento, si bien transforma las reparaciones inesperadas y súbitas en programadas, que abaratan notablemente el coste y disminuyen de manera extraordinaria un gran perjuicio a la producción.

A largo plazo M.P. reduce el número de horas-hombre (H.H.) de Mantenimiento y el consumo de repuestos caros.

Todo ello lo consigue mediante un buen sistema de engrase, de revisiones, de normas sobre uso y funcionamiento, de estudios de puntos débiles y de reformas (a veces son reformas simples y, con frecuencia, las más simples resultan las más eficaces), de análisis de averías para así averiguar sus causas.

También M.P. contempla reparaciones elementales tales como apretar periódicamente un tornillo que puede ser causa de avería grave. Podemos resumir diciendo que la filosofía del M.P. se basa en la necesidad de prever la llegada de las averías con objeto de impedir que realmente se produzcan, iniciando al unísono una acción correctiva que, detenga de lleno, la producción de las citadas averías.

COMPONENTES DEL MANTENIMIENTO INTEGRAL

Las clases de Mantenimiento que en el capítulo anterior hemos ido describiendo constituyen los componentes del MI. Recordemos brevemente sus anagramas simplificativos y su completa denominación:

P.M.	Prevención de Mantenimiento.
M.U.S.	Mantenimiento de Uso.
M.D.	Mantenimiento Predictivo.
M.Pe.	Mantenimiento Periódico.
M.S.E.	Mantenimiento Según Estado.
M.B.C.	Mantenimiento Bajo Control.
M.Y.	Mantenimiento de Proyecto.
M.R.S.	Mantenimiento de Reacondicionamientos Sistemáticos
M.S.	Mantenimiento Selectivo.

Figura 1

Desde las perspectivas del Mto. Preventivo y del Mto. Correctivo, estas clases de Mto. se deberán distribuir en tres grupos diferenciados por orientación de su razón de ser:

- Grupo A: M.Pe., M.S.E., M.D. Son las clases de Mantenimiento encaminadas hacia la revisióno simplemente a la eliminación primaria del fallo de la piezao componente.
- Grupo B:P.M., M.Y., M.R.S. Son las clases de Mantenimiento que persiguen la mejora de la máquina.
- Grupo C: M.S., M.B.C., M.U.S. Clases de Mantenimiento orientadas al abaratamiento de los costes, y hacia la optimización de la gestión del Mantenimiento.

Cualquier sistema o modelo de Mantenimiento Preventivo deberá contener:

- ✓ De manera Imprescindible una o varias clases de Mto. del grupo A.
- ✓ De manera Recomendable una o varias clases de Mto. del grupo B.
- ✓ De manera Recomendable una o varias clases de Mto. del grupo C.

DATOS EMPÍRICOS PARA FACILITAR LA ELECCION DEL MANTENIMIENTO ADECUADO

En las cuatro tablas que a continuación presentaremos, pretendemos según nuestra experiencia, dar unas directrices para acertar en la elección del modelo de MI a implantar en cada Empresa.

Lógicamente estas tablas empíricas señalan soluciones amplias, estimativas que forzosamente no son exactas y siempre conservan un carácter meramente orientativo.

Aunque el presente Proyecto pretende desarrollar un ejercicio mucho más complejo para La Función Mantenimiento, introducimos aquí estas tablas para aquel que por interés o por necesidad económicaquiera una orientación, pueda tener una visión de las necesidades de La Función Mantenimiento en su empresa.

Al interesado en el analisis del Mantenimiento adecuado a traves de las presentes Tablas habria que recordarle la reseña final de los tipos de Mantenimiento, en la que se indica que el modernoMantenimiento Predictivo engloba los tipos de Mantenimiento M.D. y M.S.E., aunque por la simpleza de algunas cuestiones del MD las hemos presentado deforma independiente, pueden ayudar a realizar algún enfoque sencillo.

A continuación presentamos las cuatro Tablas con la que podremos obtener una visión inicial del Mantenimiento adecuado:

- ➢ Tabla 1

Aquí se incluyen diversos tipos de maquinaria y las clases de Mantenimiento, que mejor se pueden adaptar a ellos. Se prescinde en la tabla de factores o variables de orden diferente al técnico, sean aspectos económicos, laborables, etc. En otras tablas se recogen

estos otros factores.

Tipo Mto.	M. Pe.	M.S.E.	M.D.	P.M.	M.Y.	M.R.S.	M.U.S.	M.B.C.	M.S.
Maquinaria									
Maquinaria Pesada con elementos giratorios		X	X	X	X		X		
Mecanización y Corte de Metales		X				X	X		X
Fabricación Automática con Mecanismos sofisticados	X	X		X	X		X		X
Procesos Químicos		X	X		X	X	X	X	X
Minería electrificada y automatizada	X	X			X	X	X	X	
Vapor y Electricidad	X	X	X				X	X	
Transporte Aéreo	X	X		X				X	
Ferrocarril	X	X	X		X				
Barcos	X	X	X					X	
Instrumentación electrónica y neumática	X	X						X	
Edificios		X	X		X				
Maquinaria Obras Publicas y Construcción	X	X					X	X	

Tabla 1

- Tabla 2

Aquí hacemos recomendaciones en la elección de la clase de Mantenimiento en consonancia con el tamaño de la empresa.

Tipo Mto.	M. Pe.	M.S.E.	M.D.	P.M.	M.Y.	M.R.S.	M.U.S.	M.B.C.	M.S.
Tamaño Empresa									
GRANDE	X	X	X	X	X	X	X	X	X
MEDIANA	X	X				X	X	X	
PEQUEÑA		X				X	X		

Tabla 2

- Tabla 3

Según el proceso de fabricación o de servicio presentamos una relación, también estimativa, de las clases de Mantenimiento a aplicar.

Tipo Mto.	M. Pe.	M.S.E.	M.D.	P.M.	M.Y.	M.R.S.	M.U.S.	M.B.C.	M.S.
Proceso									
Continuo	X	X	X				X	X	X
Serie		X		X	X	X	X	X	
Bajo Pedido o por Lotes		X	X	X	X	X		X	

Tabla 3

- Tabla 4

Exponemos seguidamente en esta tabla una relación entre las clases de Mantenimiento y su costo o ahorro en la implantación. Solamente indicaremos con el signo + ó – si la implantación a corto plazo sufre un costo adicional o un ahorro en dicho corto plazo.

Tipo Mto.	Costo o Ahorro a corto plazo
M.Pe.	+
M.S.E.	-
M.D.	+
P.M.	-
M.Y.	-
M.R.S.	+
M.U.S.	-
M.B.C.	-
M.S.E.	+

Tabla 4

Con este avance sobre el Mantenimiento Integral (MI), que más adelante veremos su entronque con en el Desarrollo de la Función Mantenimiento, pretendemos también introducir la filosofía que en algunos países como EEUU esta aceptada, y es que el Mantenimiento Integral (M.I.) no se considere como un elemento más de los gastos generales sometidos a una tasa arbitraria en función de los costos de fabricación, sino como un factor de la producción cuya eficacia se mide por la contribución a los beneficios o lo que de otra manera se diría por la productividad global de la Empresa o valor añadido por empleado. Vamos dando algunas pistas sobre la definición de La Función Mantenimiento.

En esta dirección, según los estudios de la AEM, queda mucho por hacer en España.

De entre todos los tipos de Mantenimiento debemos destacar el PM porque actúa en el origen (el RCM tiene bastante relación con este tipo de Mantenimiento), el MUS porque actúa a pie de máquina y el Mantenimiento Predictivo por su eficacia a bajo coste y el MRS su su capacidad de puesta a nuevo de una máquina o activo.

Para avanzar un poco más hacia la visión final de La Función Mantenimiento, abordaremos a continuación nuevas técnicas denominadas TIC´s, las cuales nos ayudarán al conocimiento del estado de las máquinas.

6.- NOCIONES DE INTERPRETACIÓN DE TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO.

GENERALIDADES

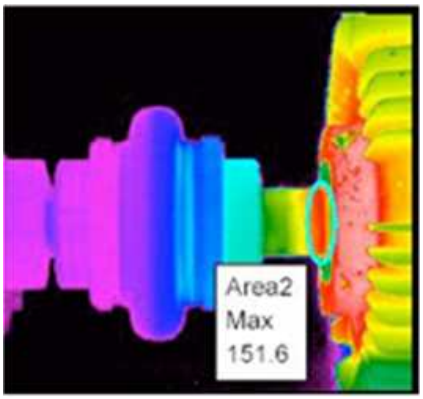
Ya hemos visto en la descripción de los diferentes tipos de Mantenimiento las virtudes del Mantenimiento Predictivo, que como ya hemos indicado habitualmente se le llama Condition Monitoring (artículo *referencia 6*). Según quien hable o lo que pretenda resaltar le llamara On Condition, etc.

Como vamos a fundamentar en el desarrollo tecnológico de la Función Mantenimiento en la implementación de Técnicas de Análisis Predictivo, consideramos importante explicar los principios fundamentales de las dos principales técnicas del Mantenimiento Predictivo: *Análisis de Vibraciones y Análisis Termográfico*.

En cualquier caso los propios fabricantes de los equipos son los que más capacitados están para formarnos debidamente con los aparatos que dispongamos:

Existen en el mercado cursos de varios niveles homologados, que normalmente están impartidos por los fabricantes y/o distribuidores de los equipos, tanto de Análisis de vibraciones, como Análisis Termográfico

A continuación podemos ver una situación clásica de *Análisis Termográfico*:



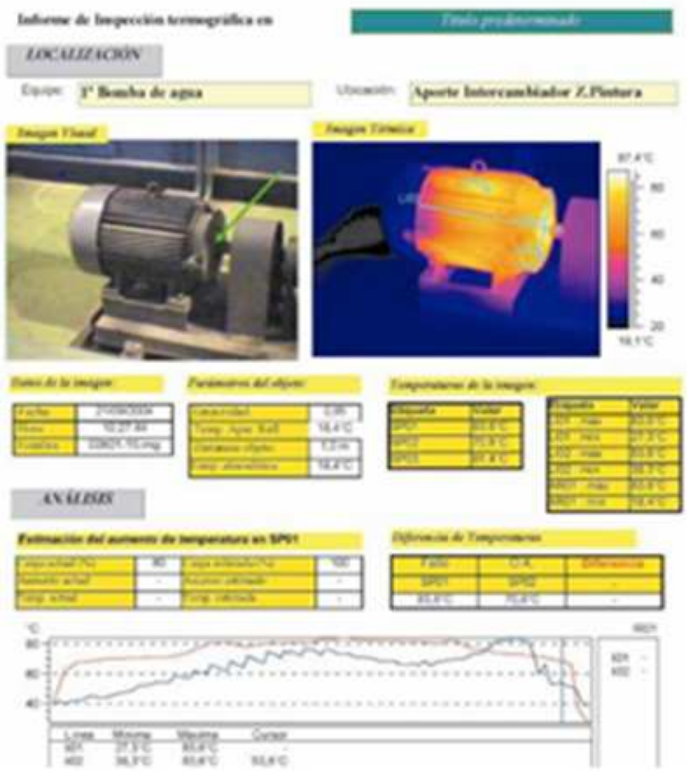


Figura A

- A la izquierda tenemos una ampliación de zona que en este caso el software es capaz de proporcionarnos.
- A la derecha y arriba tenemos una fotografía del equipo y a su izquierda un Termograma del mismo.
- Debajo el software nos presenta unos datos con diferentes temperaturas y graficas de seguimiento

La técnica de *Análisis de Vibraciones* es mucho más antigua en el mundo industrial que la técnica de Análisis Termográfico, por ello existen muchos más estudios del primero que del segundo. En la presente diapositiva podemos ver las posibilidades que ofrecen los equipos de Análisis.

- Arriba esta la fotografía del elemento que se analiza, también suele poder verse los planos o croquis asociados.
- Se puede ver el último espectro en la parte baja izquierda.
- En la parte alta izquierda la evolución de la severidad de la señal.
- En la parte derecha baja el histórico de los espectros recogidos.
- Es evidente que se ha realizado una reparación, se observa que el nivel de la evolución de la severidad ha bajado, al igual que el valor de los picos de cada frecuencia.

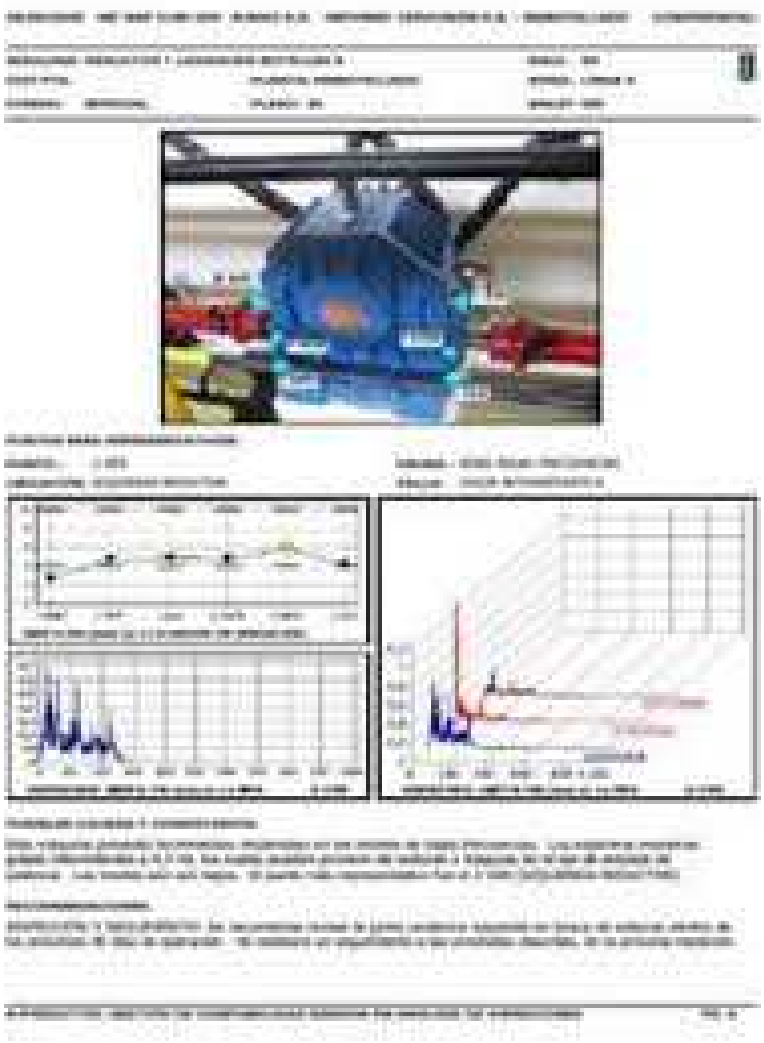


Figura B

A continuación vamos a profundizar en el conocimiento de estas importantes técnicas del Mantenimiento Predictivo.

Figuras A y B Representan las posibilidades de análisis de los software de análisis de vibraciones y termografía.

6.1.- MEDICIÓN Y ANÁLISIS TERMOGRÁFICO

La Termografía se trata de la Técnica de Mantenimiento Predictivo la cual mediante la utilización de imágenes térmicas o termogramas donde se detectan las variaciones de temperatura superficial y/o se detectan los puntos o zonas calientes o frías en la superficie de los objetos objeto de análisis.

Es la generación de imágenes a partir de la radiación infrarroja emitida por los objetos la que nos permite la obtención de esa imagen Termográfica.

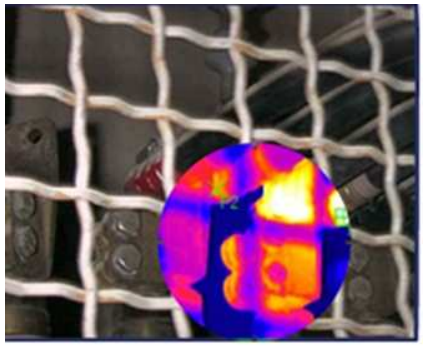




Figura 1

Ya hemos definido la técnica de análisis Termográfico, conviene ahora que adquiramos unos conocimientos teóricos básicos de cómo funciona.

PRINCIPIOS DE LA TERMOGRAFÍA

Hemos dicho que la termografía define un termograma o mapa de temperaturas de una superficie o también puntos de temperatura de la misma.

Sabemos del conocimiento de la teoría de operaciones básicas que la transferencia de calor entre dos cuerpos se realiza a través de tres procesos: Conducción, Convección y Radiación.

Figura 1 Representa la toma de una imagen termográfica, lo podemos hacer desde detrás de un cerramiento de seguridad.

Transferencia de energía

- Conducción: Transferencia por agitación molecular. Se requiere contacto físico.
- Convección: Transferencia por medio de un fluido. Por variación de densidades.
- Radiación: Transferencia en forma de ondas electromagnéticas.

El coeficiente integral de transmisión de calor U engloba los tres procesos para los cálculos de intercambiadores, evaporadores, etc. En el caso de la Termografía no se utiliza este concepto global, puesto que nos centraremos en la energía radiada.

De la teoría de los procesos de intercambio de calor tenemos que además del resto de los procesos, cualquier objeto emite una radiación electromagnética, y que entre otras cuestiones es proporcional a su temperatura. La Termografía determina la temperatura sin contacto físico con el objeto midiendo su energía emitida o radiada, por lo tanto nos vamos a mover en el mundo de las ondas electromagnéticas

Ya hemos centrado el tipo de proceso de transferencia térmica en el que nos vamos a desenvolver: energía radiada (ondas electromagnéticas), en concreto la energía radiada infrarroja.

Hagamos ahora un repaso del espectro electromagnético para una mejor comprensión de la técnica.

Espectro Electromagnético

Aquí presentamos una visión general del espectro de las ondas electromagnéticas

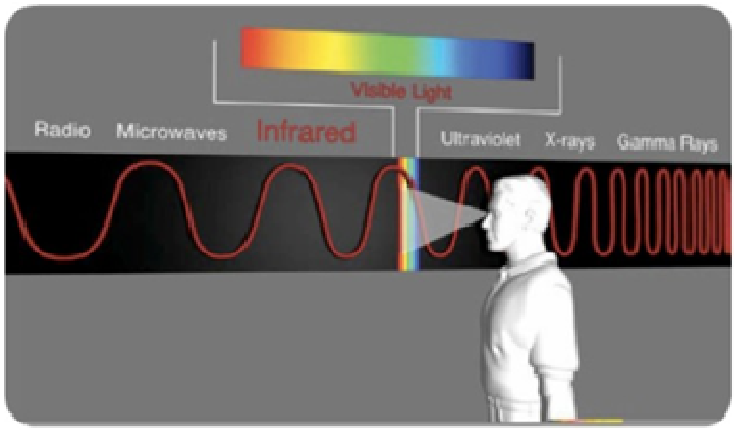


Figura 2

Figura 2 Representa el espectro de las ondas, en el que el espectro visible es muy pequeño respecto al total.

Evidentemente no nos interesa todo el espectro, sino el infrarrojo y visible, puesto que debemos ser capaces de realizar una imagen visible a través de una imagen captada en la zona de los infrarrojos.

En el esquema de la figura 3 centramos mejor la zona en la que nos vamos a desenvolver.

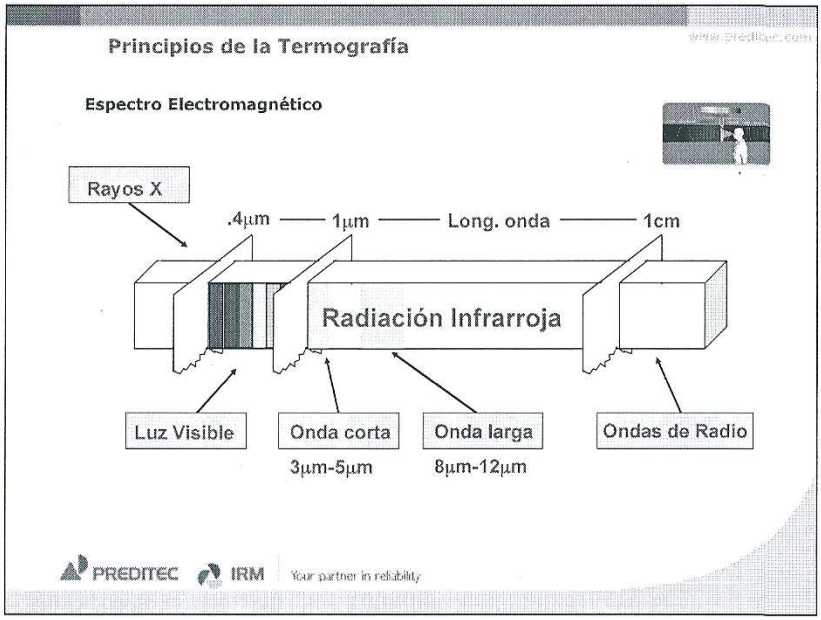


Figura 3

Necesitamos acotarlo un poco más, es decir ¿en qué zona de los infrarrojos nos vamos a mover?, en la figura 4 queda aclarado.

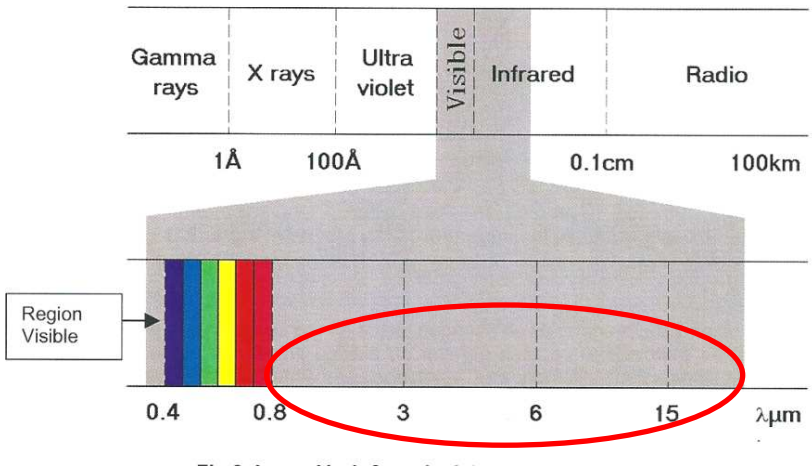


Figura 4

Figuras 3 y 4 Representan la zona infrarroja en la que las cámaras Termográficas captan la Temperatura o termogramas.

El ojo humano responde a la luz visible en el rango de 0,2 a 0,75 micras.

La gran mayoría de las medidas de temperatura infrarroja se realizan en el rango de 0,2 a 20 micras.

Vamos a continuación a hacer algunas consideraciones teóricas. Según la teoría de la dualidad corpúsculo onda :

Si consideramos la onda como un flujo de partículas llamadas fotones, tenemos que la energía de cada fotón se relaciona con la frecuencia asociada a través de la relación de Planck:

$E = h\ v$

Donde h es la cte. de Planck y v es la frecuencia

Ahora bien si la consideramos como onda tenemos que

$c = \lambda\ v$ (longitud de onda x frecuencia)

Donde c es la velocidad de la luz en el vacío. A mayor longitud de onda menor frecuencia y por tanto menor energía según la relación de Planck.

Resumiendo los conceptos hasta ahora descritos tenemos que La Radiación Infrarroja:

- Es una radiación electromagnética.
- Todo cuerpo a temperatura superior a los cero grados Kelvin (-273 ºC) lógicamente emite energía IR.
- La cantidad de radiación infrarroja emitida está directamente relacionada con la temperatura.
- La radiación, al igual que la luz visible, puede ser reflejada, refractada y absorbida.

¿Cómo se obtiene la medición de la radiación infrarroja?

Ya sabemos que:

- Las cámaras de infrarrojos sólo miden temperatura superficial de un objeto.
- Un sensor de infrarrojos sólo capta energía radiada, ni la conducida ni transmitida por convección. Luego la transforma en temperatura.

La medición de una cámara térmica es un proceso similar al de una cámara normal, la cámara normal a través de su sistema óptico convierte la energía de la luz en una imagen visible para el ojo humano.



Figura 5

Pues bien una cámara térmica enfoca la energía infrarroja radiada en un sistema óptico que lo transforma en energía eléctrica, la cual se amplifica y mediante el procesamiento de la señal eléctrica amplificada se obtiene una imagen térmica visible por el ojo humano.

Figura 5 Representa una Cámara termográfica y como se ve la imagen en la misma

La transformación de la energía radiada en temperatura se realiza a través de la Ley de Stefan Boltzmann

Energía Radiada: $W = \sigma \times T^4$

Donde:

W= Emitancia radiante (Watios/cm²)

σ = Cte. De Boltzmann = 5.6697 ± 0.0029 Watios/cm² x T^4

El proceso que hemos descrito antes se realiza de la siguiente secuencia:

1. El sensor detecta W (emitancia)
2. El sistema lo divide entre la cte. de Boltzman.
3. Saca la raíz cuarta para dar la temperatura (ºK)
4. Lo convierte en ºC

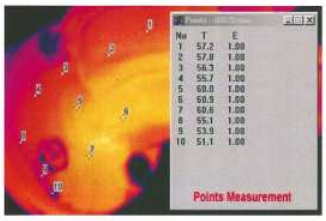


Fig.7 Medida de temperatura en varios puntos de la imagen

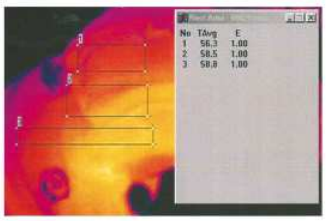


Fig.8 Medida de temperatura promediada en varios rectángulos de la imagen

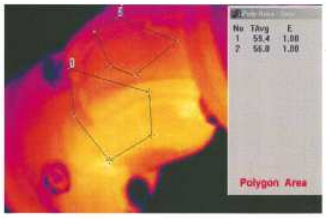


Fig.9 Medida de temperatura promediada en varios polígonos de la imagen

Figura 6

Figura 6 Representa las posibilidades de algunos software para determinar Temperaturas en distintos partes de un objeto

La Energía Radiada puede ser:

- Emitida: energía generada por el objeto. Es la que interesa.
- Reflejada: energía reflejada por el objeto procedente de otro cuerpo. Es un factor de distorsión.
- Transmitida: energía radiada a través del objeto. Poco significativa, es la que atraviesa del cuerpo cuya energía radiada queremos medir.

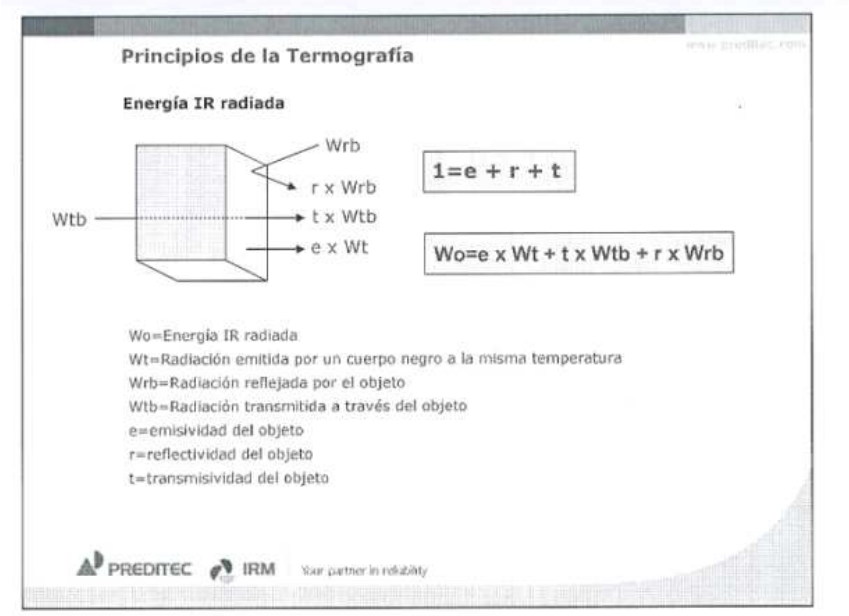


Figura 7

La Energia que radia un cuerpo la podemos presentar según el esquema de la figura 7 para ver el comportamiento general de la emisión radiada de un cuerpo.

La energía transmitida a través del cuerpo (Wtb) es prácticamente nula, o al menos despreciable en los sistemas industriales en que se mide.

Respecto a la energía reflejada (Wrb) es posible que sea algo mayor en magnitud que la transmitida pero tampoco es demasiado importante, normalmente además los equipos pueden disponer de sistemas de corrección.

Nos interesa pues centrarnos en la Energía Emitida que queremos medir. Presentamos a continuación los Factores que afectan a la medida:

Figura 7 Principios de Termografía, formas de emisión de la radiación de un cuerpo.

- Emisividad
- Atenuación Atmosférica
- Distancia
- Condiciones climatológicas

Controlar estos factores es el factor clave para obtener medidas de Tª precisas, por ejemplo:

- La emisividad varía con el acabado superficial y con el ángulo de visión y es una para cada material.
- A mayor humedad ambiental mayor atenuación (peor niebla que lluvia).

Se debe tener en cuenta un factor corrector de atenuación por humedad ambiental y distancia.

<u>Emisividad (ε) de un cuerpo</u>

La Emisividad se define como la relación entre radiación emitida por el objeto y la emitida por un cuerpo negro a la misma temperatura.

Queda definida por las características superficiales del objeto.

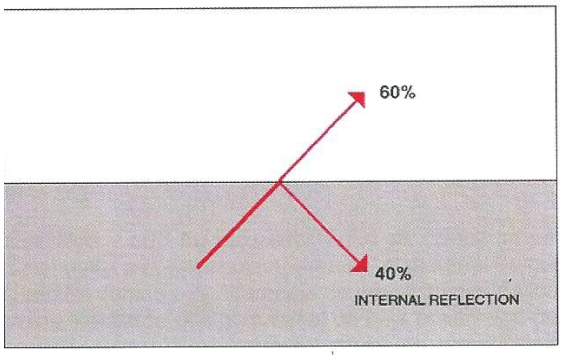


Figura 8

La emisividad de un cuerpo varía con la longitud de onda

- Cuerpo Negro: Se llama así a un cuerpo ideal que ni refleja ni transmite. Sólo emite. Su emisividad en el infrarrojo es = 1
- Cuerpo Gris: Su emisividad es distinta de 1 pero es constante con la longitud de onda.

Figura 8 Representa la relación entre la onda electromagnética radiada y reflejada de un cuerpo. La emisividad de un cuerpo negro es 1. 1 = Eradiada + Ereflejada

$$\text{Emisividad} = \frac{\text{Emitancia radiante del objeto}}{\text{Emitancia radiante de un cuerpo negro equivalente a la misma temperatura}}$$

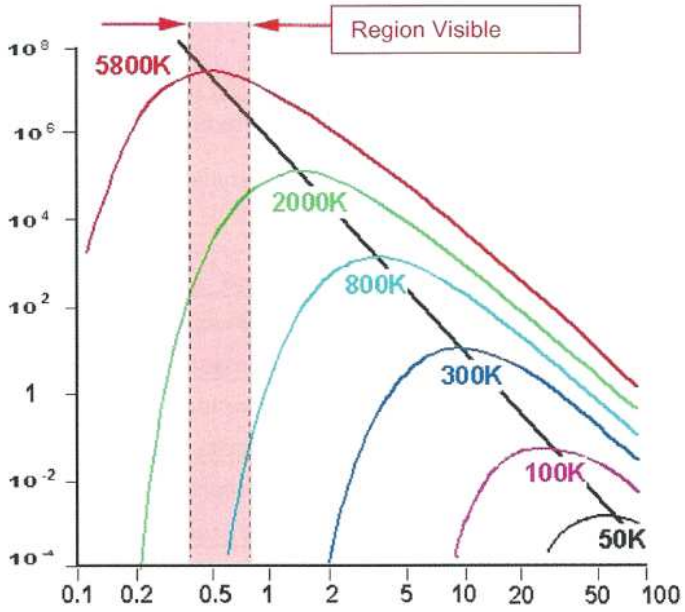


Figura 9

Lo que la Emisividad expresa en realidad es la capacidad de un objeto para emitir energía infrarroja.

Un error del 10% en el valor de la emisividad (40ºC) provoca errores de Tª del 15%.

Para el cálculo de la emisividad:

- Existen Referencias
  - Textos diversos
  - Generalización de la superficie
  - Similitud con materiales conocidos
- Preparación de superficies
  - Recubrimientos de alta emisividad
  - Pintura negra mate
  - Cinta aislante negra

Figura 9 Representa la evolución de la longitud de onda emisión del cuerpo con la temperatura (color de temperatura).

- Experimentalmente
    - Medida de temperatura con termómetro de contacto
    - Observación con cámara y ajuste de la emisividad hasta obtener la lectura de temperatura conocida.
- Métodos especiales
    - Corrección automática de la emisividad. La mayoría de las cámaras disponen de un ajuste para que el Profesional lo haga, en este caso la cámara corrige matemáticamente el valor de temperatura medido
    - Análisis de la radiación de un objeto a dos temperaturas conocidas. Es decir ponemos un cuerpo a dos temperaturas que podamos medir .

El fabricante de cada cámara es el que mejor nos asesorará en cada caso. A modo de ejemplo presentamos la siguiente tabla:

Material	Emisividad
Acero brillante	0.18
Acero oxidado	0.85
Latón brillante	0.10
Latón oxidado	0.61
Aluminio brillante	0.05
Aluminio oxidado	0.30
Cemento	0.90
Asfalto	0.90
Ladrillo Rojo	0.93
Grafito	0.85
Cloth	0.85

Tabla 1

Lo que hemos expresado con anterioridad queda reflejado en esta tabla, es decir la emisividad depende de las características intrínsecas del material.

Pero hemos dicho que la emisividad también depende de la superficie exterior. En resumen podemos decir que un material altamente reflectante es un pobre emisor de energía infraroja. Lo mismo que es capaz de reflectar la luz que proviene del exterior, reflecta la energía que pretende salir del interior (ver el dibujo inicial). De la misma manera podemos decir que una superficie oxidada o áspera tiene una mayor emisividad que aquellas superficies pulidas.

Tabla 1 Se representas distintas emisividades de algunos elementos. Obsérvese la baja emisividad de los cuerpos brillantes.

En definitiva: Emisividad + Reflectividad = 1

Podríamos pensar, a tenor de lo aquí expuesto, que la técnica de Análisis Termografico es muy compleja, sin embargo como veremos en los ejemplos que presentamos, los fallos generalmente se identifican por comparaciónde la temperatura de componentes similares en las mismas condiciones. Es una técnica muy precisa para predecir la emisividad de cada componente y obtener unos valores de temperatura correctos.

Atenuación atmosférica

$$T = \alpha \cdot (\varepsilon + \rho + \tau)$$

α = Atenuación atmosférica

ε = Radiación emitida

ρ = Radiación reflejada

τ = Radiación transmitida

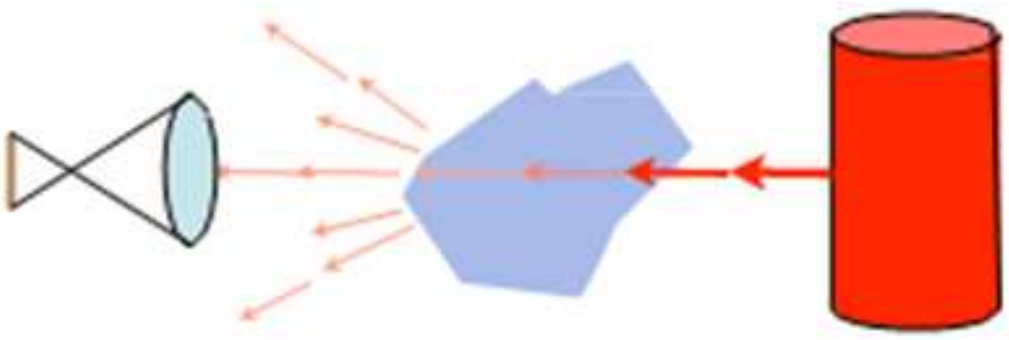


Figura 10

Figura 10 Representa el recorrido de la energía radiada hasta la óptica de la cámara Termográfica y el efecto de la atenuación atmosférica.

Ya hemos adquirido los conocimientos teóricos para el Análisis Termográfico, es hora de poner en práctica por lo tanto la metodología de aplicación.

DETECCIÓN

Al igual que en el Análisis de Vibraciones existen unas premisas básicas o fundamentales:

- Las mediciones periódicas realizadas con un intervalo establecido en función del modelo y rapidez de evolución al fallo del activo considerado.

- La observación rápida de posibles puntos calientes (a veces por comparación con elementos similares en la misma instalación).
- El seguimiento de los gráficos de evolución de temperatura tomados regularmente en los mismos puntos.

El objetivo del Mantenimiento Predictivo independientemente de la técnica utilizada es anticiparse al fallo detectando lo antes posible la presencia del fallo potencial.

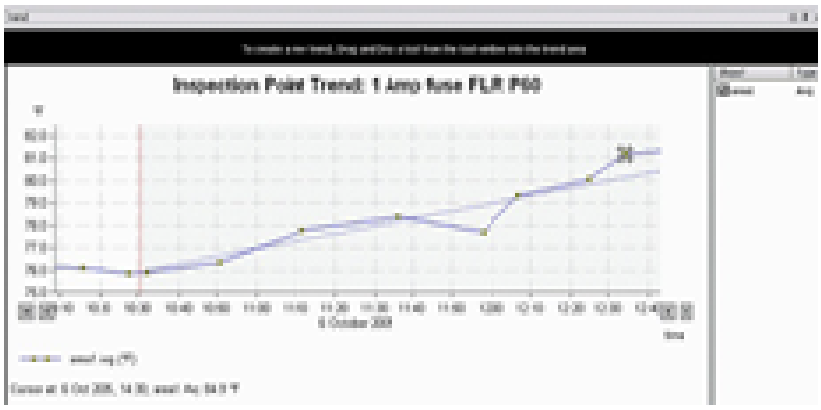


Figura 11

Figura 11 Representa el seguimiento de la evolución de la temperatura de un cuerpo/punto

ANÁLISIS

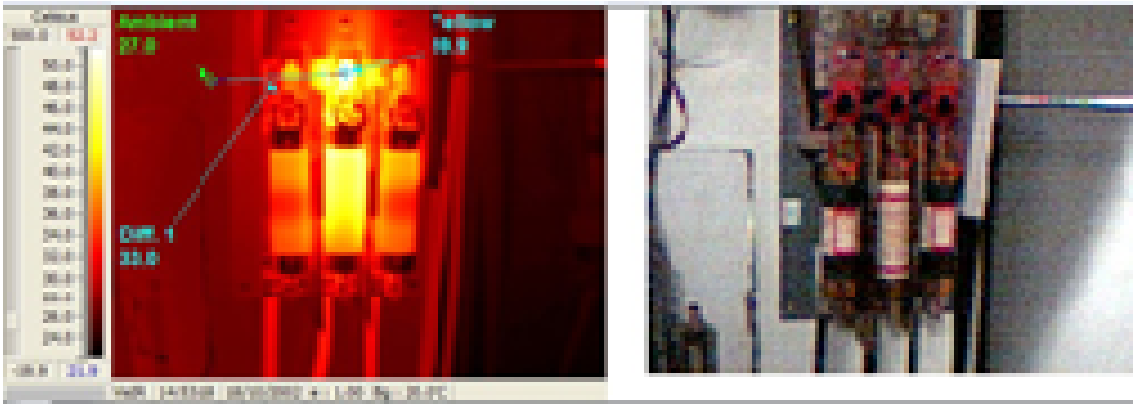


Figura 12

Figura 12 Representa un análisis termográfico. A la derecha la fotografía normal a la izquierda el termograma con la indicación del rango de temperaturas que proporciona el software.

El análisis consiste en la utilización de métodos para diagnosticar el problema detectado en la fase de medición. Por ejemplo si nos fijamos en la diapositiva superior:

- En el termograma observa como el fusible de una de las fases está mucho más caliente que los otros dos. A la izquierda podemos ver la escala de temperaturas.
- Al estar más caliente en la zona del contacto superior con la base, se determina que el problema es un mal contacto y no un excesivo paso de corriente por esa fase. No hace falta saber si la temperatura es de 60º o de 30º, el problema es evidente y la solución también.

CORRECCIÓN

- En el ejemplo anterior la corrección consistirá en:

  Limpiar el contacto fusible-portafusibles.

  Revisar - reapretar la conexión del cable al portafusibles

  Sustituir el portafusibles.

  Revisar - sustituir fusible

- Con la debida precisión para retrasar la aparición del punto "P". Es decir tratar de evitar los fallos debidos a la propia actuación.

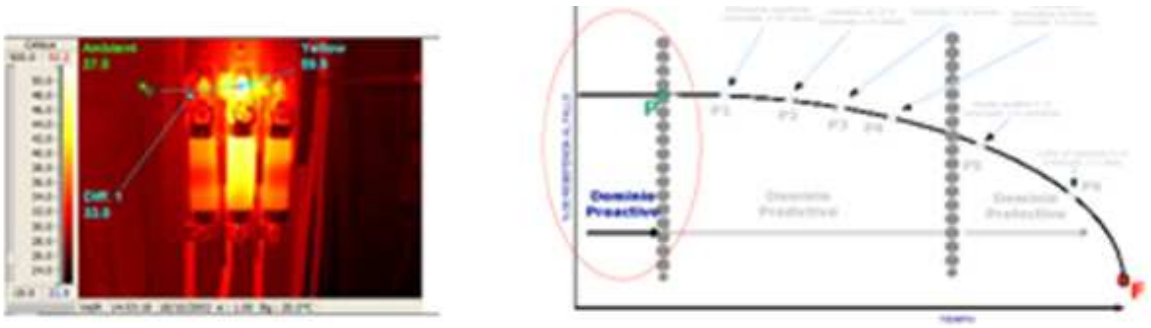


Figura 13

Figura 13 representa la detección de una anomalía, la gráfica contigua representa que la probabilidad de fallos después de cualquier intervención de mantenimiento aumenta, para ir disminuyendo progresivamente conforme pasa el tiempo.

- En el caso del análisis de un motor, las imágenes podrían ser las siguientes:

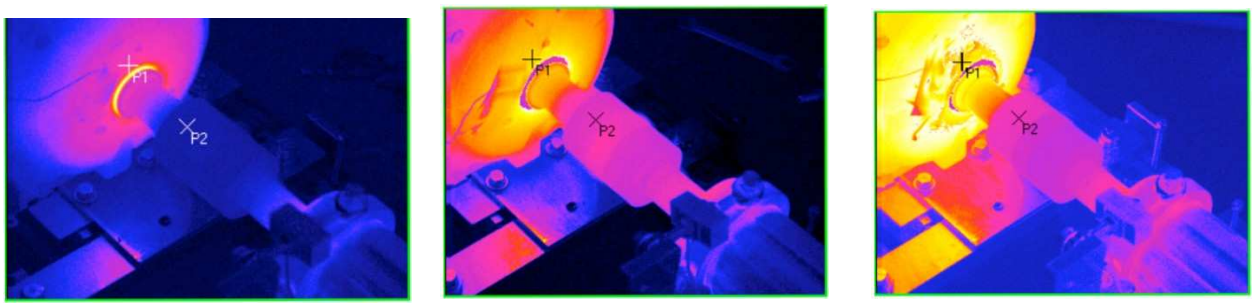


Figura 14

Figura 14 Termogramas tomados haciendo diferentes ajustes de emisividad.

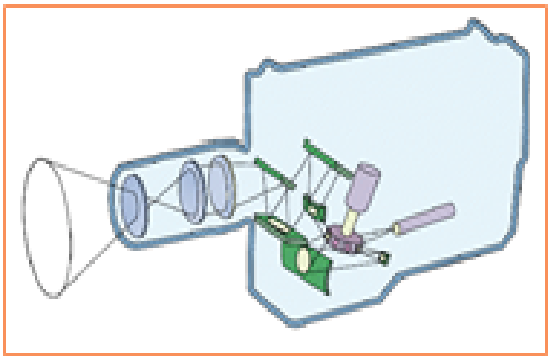
En estas tres imágenes se evidencia el mencionado ajuste de emisividad, sin embargo en las tres imágenes podemos ver con claridad que el punto caliente esta en el rodamiento de la bomba. En este caso podemos decir que hemos ido jugando con la emisividad y determinado donde está el punto de máxima temperatura.

Obsérvese que para el análisis de los ejemplos hasta ahora presentados no nos ha hecho falta la medición de la temperatura, la sola comparación de la imagen nos ha ayudado a determinar el problema.

Las herramientas que disponemos son el harware y el software. En función de estas dos herramientas nuestra cámara Termográfica tendrá un precio u otro. Las diferencias pueden ser muy grandes. Hay que valorar nuestras necesidades reales y sopesar el costo del equipo que nos compense.

HARDWARE

- El hardware básico es una cámara similar a una cámara de vídeo pero que trabaja en el rango del infrarrojo.
- El sensor mide la cantidad de energía emitida, en el infrarrojo, por el objeto en observación



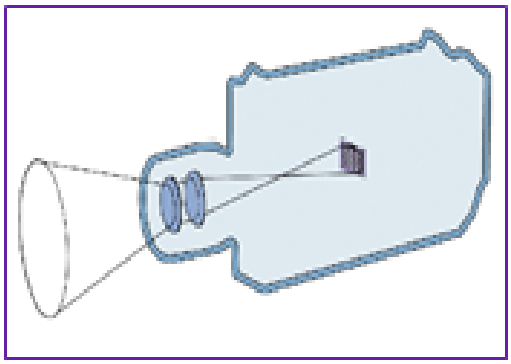


Figura 15

Antigua cámara de escaneado mecánico

- Un sólo sensor
- Necesidad de refrigeración criogénica (o con compresor)
- Baja resolución de imagen

Cámara actual con CCD

- Sensores múltiples (array de semiconductores). Enfoque motorizado
- No necesaria la refrigeración
- Alta resolución de imagen Almacenamiento digital de imágenes

Para las cámaras CCD:

- Plano focal multi-haz

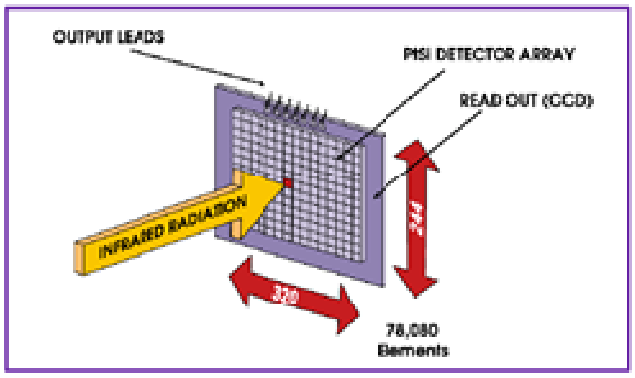


Figura 16

Figura 16 Representa una aplicación de plano focal multi haz.

Presentamos en la figura 17 diferentes tipos de cámaras termográficas:



Figura 17

SOFTWARE

¿Qué se puede hacer con un software para tratamiento de imágenes termográficas?

- Mostrar termograma inicial
- Marcar las isotermas
- Analizar las temperaturas en puntos
- Ver las diferencias de temperaturas entre puntos
- Mostrar tendencias
- Marcar dimensiones en el termograma
- Incluir objetos gráficos en el termograma
- Mostrar una imagen en 3 dimensiones de la imagen termográfica
- Representar el perfil de la imagen tridimensional
- Mostrar la tendencia de un perfil
- Conversión de gráficos a ficheros de Microsoft
- Mostrar un histograma
- Realizar búsqueda automática de puntos calientes
- Realizar suma y resta de imágenes

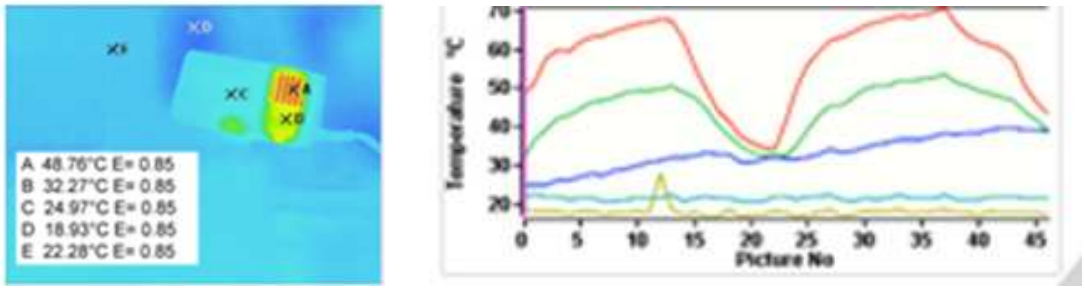


Figura 18

Mediciones periódicas y gráfico de tendencia (base del PdM)

Árbol jerárquico de activos a medir

Figura 17 Representa distintos tipos de cámara termográfica, desde las más sencillas a las más complejas o completas.
Figura 18 Representa las diferentes posibilidades de análisis de algunos software

.



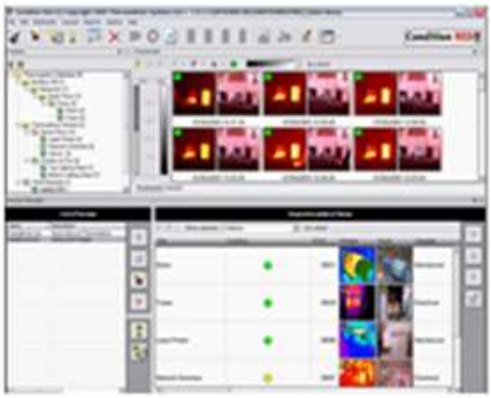


Figura 19

Figura 19 Se representan más posibilidades de análisis de los software. Se puede ver la estructura arborescente generada en la máquina.

Esto que hemos comentado sería en el tope de gama de los equipos. Hay que considerar también su precio, como ya hemos mencionado con anterioridad.

PRINCIPALES MODOS DE FALLO DETECTABLES CON TERMOGRAFÍA

APLICACIONES EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO

- Cabinas de interruptores
- Corrosión, deterioro aislamientos
- Transformadores, puntos calientes, bajo nivel de aceite
- Interruptores y disruptores
- Cableado
- Monitorizado de células electrolíticas
- Subestaciones
- Líneas de transporte Energía (Alta y Baja Tensión)
- Condensadores de potencia

Veamos algunos ejemplos representativos:

LÍNEAS DE ALTA TENSIÓN

- Malas conexiones
- Cables quemados
- Bornes recalentados
- Etc.

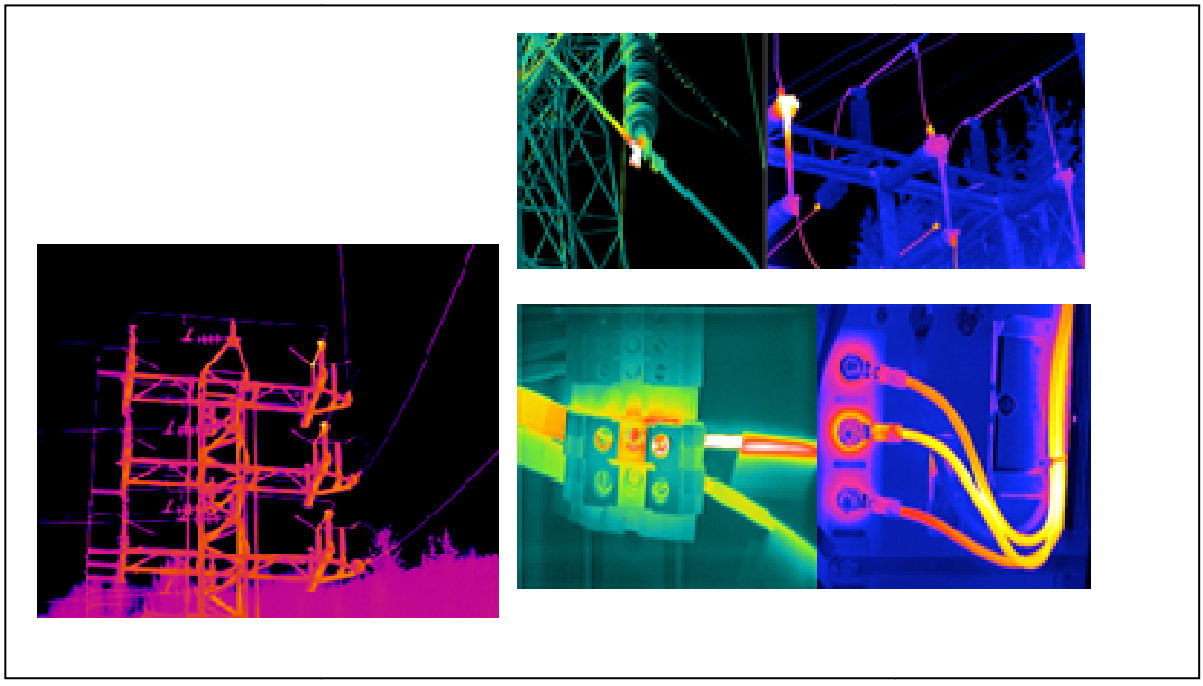


Figura 20

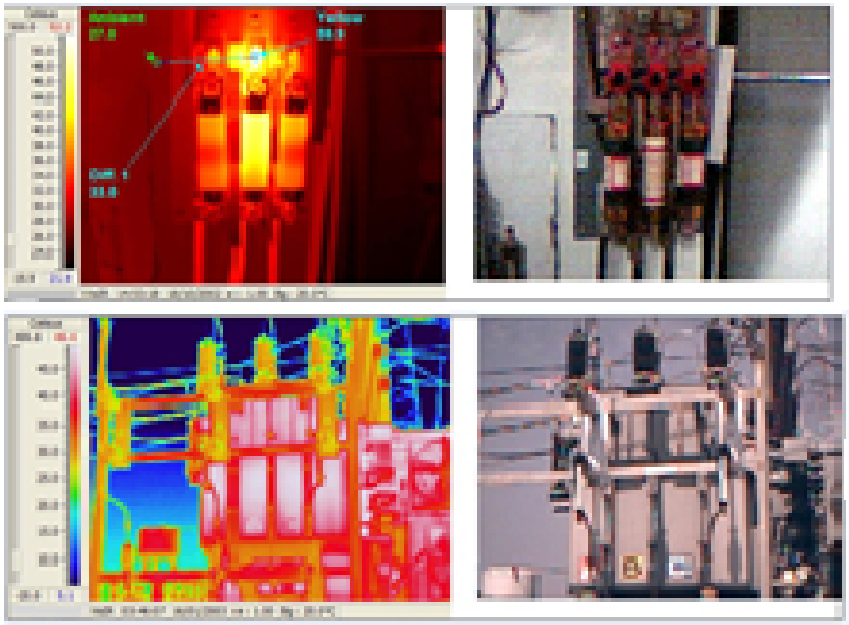


Figura 21

Figuras 20 y 21 Representas distintas presentaciones de termogramas para su análisis.

MOTORES ELÉCTRICOS

- Temperatura excesiva
- Suciedad
- Rotura del ventilador
- Etc.

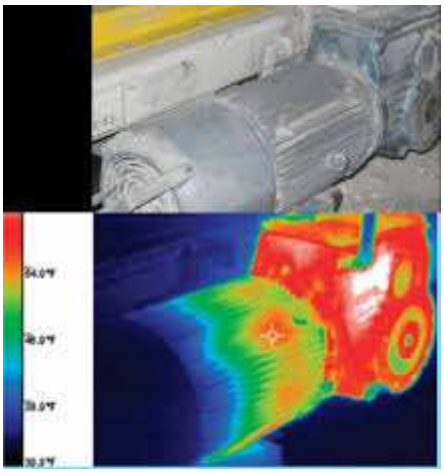


Figura 22

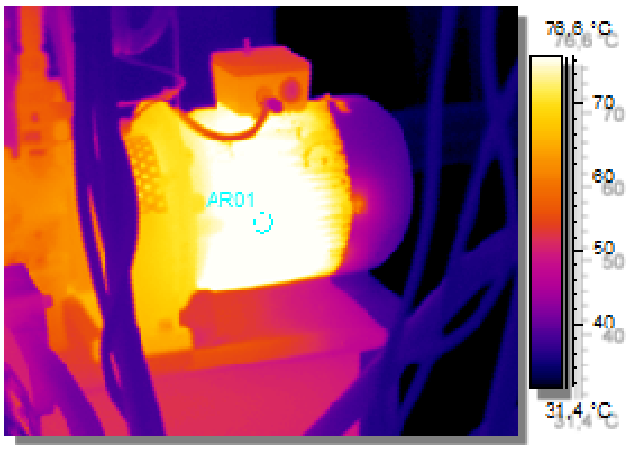
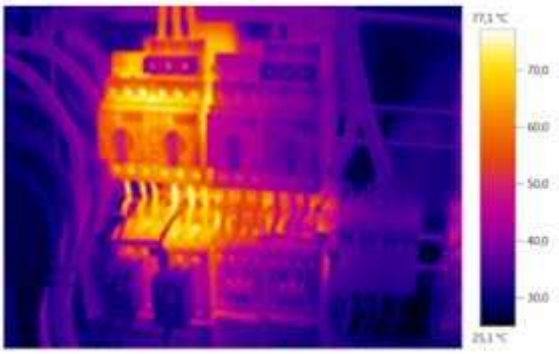


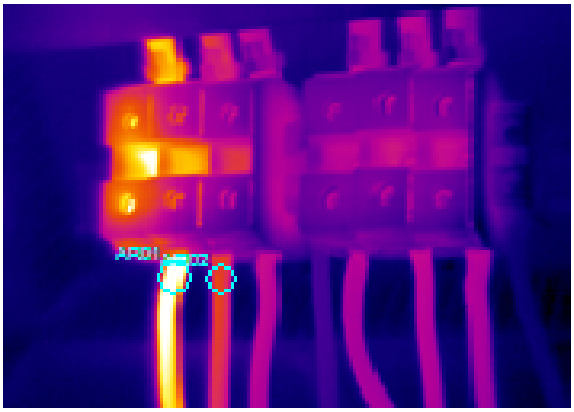
Figura 23

ARMARIOS ELÉCTRICOS

- Malas conexiones
- Bornes
- Terminales
- Cables flojos
- Etc.

Figura 24-25-26





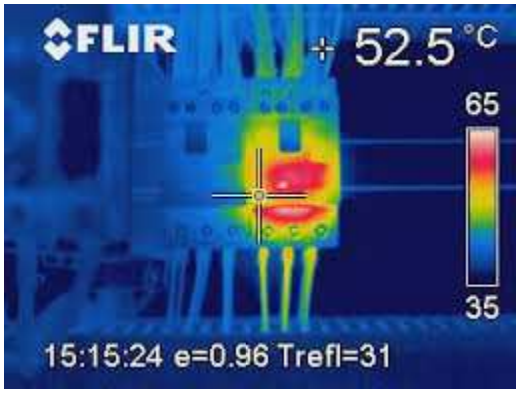


Figura 22, 23, 24, 25, 26 Representas distintos termogramas de motores y contactores

REFRACTARIO DE HORNOS

- Deficiencias en el refractario

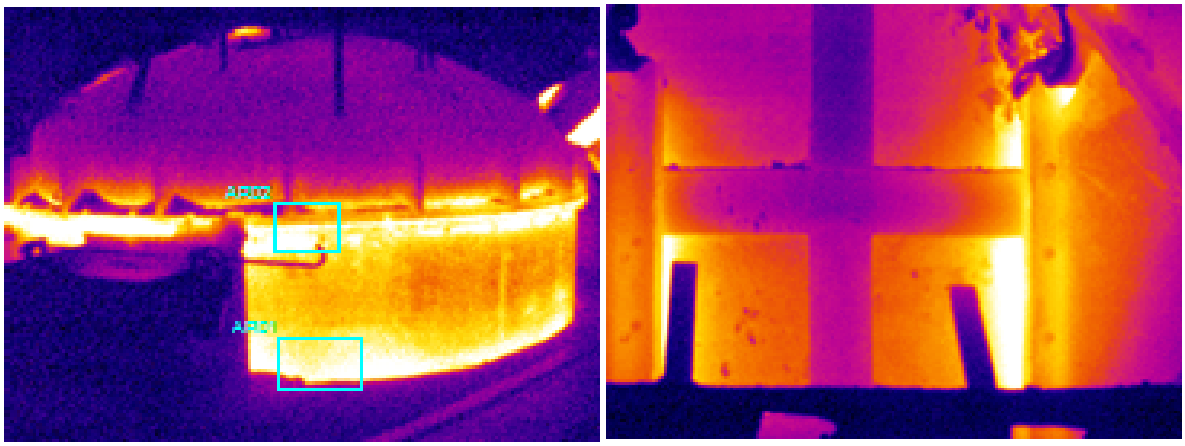


Figura 27

Figura 27 Representa las posibilidades de la Termografia en Hornos, depósitos calientes, industria acería, vidrio, cemento, etc.

APLICACIONES EN MANTENIMIENTO MECÁNICO Y/O GENERAL

- Inspección de aislamientos en conductos, tuberías, recipientes…
- Calorifugados y aislamientos
- Inspección de cambiadores de calor
- Inspección de refrigeradores
- Inspección de hornos y vasijas de reactores, detección de pérdidas de calor y eficiencia térmica
- Inspección de válvulas
- Calderas y tuberías de vapor
- Monitorizado de rodamientos, falta de lubricación, sobrecarga,…
- Motores
- Detección de roces mecánicos
- Inspección de juntas y bridas
- Diagnóstico de aislamientos, fugas de aire, humedades en edificios …

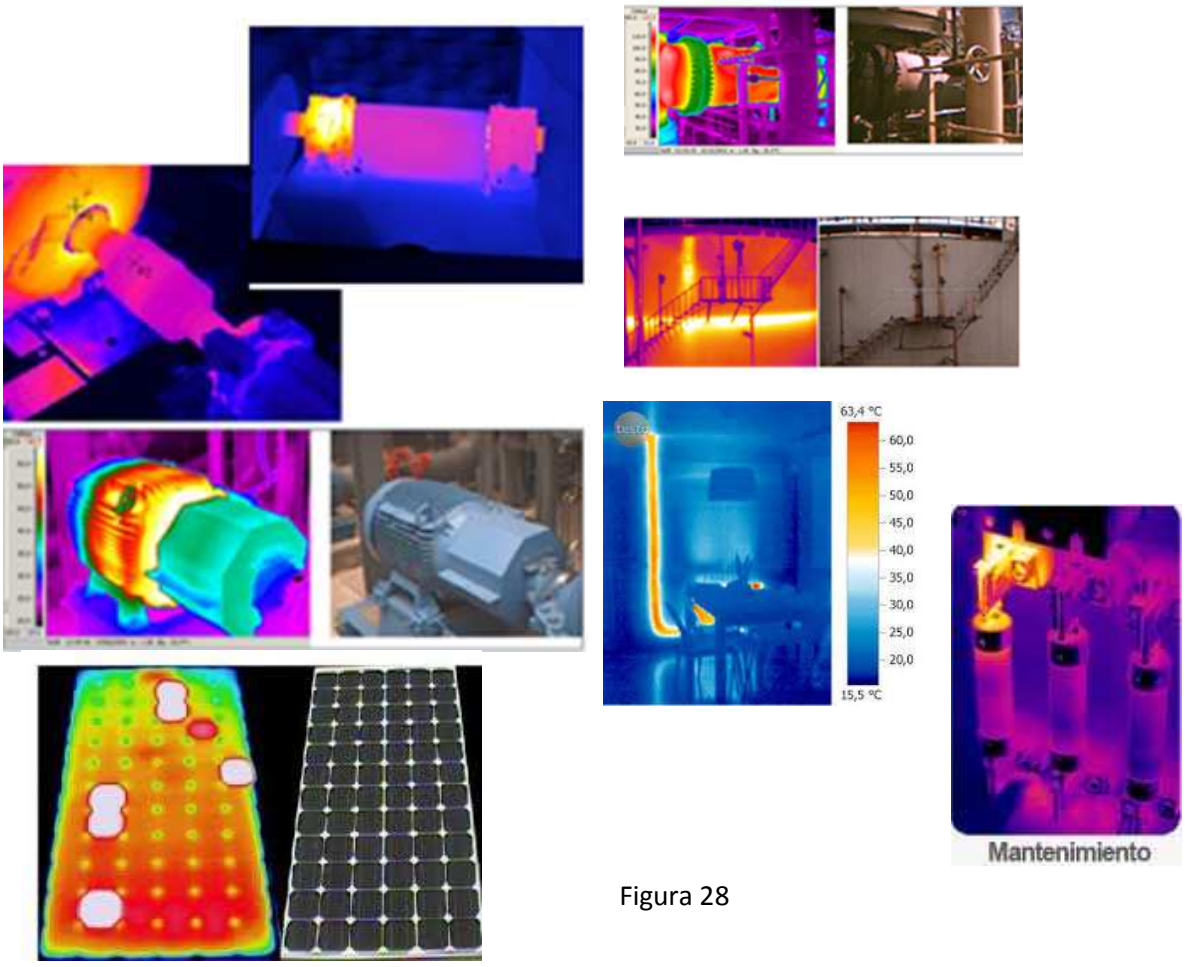


Figura 28

Figura 28 Representa la diversidad de posibilidades de utilización de la termografía

En los fotogramas de la figura 29 de abajo podemos comprobar las posibilidades de algunos software de las cámaras para determinar mapas de puntos, zonas de temperatura etc.

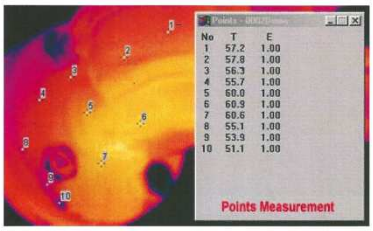


Fig.7 Medida de temperatura en varios puntos de la imagen

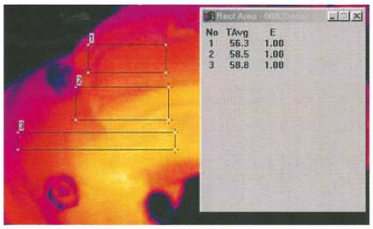


Fig.8 Medida de temperatura promediada en varios rectángulos de la imagen

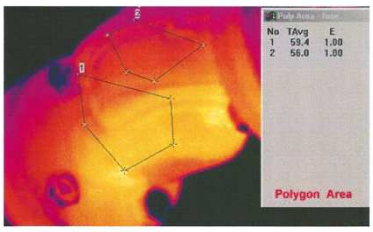


Fig.9 Medida de temperatura promediada en varios polígonos de la imagen

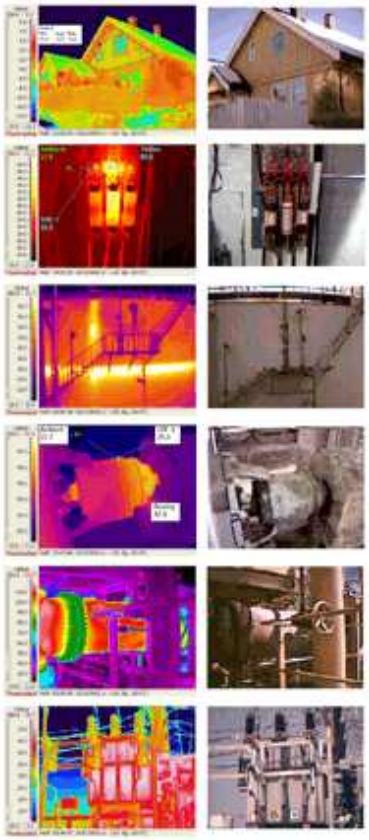


Figura 29

APLICACIONES EN I+D

- Diseño térmico
- Electrónica
- Análisis de fallos
- Fabricación
- Diseño de materiales
- Materiales a alta temperatura

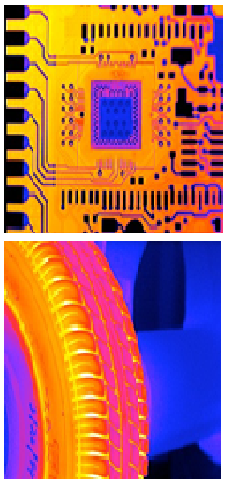


Figura 30

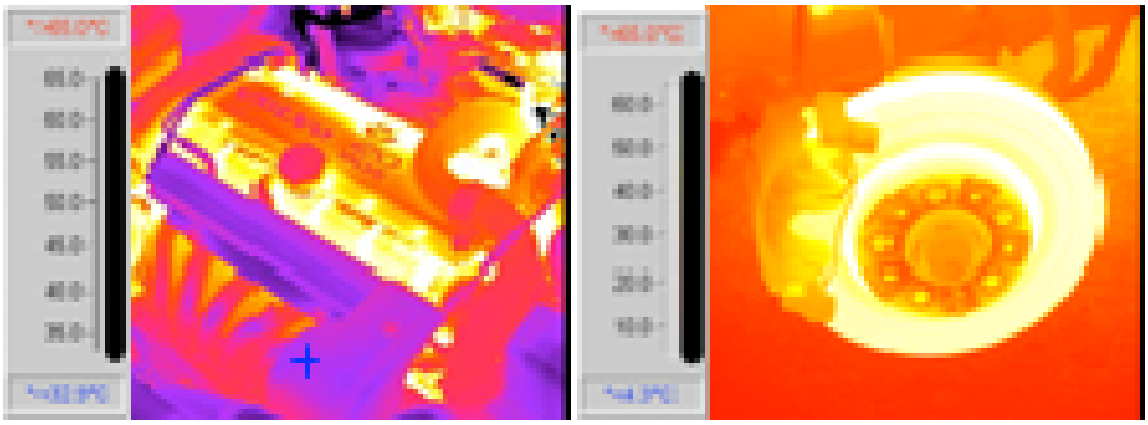


Figura 31

Figuras 30 y 31 Representan las posibilidades de la termografía en aplicaciones electrónicas o de investigación.

APLICACIONES EN CONTROL DE PROCESOS

- Procesos continuos
  - ✓ Acero
  - ✓ Vidrio
  - ✓ Plástico
  - ✓ Papel
- Procesos a altas temperaturas
  - ✓ - Fundiciones
  - ✓ - Moldes

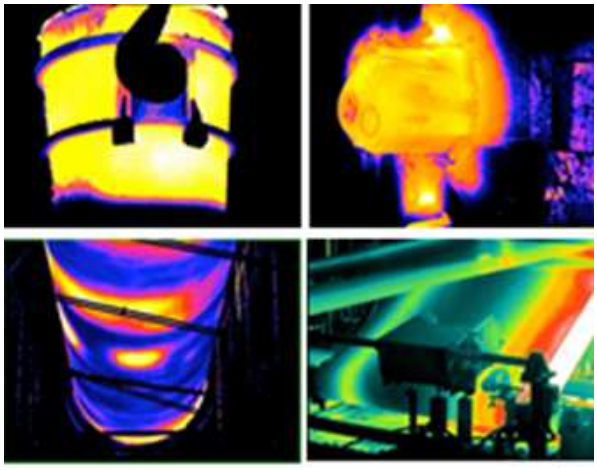


Figura 32

Figura 32 Representa la utilización de la termografía en las fundiciones y acerías.

Hemos realizado una importante de recopilación de información aprovechando nuestro conocimiento de los proveedores del sector. En el Análisis Termográfico no existe tanta bibliografía como en el Análisis de Vibraciones. Todas las diapositivas que hemos ido introduciendo tienen la finalidad de que aquel que no esté familiarizado con la técnica vea las diferentes posibilidades que los diferentes equipos de Análisis Predictivo ofrecen.

6.2.- MEDIDA Y ANÁLISIS DE VIBRACIONES



Figura 1

El análisis de vibraciones se trata de la Técnica de Mantenimiento Predictivo la cual partiendo de una onda global captada es capaz de interpretar los problemas individuales que generan dicha onda global. Son necesarios por lo tanto un equipo para captar la onda global y un equipo para interpretarla.

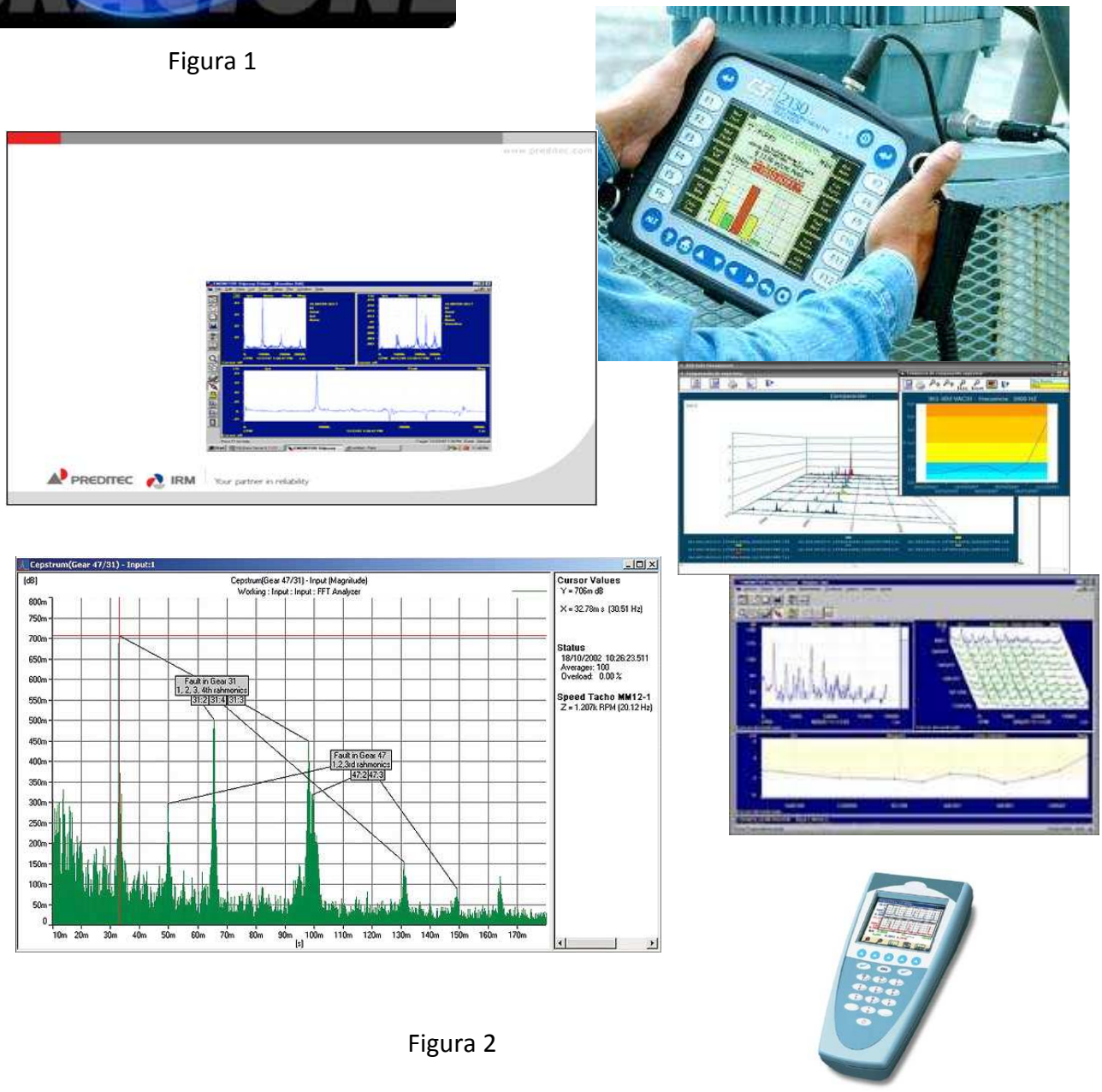


Figura 2

Figuras 1 y 2 Representan las ondas de vibración, equipos y formas de medición así como diferentes presentaciones de los espectros y tendencias en función de los distintos equipos.

¿La vibración es mala en sí misma?

No tiene porqué, evidentemente a "menor" vibración "mejor" estado de salud para un elemento. Si lo extrapolamos al ser humano utilizando el ejemplo de la presión arterial, sabemos que para el patrón standard 14/7 existen muchas variantes, 12/6,13/7, etc. Por tanto cada individuo es distinto y es el seguimiento en este caso de la presión arterial el que nos indicará cómo estemos cada uno.

Volviendo a la pregunta inicial la vibración es mala según la severidad que tenga.

Imaginemos un puente largo sobre una bahía, de esos que se soportan con tensores superiores. El puente vibra a cada paso de vehículos, vibra más si pasa un camión pesado, vibra con la fuerza del viento y no le ocurre nada. Pero si por ejemplo se somete a la vibración producida un terremoto importante vibrará hasta desmoronarse, la cuestión radica pues en la fuerza que la genera o severidad de la vibración.

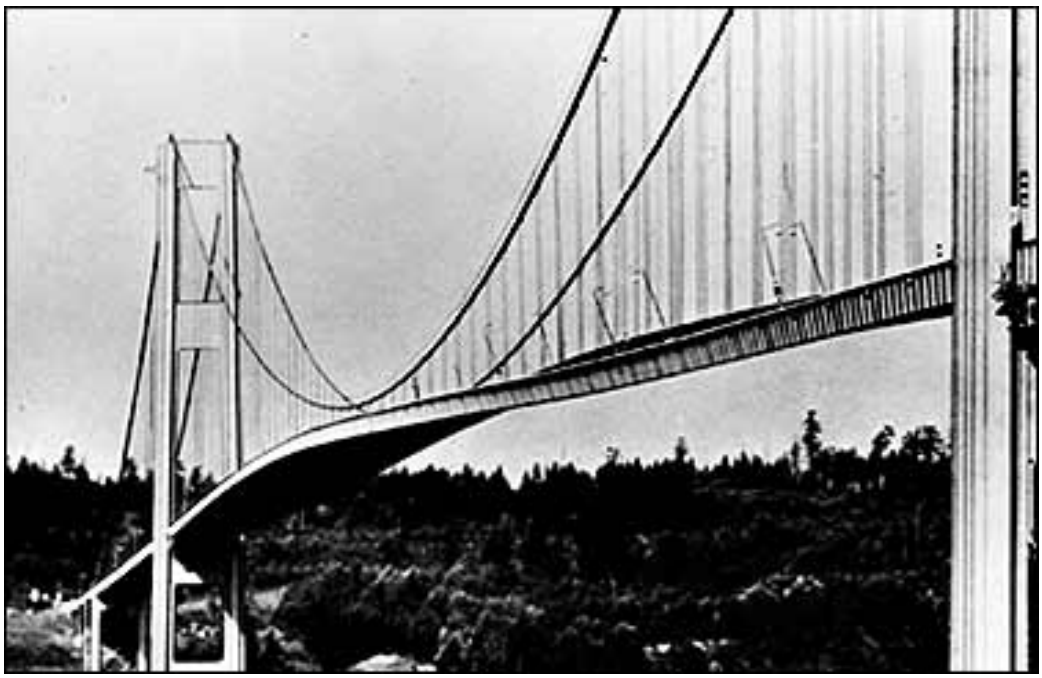


Figura 3

La siguiente cuestión que nos surge inmediatamente es ¿Cómo sabemos cuándo una vibración ha alcanzado un nivel de severidad peligroso para la máquina?.

Figura 3 Representa el poder destructor de una vibración de severidad importante

Existen tablas que nos ayudan a establecer un primer valor inicial de referencia, como en la presión arterial 14/7. En el Anexo de Análisis de Vibraciones encontrareis en la *referencia 13* las diferentes normas, alguna de estas como la Carta Rathbone y la norma ISO 2372-1974, son las más utilizadas, podéis comprobarlo en la *referencia 9*, al igual que el resto de artículos. Son las primeras referencias que se dan en los distintos cursos de vibraciones.

Ya sabemos que dependiendo de la severidad de la vibración tendremos que establecer los niveles de alarma, tenemos también los niveles de referencia para nuestras primeras mediciones, pero la(s) alarma(s) ¿Qué nos indica(n)?, es decir ¿cuál es el problema que está generando esa vibración nociva o dañina para la máquina?.

En el cuadro 1 podemos ver los problemas más clásicos:

PRINCIPALES MODOS DE FALLO DETECTABLES CON VIBRACIÓN

DESEQUILIBRIO	• Inicial • Ejedoblado • piezasflojas-desplazadas • pegaduras	**ACOPLAMIENTOS**	• Malmontaje • Holguras • Deterioropordesgaste • Cargaexcesiva
EXCENTRICIDAD	• Saltoeneleje • Encojinetes • Enpoleas •.....	**FUERZAS HIDRO-AERODINAMICAS**	• Desequilibriohidrodinámico/Aerodinámico • Alabesgastadosodeformados • Cavitación
DESALINEACIÓN	• Enacoplamientos • Enmontajecojinetes • Enpoleastransmisión • Portensionesentuberías • Pordeformacionesbancadas,carcasas,.....	**CRÍTICAS**	• Críticasdesviadas • Operaciónenvelocidadcrítica • Críticadelrotor • Críticaacoplamiento • Críticacarcasa
HOLGURAS	• Dinámicas(portolerancias) • Estáticas(piezasflojas) • Aprietedepernos • Fijaciónbancadas	**RESONANCIA**	• Vibraciónenresonancia • Resonanciadelacarcasa • Resonanciadelossoportes • Resonanciadebancadaocimentación
ROCES	• Encierres • Rotor-carcasa • Axialesdelrotor	**CORREAS EN MAL ESTADO**	• Desgastadas • Maltensadas • Poleasexcéntricas,desequilibradas o desalineadas
RODAMIENTOS EN MAL ESTADO	• Dañosenpistaexterior,interior,bola,jaula... • Malmontaje • Holguraconeleje • Holguraconlacaja	**PROBLEMAS ELÉCTRICOS**	• Barrasdelrotor • Estator • Entrehierro • Excentricidaddinámica • Campoovalado
COJINETES EN MAL ESTADO	• Desgaste • Holgurasexcesivas • Lubricacióndefectuosa	**PROBLEMAS LUBRICACIÓN**	• Remolinodeaceite(oilwhirl) • Fricciónhúmeda(oilwhip) • Whirlresonante
ENGRANAJES	• Holguras • Desequilibrio • Desalineación • Dientesdefectuosos	**TENSIONESEN TUBERÍAS**	

Cuadro 1

Cuadro 1Representa una tabla indicativa de elementos y problemas detectables mediante Análisis de Vibraciones.

Ahora ya conocemos los niveles de alerta necesarios, y ya sabemos qué tipo de problemas vamos a encontrarnos pero realmente ¿esto sucede a menudo?, ¿estaremos buscando una aguja en un pajar?. Para aportar un poco de luz en este asunto presentamos la figura 4, de mapa de fallos en la maquinaria:



Figura 4

Como se puede observar en la grafica en forma de tarta, la vibración es responsable del 25% de los fallos en maquinaria.



Figura 5

Figura 4 Representa una tarta en la que se pueden ver las diferentes causas de falos de los elementos.
Figura5 Representa la toma de datos con un colector de datos o un vibrómetro.

Pero además si tenemos en cuenta que los falos de ingeniería, fallos de montaje, etc., originan vibraciones por las anomalías que generan vemos pues que tenemos bastante campo de aplicación.

A continuación en el cuadro 2 podemos ver la distribución de las principales causas que producen vibración asociados a su origen, origen al que llegaríamos en un ejercicio clásico de los 5 porqués.

Causa fundamental de vibración	**% de ocasiones en que se presenta**	**Observaciones**	**Origen**
Resonancia de tuberías, pedestales,bancadas,etc.	20	Normalmente resonancia parcial	Diseño / Modificaciones
Resonancia del apoyo/bancada	30-40	Más frecuente en sistemas flexibles	Diseño / Modificaciones
DESEQUILIBRIO	30-40	Muy frecuentemente debido a errores de montaje	Error HUMANO
DESALINEACION (acoplamientos y poleas)	50-70	En función entrenamiento personal	Error HUMANO
Frecuencias de engrane o rpm*nº álabes	<3		Funcionamiento
Barras/bobinas flojas (motores AC y transformadores)	<1		Funcionamiento
Motores con barras del rotor rotas o fisuradas	<1	Puede aumentar hasta el 5% para procesos o con muchos arranques y paros	Funcionamiento
Rotor excéntrico o entrehierro no uniforme	<1	Puede aumentar hasta un 5% en motores de alta eficiencia	Fabricación/ Montaje
"Oilwhirl" (sólo en cojinetes lisos)	<1		Operación
Ejes doblados	<1		Funcionamiento
Bancada o piezas flojas	<1		Funcionamiento
Rozamientos	<1		Funcionamiento
Piezas mal contrapesadas en máquinas alternativas	10		Montaje
Rodamientos defectuosos	<2	Solo referidos a fallos inherentes al propio rodamiento y no originados por causa	Selección - Montaje - Mto.

Cuadro 2

Cuadro 2 Representa el origen de diversos problemas que generan fallos en los elementos.

Hemos ido avanzando poco a poco en el conocimiento del origen y severidad de las vibraciones. El análisis de vibraciones tiene su mejor campo de aplicación, como se habrá podido intuir por todas las cuestiones que hemos ido desarrollando anteriormente en las máquinas rotativas o con elementos que giran.

Ahora llega la gran pregunta ¿Cómo vamos a ser capaces de determinar estos problemas que hemos citado como detectables?.



Figura 6



Figura 7

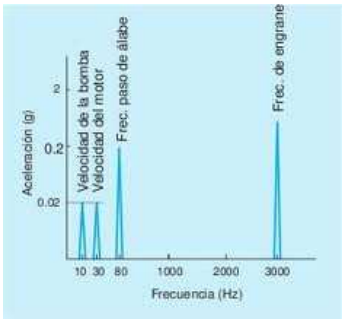
Para responder a esta pregunta, comenzaremos por explicar las líneas maestras del análisis de vibraciones, el cual se sustenta sobre las tres características de todas las máquinas rotativas:



Figura 8

- Todas las máquinas vibran.
- La evolución de un problema conlleva un aumento del nivel de vibraciones
- Distintos problemas originan diferentes formas de vibración

Figura 9



Todas las máquinas vibran, con sus características propias y peculiaridades al igual que la tensión arterial de las personas, por lo tanto:

Figuras 6,7,8 Tomando datos en las máquinas para su posterior análisis
Figura 9 Espectro clásico para analizar y detectar problemas. El software nos presenta frecuencias detectadas.

1. La primera máxima del análisis de vibraciones es conocer al "paciente". Una sola toma de muestra no nos sirve, aunque tengamos la información acumulada de otra máquina parecida.
2. La segunda máxima es tener un histórico acumulado en el que veamos la evolución.

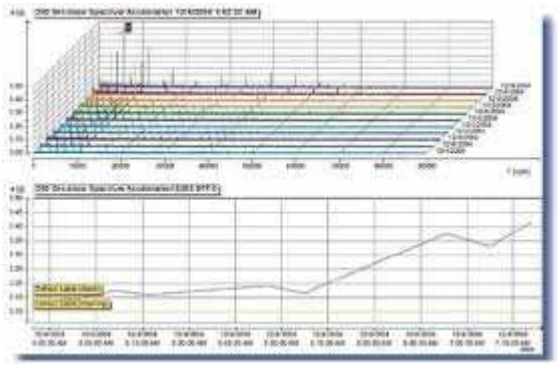
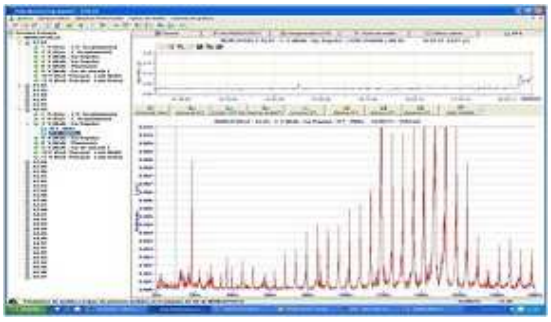


Figura 10

3. La tercera es tener fe y analizar los casos de fracaso para aprender, es parte de la fase de aprendizaje.

Figura 11



Figuras 10 y 11 Representan los espectros para análisis y tendencia de la onda global

Una vez hemos centrado la metodología del análisis de las vibraciones, es hora de recordar algunas nociones teóricas que nos ayuden a la compresión del método de análisis.

El modo de vibración de un equipo o componente se puede analizar como la de una masa M que está sujeta a una fuerza puntual y a la vez está unida a un muelle de constante K. El componente, máquina en función de su rigidez, la de otros elementos anexos, peso total, etc. generará una señal acorde a todo ello, además de a la causa que lo origina. También se suele representar cuando se quiere presentar una visión más exacta de lo que sucede con el añadido de componente capacitiva y/o de resistencia al movimiento o inercia.

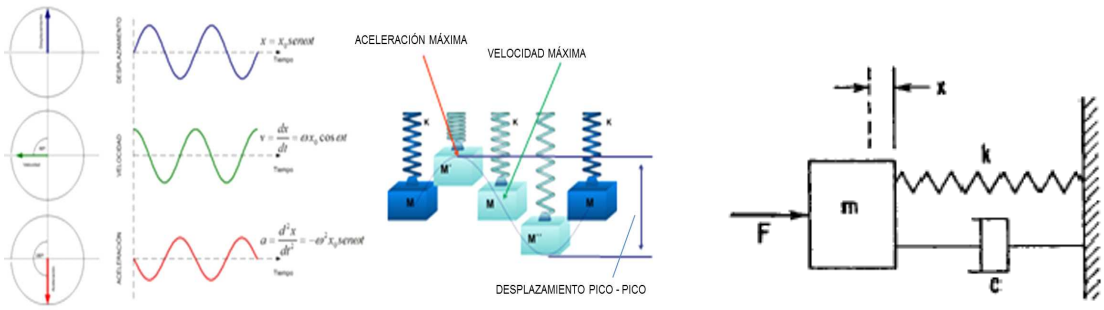


Figura 12

Figura 12 Representa los esquemas que se utilizan para estudiar las ondas para el análisis de vibraciones. Aparecen los conceptos de amplitud, velocidad y aceleración.

Donde la amplitud de la vibración se puede medir por medio de los siguientes parámetros: desplazamiento, velocidad y aceleración.

Figura 13



- Desplazamiento indica cuánto se mueve
- Velocidad indica con qué rapidez se mueve
- Aceleración indica con qué rapidez cambia de velocidad

Dependiendo de lo que se pretenda medir o de las características del equipo que tengamos se puede utilizar cualquiera. Ahora bien lo más habitual es utilizar acelerómetros capaces de medir la aceleración o transformarla a velocidad puesto que ambas variables se relacionan con el tiempo.

Las unidades que normalmente se utilizan son:

- Desplazamiento (Pico a Pico) en micras ó mils
- Velocidad (Pico a Pico o RMS) en mm/seg.
- Aceleración (Pico a Pico o RMS) en g´s mm/seg2



Figura 14

No hay que confundir la g de aceleración con la g de "spike energy" (g SE). Este concepto de "spike energy", que sale por ejemplo en el artículo de la referencia 9, es un concepto patentado por la firma IRM y que hace referencia a la energía de ese pequeño micro-impacto que puede generar un fallo incipiente en la pista o bola de un rodamiento.

La AMPLITUD de la vibración indica la severidad de la vibración que está presente en el equipo, y es la que determina la gravedad. Cuanto mayor es la amplitud más grave será el defecto. Por lo tanto ya sabemos qué parámetro tenemos que controlar para predecir el fallo: La AMPLITUD.

Figuras 13, 14 Representas equipos de medición, vibrómetro y colector de datos

La amplitud de la vibración se puede medir en:

- Valor pico: de cero a cresta
- Valor pico-pico: de cresta a cresta
- Valor eficaz o rms: (Root Mean Squared) es igual a la raíz cuadrada del valor medio del cuadrado de la función. Representa la energía encerrada en la función.

El valor rms es el más frecuentemente utilizado, es por ejemplo el utilizado en la norma ISO 2372 o y la ISO 3945, pag. 7.10 y 7.11 de la *referencia 13* sobre las normas de severidad de las vibraciones, también se pueden ver estas gráficas en la mayoría de los artículos del Anexo de Vibraciones.

De tal forma que para una función senoidal:

$$Vrms = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T sen^2 \omega t \cdot dt}$$

$$Vrms = \frac{Vmax}{\sqrt{2}}$$

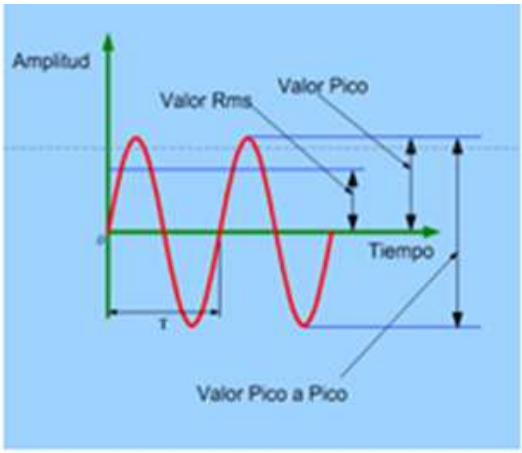


Figura 15

Figura 15 Representa una onda de vibración, con sus características, periodo, valor pico a pico, valor pico y valor RMS

Para cualquier otra función no senoidal, no se cumpliría la ecuación anterior y por tanto podría tener el mismo valor pico (o valor máximo) que la senoidal, aunque el valor eficaz sería diferente.

La vibración tratándose de de una señal de tipo senoidal es una función del TIEMPO y la FRECUENCIA.

La FRECUENCIA de vibración nos dice con qué periodicidad ocurre la vibración y ayuda a identificar qué parte de la máquina la produce.

El período (T) es el tiempo que tarda en completarse un ciclo, expresado en segundos.

La frecuencia (f) es el número de ciclos o períodos que se completan en una unidad de tiempo. La frecuencia (f) es la inversa del período (f=1/T).

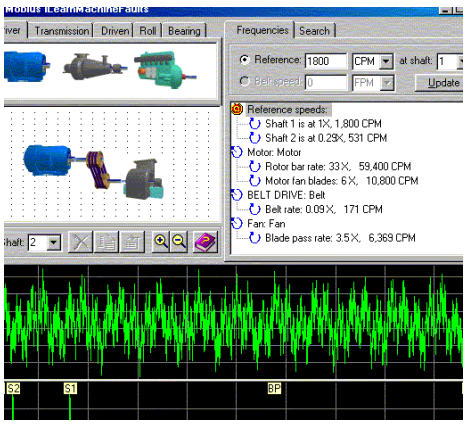
La frecuencia se expresa normalmente en Hz = ciclos por segundo, aunque por conveniencia en análisis mecánico la expresamos en cpm = ciclos por minuto (rpm).

La FASE nos indica el modo en el que está vibrando el equipo y ayuda a identificar y discernir entre diversos tipos de problemas.

⇒ Hemos adquirido o recordado las nociones fundamentales asociadas a las vibraciones de una máquina: AMPLITUD, FRECUENCIA, PERIODO, FASE.

Ahora bien ¿Qué pasa cuando captamos con un equipo esa vibración?.

Pues ocurre que obtenemos una onda global en la que todas las causas de las vibraciones están sumadas con sus diferentes amplitudes, periodos y fases, lo que hace que sea imposible descifrar nada. Algo como el grafico inferior de la figura 16.



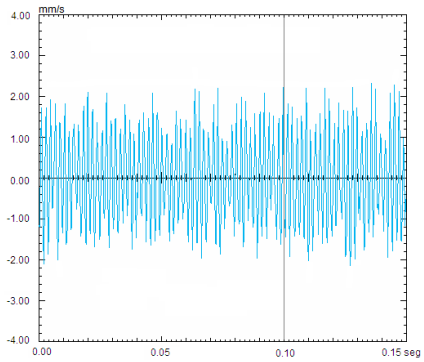


Figura 16

Figura 16 Representa la vibración tal y como se recoge con el colector de datos, su longitud depende del tiempo en el que se está tomando.

Lo cual nos puede parecer hasta preocupante, ¿Cómo vamos a ser capaces de descifrar algo en semejante maraña?. Es posible y de hecho se hace con normalidad y acierto.

Si en lugar de observar la señal en todo el tiempo que se ha recogido, la redujéramos a uno o dos periodos completos de la onda global tendríamos algo así:

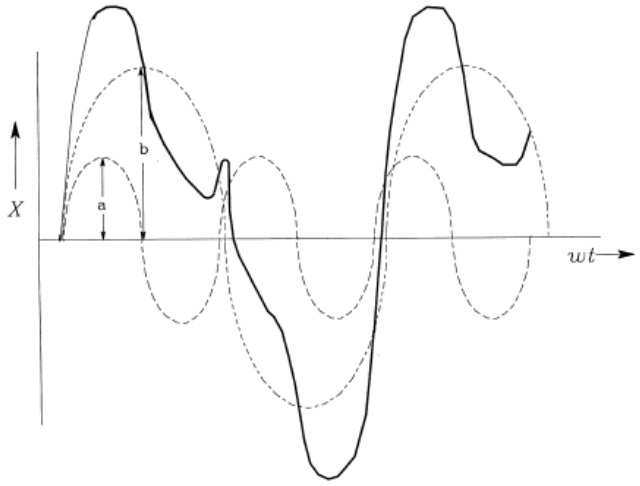


Figura 17

Figura 17 Representa una onda global de vibración, es decir sin descomponerla

Este esquema ya nos da alguna pista de cómo se hace el análisis de vibraciones. Y lo que se hace es aplicar la Transformada de Fourier (FFT) a la onda recogida. Y aquí es donde entran en juego los diferentes software de análisis de cada marca. Básicamente lo que hacen es lo que vemos en la diapositiva de abajo:

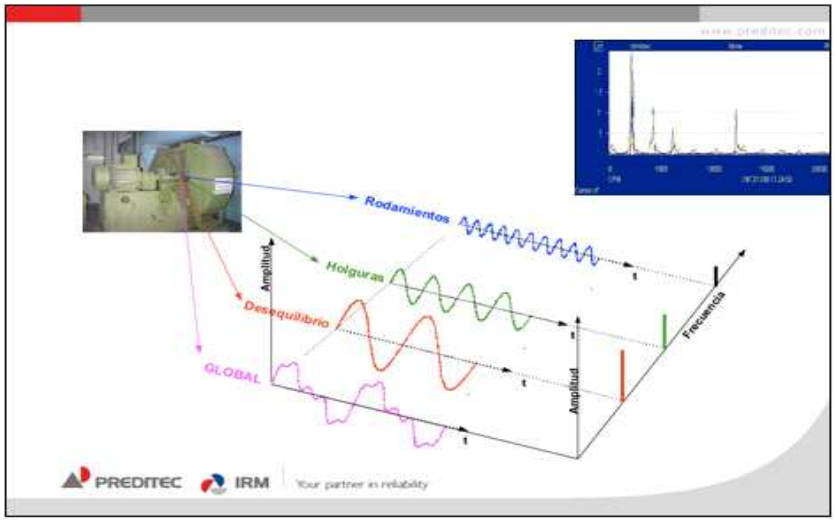


Figura 18

Figura 18 Representa la descomposición de la onda global para la obtención del espectro

Es decir el software de análisis busca las diferentes frecuencias y su amplitud. La amplitud nos da el nivel de severidad y la frecuencia es la que ayuda a establecer el origen.

Para esto los programas de software tienen desarrollados los correspondientes algoritmos para establecer a través de la FFT las frecuencias y sus amplitudes y nos la presentan en un diagrama de frecuencias y amplitudes al que se denomina espectro de vibraciones. Ahora bien estos software no son adivinos, es decir tenemos que introducir al principio, cuando se generan las rutas equipos etc., las características de los rodamientos, engranes, etc. Cuanto más documentemos o alimentemos inicialmente el sistema más nos ayudará después.

Los equipos más sencillos como los vibrómetros a veces sólo nos dan un valor RMS de la onda global. Evidentemente los equipos más completos también e incluso son capaces de presentar su evolución.

Las diferencias en los precios radican en la diferencia de capacidad de análisis además de las propias debidas a cada marca. Como hemos indicado con mayor o menor rendimiento del analizador en resumen esto es lo que sucede:

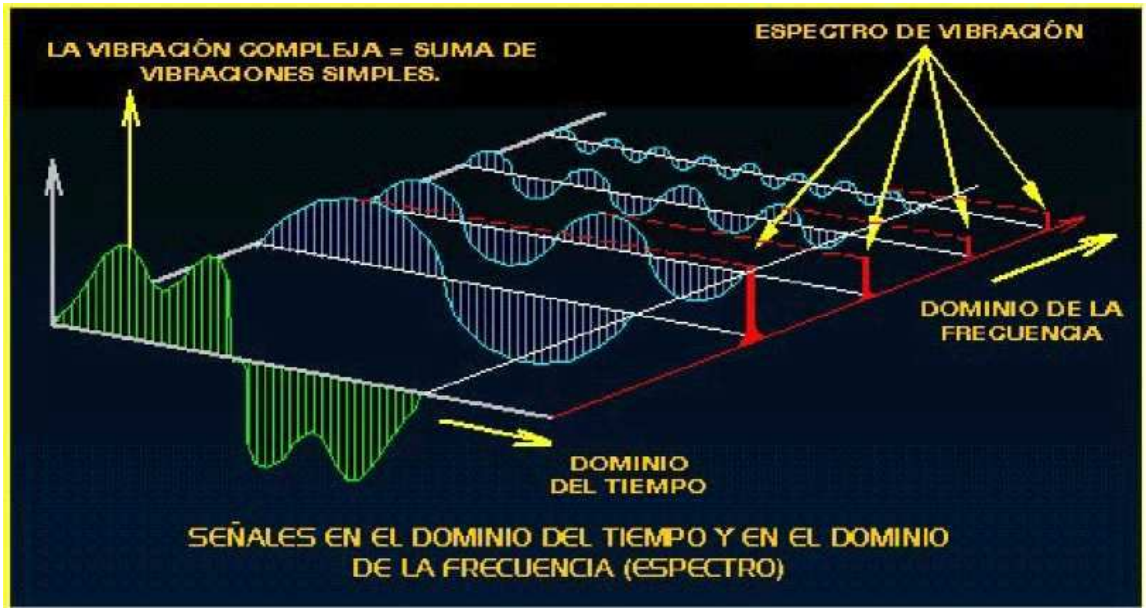


Figura 19

Figura 19 Representa la descomposición de una onda global de vibración a través de la Transformada de Fourier para obtener las frecuencias y las amplitudes con las que hacer el análisis posterior.

El analizador de espectros trabaja con la Transformada de Fourier (FFT), una vez tiene capturada la señal de una máquina o señal global (en verde), luego calcula todas las series de señales senoidales (en azul) que contiene dicha señal global y por último nos las presenta en forma individual en el eje x de la frecuencia (en rojo).

Ya se nos ha despejado, un poco al menos, el oscuro panorama de descifrar lo que pasa, ahora ya solo nos queda profundizar en la metodología de aplicación:

DETECCIÓN

- Una cuestión de vital importancia son las mediciones periódicas realizadas con un intervalo establecido en función del modelo y rapidez de evolución al fallo del activo considerado.

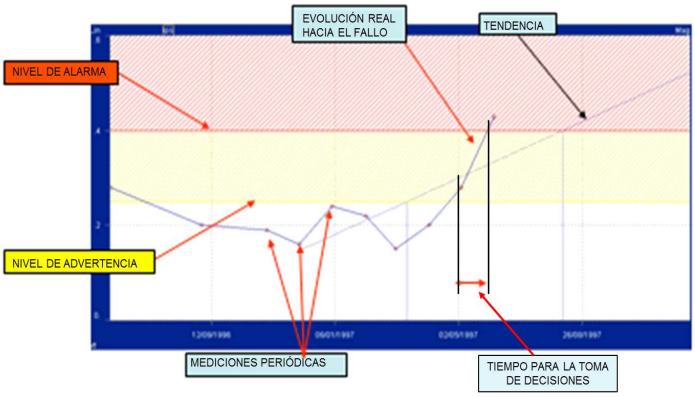
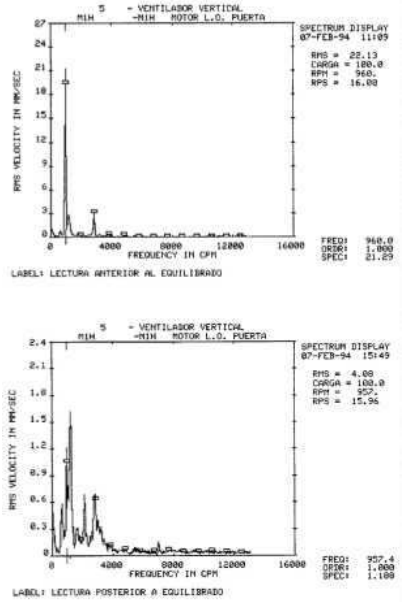


Figura 20

Figura 21



A la hora de medir lo más habitual es utilizar acelerómetros, pero debemos tener en cuenta que estos elementos tienen un rango de frecuencias en el que la señal que capta y nos envía es proporcional a la que recibe y luego tienen dos zonas, en la zonas de baja y alta de frecuencia, limítrofes, donde la señal no es proporcional por lo que el resultado que obtengamos no será bueno.

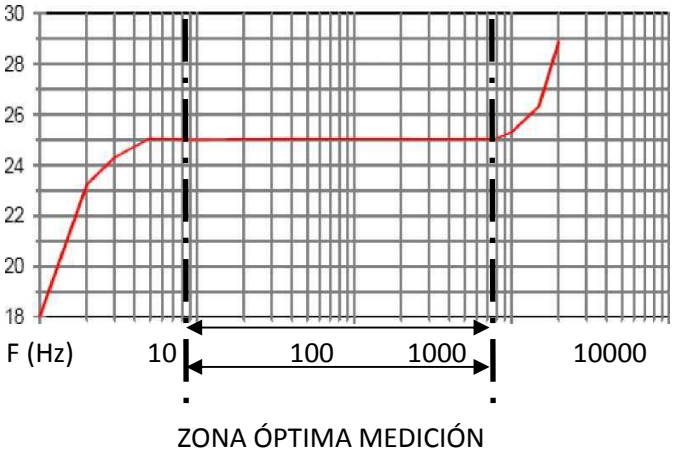


Figura 22

Presentamos a continuación un esquema típico de un acelerómetro:

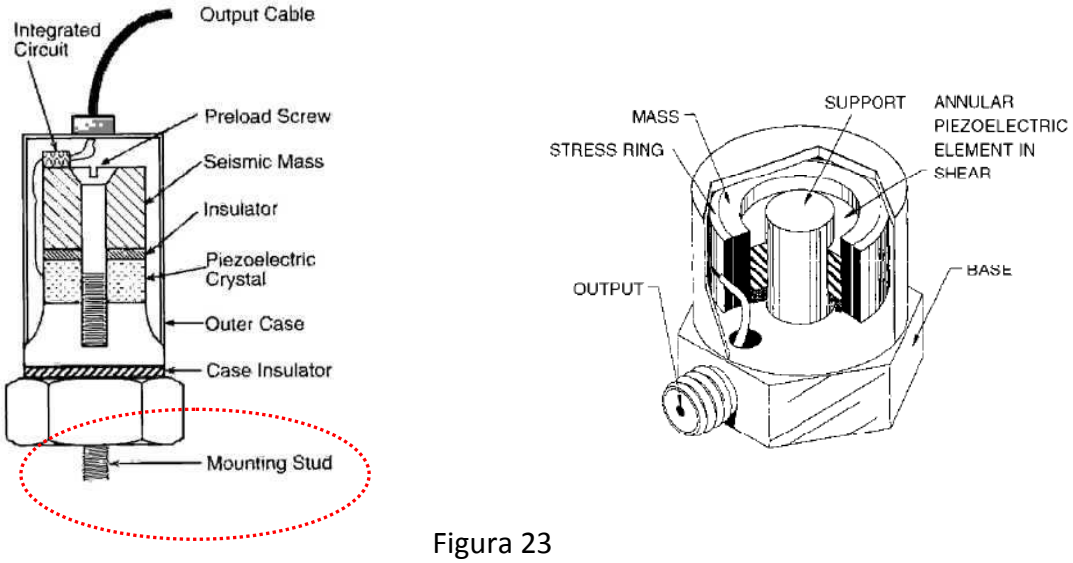


Figura 23

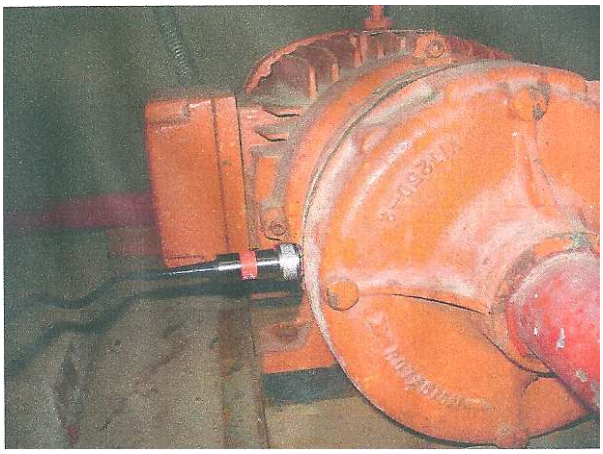


Figura 24

En estos ejemplos de arriba, los acelerómetros de los esquemas son de amarre mecánico y el de la fotografía de amarre magnético o imán, que está montado para captar la vibración en sentido horizontal.

Figuras 21 y 22 Representan la evolución de la onda global y un espectro, continuamos viendo distintas formas de exposición de los diferentes software de los equipos.

Figura 23 Se representan varios formas de acelerómetros, en uno de ellos se puede ver la forma de amarre mecánico.

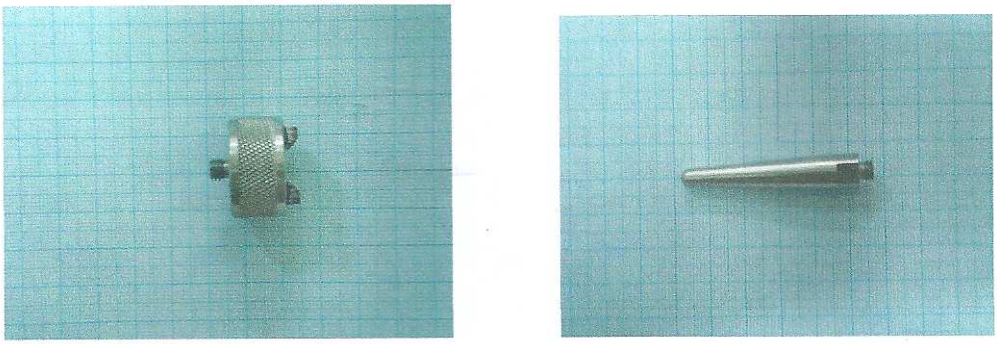


Figura 25

Los acelerómetros pueden tener además la posibilidad de colocar una puntera para la toma de la señal mediante presión manual. En las fotografías de arriba vemos el soporte o base magnética en la fotografía de la izquierda y la puntera manual en la fotografía de la derecha.

Recomendamos la instalación de una base fija de amarre mecánico en el equipo, sobre la que posteriormente podamos enroscar el saliente macho del acelerómetro.

A este tipo de fijación se le llama mecánica, existe la magnética como hemos indicado y la de contacto manual. Nos inclinamos por la instalación de bases mecánicas porque la adquisición de la señal es mucho más segura debido a que su sujeción es mejor y más rígida. En el esquema del acelerómetro vemos que el elemento que nos capta la señal es de tipo piezoeléctrico, por lo tanto de una grandísima sensibilidad, cualquier pequeña variación en el amarre pues puede influir de manera notoria.

Figura 24 Representa la instalación de un acelerómetro para la toma de medidas. Está instalado con imán y por la posición en que está instalado medirá en el eje horizontal.

Figura 25 Representa dos punteras con distintos amarres, con imán y manual, para acelerómetro.

ANÁLISIS

El análisis se trata de la utilización de métodos para diagnosticar el problema detectado en la fase anterior.

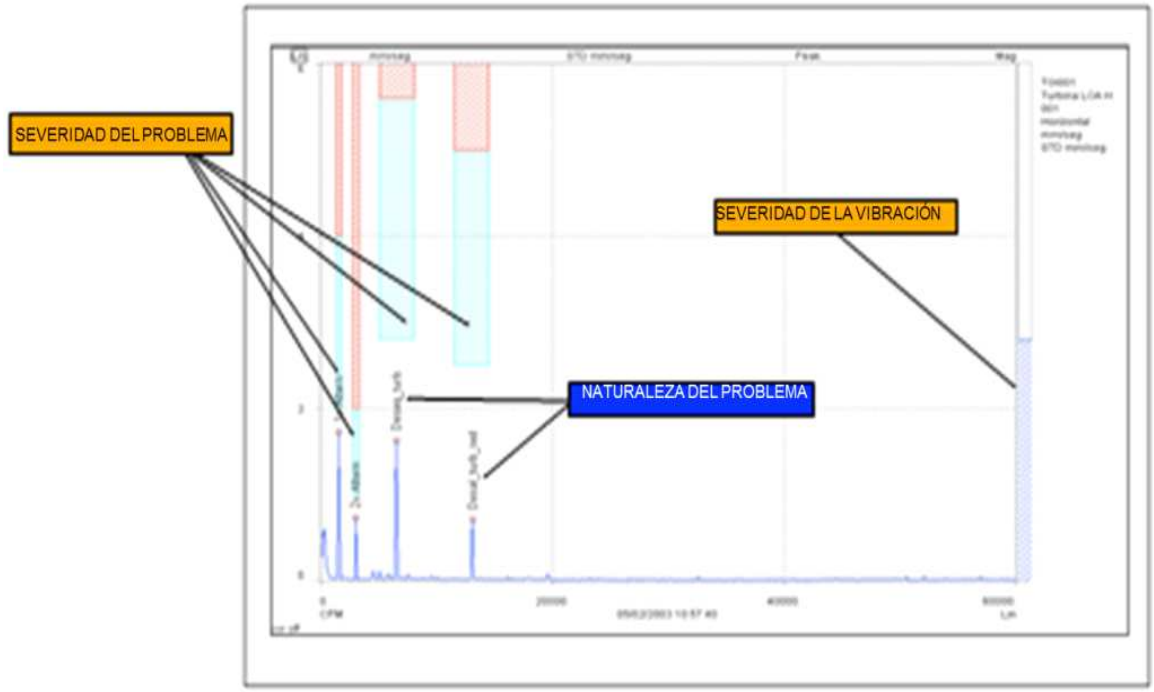


Figura 26

Figura 26 Representa un espectro tipo con las frecuencias de los problemas definidas, así como el valor individual de la amplitudes comparadas con los valores máximos establecidos, en un formato de envolvente diferente al clásico

Para el análisis debemos de tener adquiridas, como ya lo hemos indicado con anterioridad, una serie de mediciones para ver su tendencia, esto es lo fundamental. Los software nos ofrecen diferentes ayudas para el establecimiento de las alarmas, además de las clásicas de la carta Rathbone / normas ISO /etc., nos ofrecen ayudas como la envolvente que sería la aplicación de esos conceptos a lo largo de todo el espectro a modo de envolvente. Si cualquier frecuencia rebasa el límite de la envolvente en cualquier frecuencia nos dará pie a su seguimiento o análisis de gravedad. En la figura 26 vemos este método, por encima de cada frecuencia aparece en un recuadro de color verde el límite de alarma y superpuesto a él en color fuxia el nivel de la medición.

Es muy importante hacer el seguimiento de la evolución o tendencia del valor rms de la vibración y fijarse sobre todo en los cambios bruscos de la tendencia.

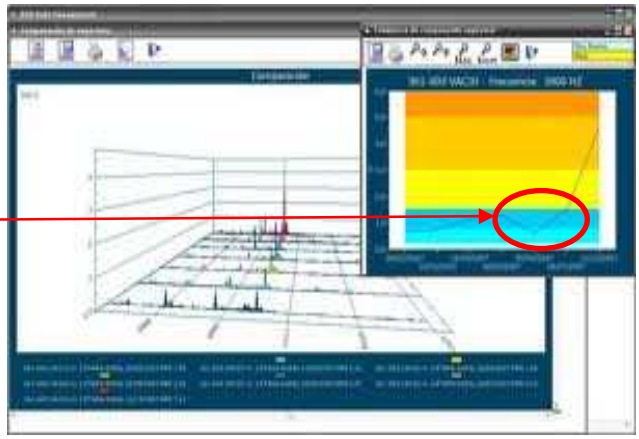
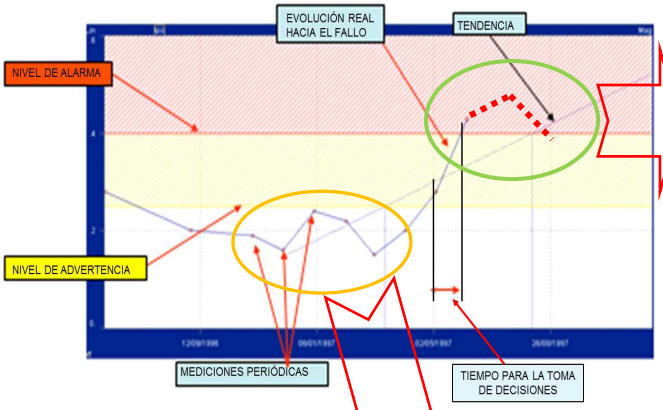


Figura 27

Figura 27 Representa otra forma distinta de presentación de los espectros, esta vez los de tres mediciones, a la vez que la evolución del valor global, se puede observar el importante cambio de la última medición así como de los picos de las diferentes frecuencias.

Una cuestión que debemos tener en cuenta a la hora de vigilar el cambio de tendencia es la siguiente:

Figura 28



En la gráfica de la figura 28, se ha producido ya un cambio brusco del nivel global y se ha confirmado la tendencia en las siguientes mediciones. Si estuviésemos midiendo el nivel global hasta el fallo veíamos que continuaría subiendo con algo menos de pendiente, luego comenzaría a bajar y se produciría el fallo.

En la figura 28, observamos un cambio brusco inicial, pero que no sobrepasa el nivel de alarma. En estos momentos es cuando se "debe conocer al paciente" y saber que el nivel de alarma está bien colocado. En este caso vemos que sí, el nivel global baja en las siguientes mediciones, par más tarde comenzar una progresión ascendente definitiva hasta llegar al nivel de alarma.

Figura 28 Representa la evolución clásica del valor global de la onda, con sus diferentes fases de evolución típicas.

En la figura 29, de abajo, podemos ver otro tipo de presentación de la envolvente:

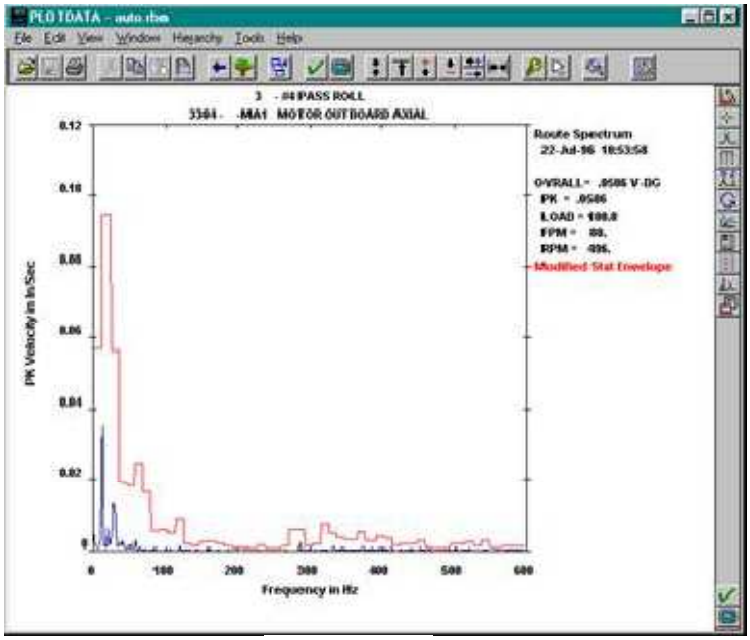


Figura 29

Figura 29 Representa un espectro de vibración presentado para su análisis acompañada de una envolvente habitual de los software de análisis

Insistimos una vez más que lo que el interesado debe hacer es determinar el equipo que desea adquirir y luego formarse con la casa proveedora puesto que es ahí donde adquirirá los conocimientos reales que podrá desarrollar con su equipo.

CORRECCIÓN

Es la tarea que corresponde ejecutar cuando se ha decidido que la vibración ha sobrepasado el límite de severidad para la seguridad del equipo.

- Aplicación de las técnicas y medidas necesarias para corregir el problema diagnosticado y restaurar el activo a su condición óptima de funcionamiento.
- Destacamos por su frecuencia de aparición la corrección del desequilibrio y desalineación.
- Llevar a cabo las tareas correctivas con la debida precisión: "El 70% de los problemas que una máquina presentará entre dos intervenciones de mantenimiento, se presentan en la semana siguiente a una gran revisión".

- El objetivo fundamental es retrasar lo más posible la aparición del punto "P" de la curva P-F.

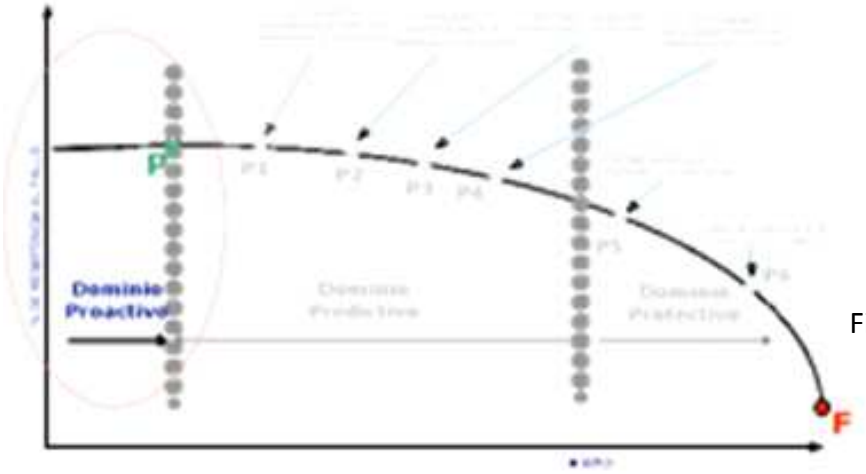


Figura 30

Figura 30 Representa que la probabilidad de fallo después de una intervención de Mantenimiento es mayor. Por eso incomprensiblemente después de una intervención de Mantenimiento Preventivo se producen fallos, en realidad son errores del proceso de Mantenimiento, los cuales también hay que minimizar.

Nos hemos encontrado en situaciones en las que se ha desmontado un rodamiento por problemas en la pista exterior por ejemplo, hemos desmontado el rodamiento y no hemos sido capaces de ver donde estaba el problema. En esta situación existe la tendencia generalizada de desconfiar de la Técnica de Análisis de Vibraciones. Es la fase en la que debemos aplicar la fe y/o la fase de aprendizaje de reajuste.

SENSORES DE VIBRACIÓN

Elemento esencial para transformar una variable física (vibración) en otra más fácilmente medible (tensión eléctrica).

Tres son los tipos fundamentales de sensor de vibración:

- Sísmico de medida de velocidad de vibración.
- Acelerómetros (los más utilizados) miden la aceleración de la vibración.
- Sensores de proximidad o sin contacto. Miden desplazamiento de vibración



Figura 31

Figura 31 Presentamos distintos tipos de acelerómetros y sensores de toma de señal.

Ya hemos comentado en la fase de Medición las características principales de los acelerómetros, que son los elementos más universalmente utilizados. Solamente añadiremos que existen hoy en día en el mercado acelerómetros que recogen la señal en los tres ejes (triaxiales), aunque lo normal es utilizar el standar al que se le llama axial.

SISTEMAS "OFF LINE"

Colectores de datos.

Son sistemas manuales de adquisición discontinua de datos. Equipos portátiles de medida que periódicamente descargan las lecturas en la base de datos para el análisis. Existen también los equipos llamados colectores analizadores, recomendamos que el software de análisis este en un PC aparte.



Figura 32

Figura 32 Se representan diferentes tipos de colectores de datos y también vibrómetros

Los concentradores de sensores se utilizan cuando existen puntos de difícil acceso y además muy alejados uno de otro.

Los sensores de vibración se instalan en los puntos de interés y se cablean hasta un concentrador de sensores donde la medida se puede llevar a cabo con facilidad.



Figura 33

Figura 33 Se representa un sistema de monitorizado, desde lo más sencillo, el monitorizado de un punto, a lo más complejo el monitorizado de toda una planta.

SISTEMAS "ON LINE"

Los sistemas ON LINE sirven para una monitorización en continuo, normalmente son sistemas de vigilancia multiplexados. Es decir van recibiendo la señal de distintos puntos de vigilancia de manera secuencial.

- Recogen los datos automáticamente en intervalos predefinidos
- Medición continua pero no simultánea

Sistemas de protección

- Su función primaria es proteger la máquina contra fallos catastróficos.
- Medición continua y simultánea
- Transferencia de lecturas en tiempo real o en intervalos predefinidos.

Tienen la posibilidad de integrarlos vía red en los sistemas de gestión para la toma de decisiones.

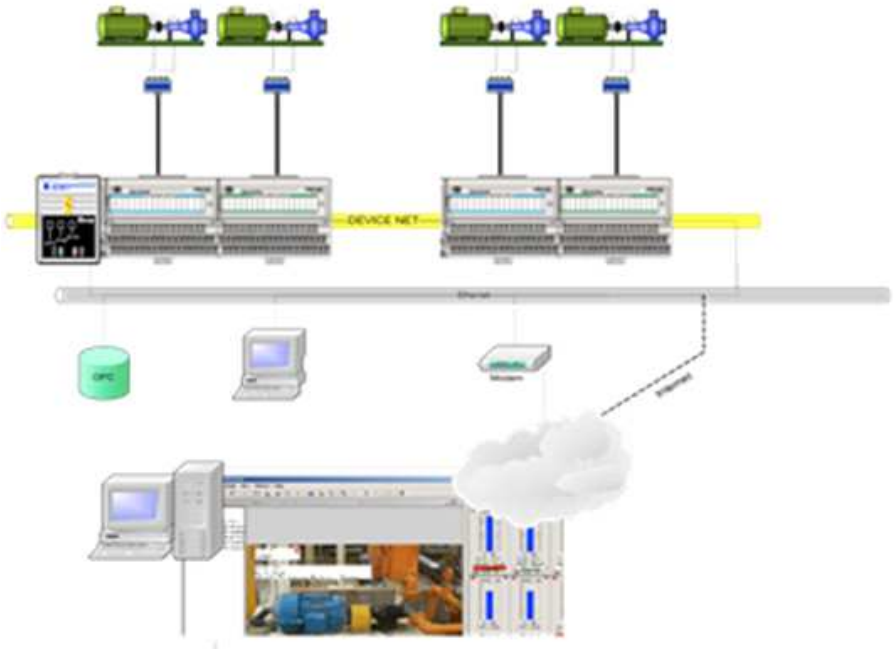


Figura 34

Figura 34 Representa el monitorizado en continuo con la automatización de las alarmas de peligro y /o precaución

SOFTWARE DEL SISTEMA

Los datos a recoger por cada uno de los sistemas: posiciones de medida, características de la medición, frecuencia de toma de datos, etc. serán configurados en el software y enviados a los sistemas de medida.

Los datos recogidos así por cada sistema, serán enviados a la base de datos del software para transformar estos en información útil para los gestores de mantenimiento: Evolución histórica de la vibración, gestión de alarmas, diagnóstico de problemas, etc.

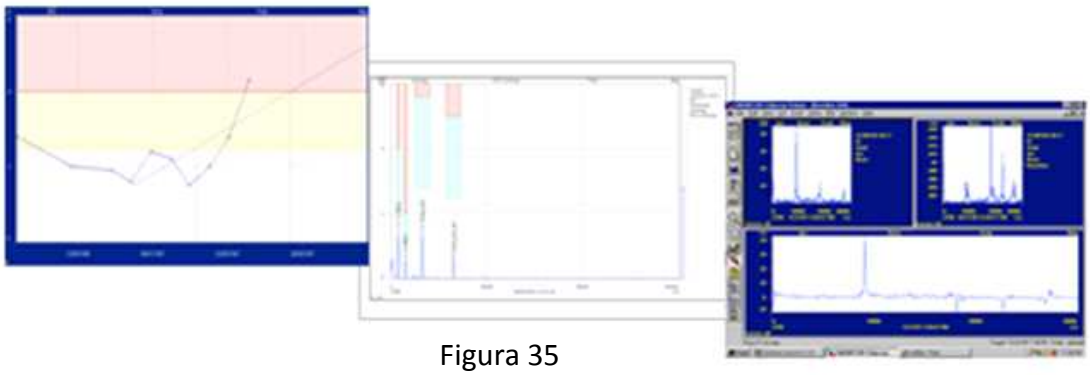


Figura 35

Figura 35 Representan diferentes formas de representación de los datos para el análisis

Los sistemas ON LINE en principio son caros, por lo que tienen su interés cuando se pretende controlar un equipo que también sea caro.

En cualquiera de los sistemas que utilicemos, la razón principal para analizar y diagnosticar el estado de una maquina es determinar las medidas necesarias para corregir la condición de vibración, reducir el nivel de las fuerzas vibratorias no deseadas y no necesarias cuando estas superan un valor que hemos preestablecido como peligroso. Por lo tanto cuando analicemos los datos, nuestro interés principal deberá ser la identificación de las amplitudes predominantes en la vibración, la determinación de las causas, y la corrección de los problemas que representen.



Figura 36

Hemos visto hasta ahora los conceptos generales del funcionamiento del Análisis de Vibraciones, nos queda ahora adquirir unas nociones sobre la identificación o análisis de los principales problemas que nos encontramos en los equipos o máquinas.

Los conceptos que vamos a desarrollar tienden a describir las diferentes causas de vibración y sus consecuencias, lo cual nos ayudara enormemente a la hora de interpretar los datos que podamos obtener con nuestro colector de datos, determinando así el tipo de vibración que se nos presenta para buscar así la debida corrección de los problemas que las generan. Insistimos en que casi todos los fabricantes imparten cursos formativos de varios niveles, lo cual recomendamos una vez hayamos adquirido el equipo con el que vayamos a trabajar.

Figura 36 Representa la máquina o activo en el que debemos desarrollas las técnicas de predicción.

Vibración debida al Desequilibrio

El desequilibrio en la maquinaria es una de las causas más comunes de la vibración. Normalmente, los datos que nos indican un estado de desequilibrio son:

1. La frecuencia de vibración se manifiesta a 1x las rpm de la velocidad de giro del eje-rotor desequilibrado.
2. La amplitud es proporcional a la cantidad de desequilibrio
3. La amplitud de la vibración es normalmente mayor en el sentido de medición radial, horizontal o vertical (en las maquinas con ejes horizontales).
4. El análisis de fase indica lecturas de fase estables.
5. La fase se desplazará 90° si se desplaza el captador 90°.

El espectro clásico de un desequilibrio sería el siguiente:

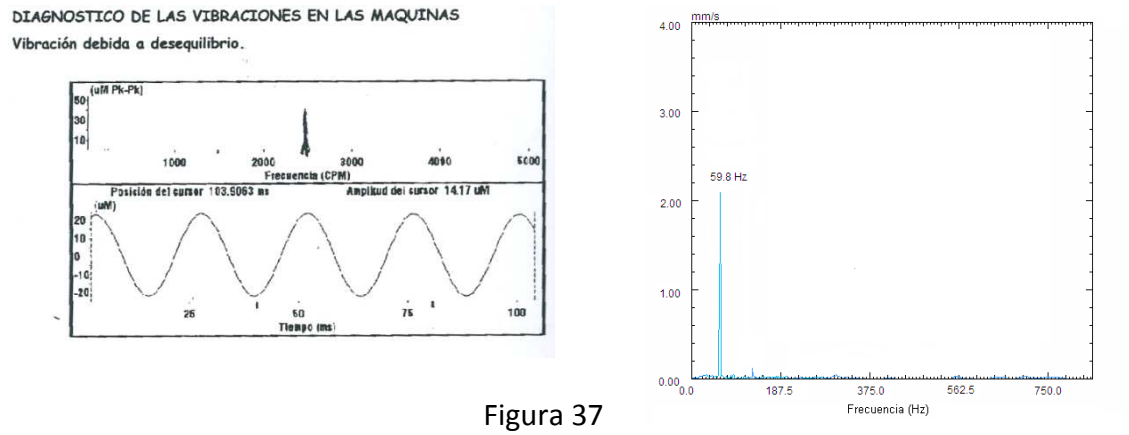


Figura 37

Figura 37 Representa la onda que produce el desequilibrio y el espectro que se obtiene

Existen tres tipos de desequilibrio básicos: Estático, de par y en voladizo

La desalineación de un rotor en voladizo o saliente, es decir montado directamente en la punta de los ejes, a menudo tiene como resultado una gran amplitud de la vibración en sentido axial, al mismo tiempo que en sentido radial.

El desequilibrio de par lo podemos identificar con el análisis de fases.

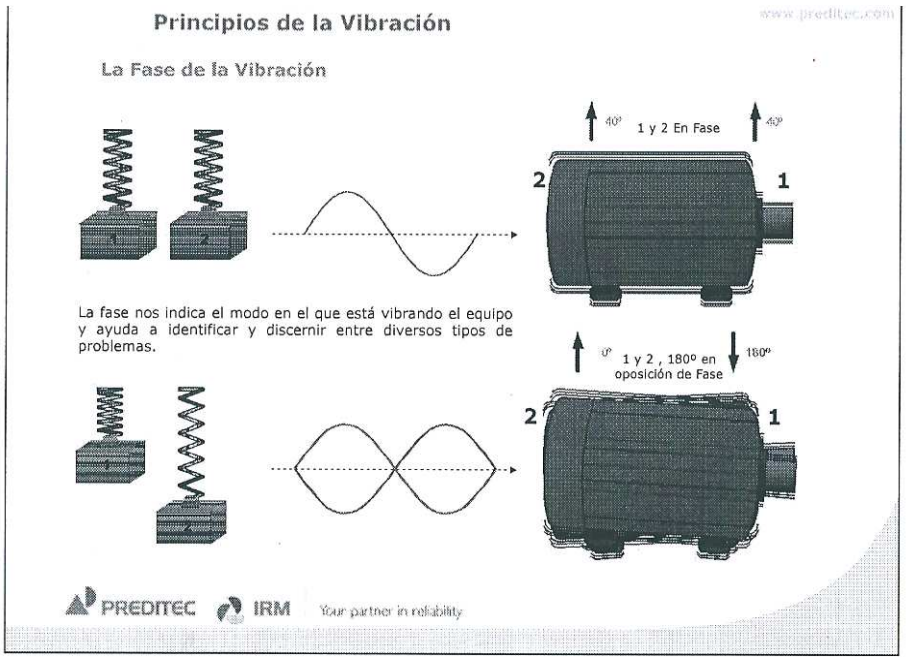


Figura 38

Figura 38 Representa el estudio de las fase de la onda de vibración para ver en qué forma vibra

Es decir existen dos fases como se puede ver en el segundo dibujo de la diapositiva adjunta.

Para terminar este apartado queremos indicar que el desequilibrio es a menudo traducido en algunos artículos como desbalanceo.



Figura 39

Figura 39 Representa las posibilidad de definición de una frecuencia por el software de análisis

Vibración debida al desalineamiento

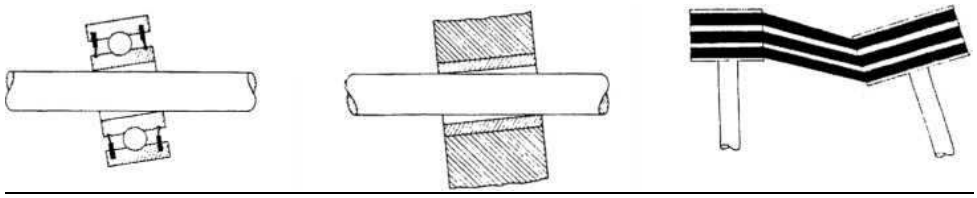


Figura 40

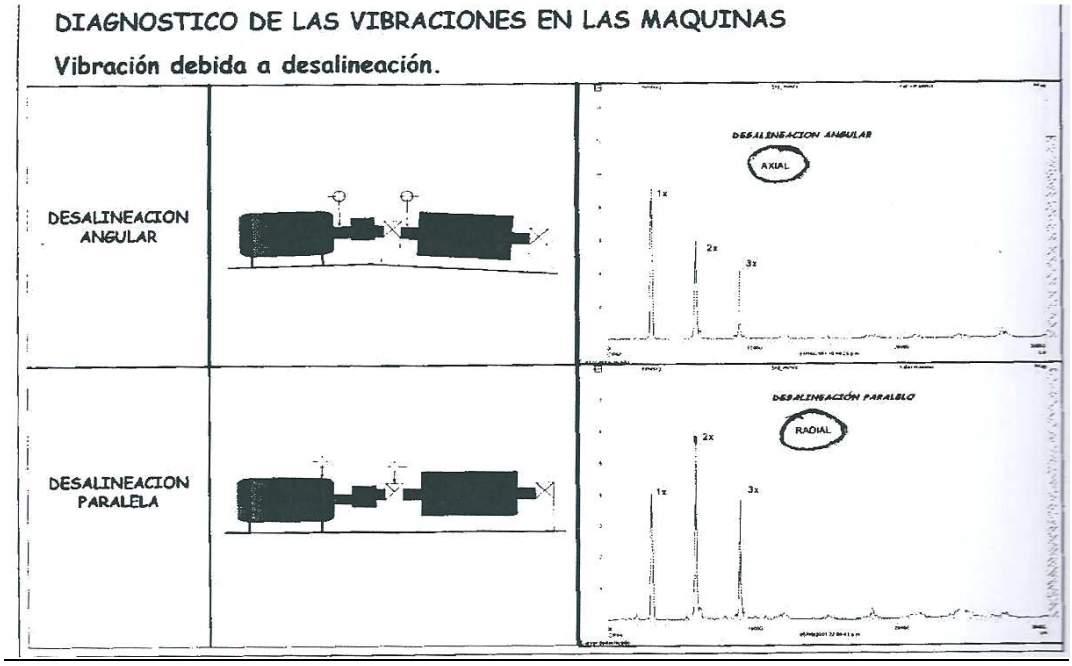


Figura 41

Figuras 40 y 41 Representa formas de desalineamiento y sus espectros definitorios.

En la mayoría de los casos los datos obtenidos de de un problema de des alineación arrojan lo siguiente:

1. La frecuencia de vibración es de 1x r.p.m.; también 2x y 3x r.p.m. en los casos de una grave falta de alineación.
2. La amplitud de la vibración es proporcional a la falta de alineación.
3. La amplitud de la vibración puede ser alta también en sentido axial, además de radial.
4. El análisis de fase muestra lecturas de fase inestables.

La falta de alineación, aun con los acoplamientos flexibles, produce fuerzas tanto radiales como axiales que, a su vez, producen vibraciones radiales y axiales.

Uno de los indicios más importantes de los problemas debidos a falta de alineación y a ejes torcidos es la presencia de una elevada vibración en ambos sentidos, radial y axial. En general, cada vez que la amplitud de la vibración axial sea mayor que la mitad de la lectura radial más alta, hay un buen motivo de sospechar la existencia de un problema de alineamiento o eje torcido.

Los tres tipos básicos de falta de alineación en el acoplamiento son: angular, en paralelo y una combinación de ambos.

En una falta de alineación angular entre los ejes de las maquinas motriz y accionada , la vibración axial es igual a la velocidad de rotación (r.p.m.) del eje.

La falta de alineación en paralelo produce principalmente vibración radial con una frecuencia igual al doble de la velocidad de rotación del eje.

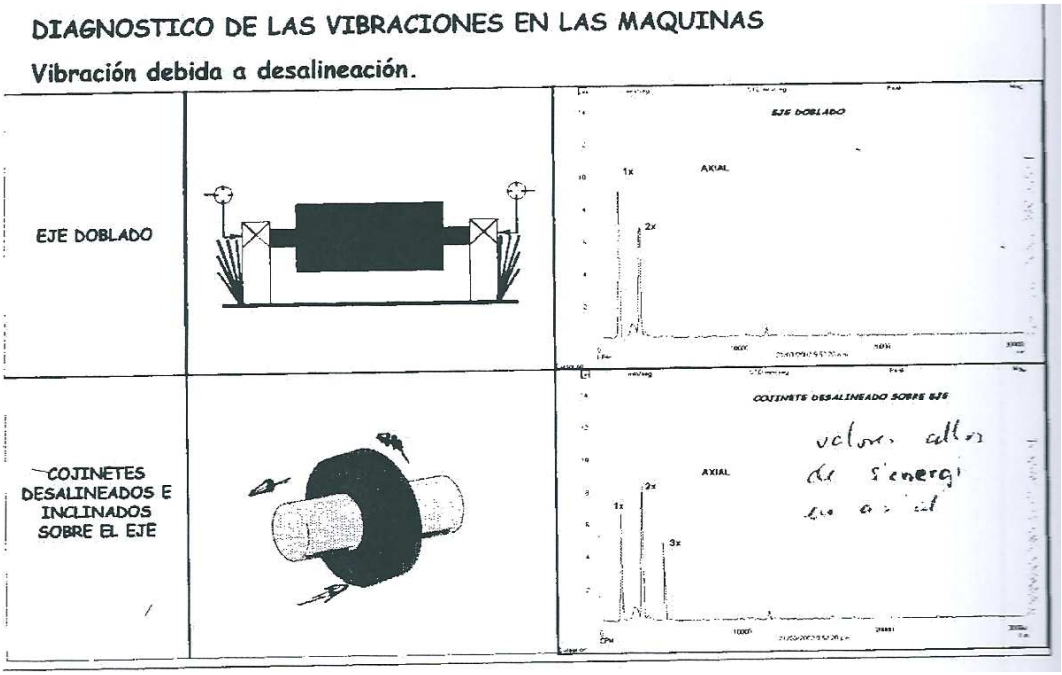


Figura 42

Figuras 42 Representa formas de desalineamiento y sus espectros definitorios.

Vibración debida a Excentricidad

La excentricidad es otra de las causas comunes de vibración en la maquinaria rotativa. Excentricidad en este caso no significa "ovalación", sino que la línea central del eje no es la misma que la línea central del rotor - el centro de rotación verdadero difiere de la línea central geométrica.

La excentricidad es en realidad una fuente común de desequilibrio, y se debe a un mayor peso de un lado del centro de rotación que del otro. Una manera de diferenciar entre desequilibrio y excentricidad en este tipo de motor es medir la vibración con filtro afuera

mientras el motor está funcionando bajo corriente. Luego, se desconecta el motor, observando el cambio de la amplitud de vibración. Si la amplitud se reduce gradualmente mientras el motor sigue girando por inercia, es muy probable que el problema sea debido a desequilibrio. Si, en cambio, la amplitud de vibración desaparece en el momento mismo en que el motor es desconectado, el problema es seguramente de naturaleza eléctrica, y es muy posible que se deba a excentricidad del inducido.

La excentricidad en rodetes o rotores de ventiladores, sopladores, bombas y compresores puede también crear fuerzas vibratorias. En esos casos las fuerzas son el resultado de fuerzas aerodinámicas e hidráulicas desiguales que actúan contra el rotor.

Elementos Rodantes Defectuosos

Defectos en las pistas, en las bolas o en los rodillos de rodamientos de elementos rodantes ocasionan vibraciones de alta frecuencia; y, lo que es más, la frecuencia no es necesariamente un múltiplo integral de la velocidad de rotación del eje. La amplitud de la vibración dependerá casi generalmente de la gravedad y de la forma y tipo de la falla del rodamiento.

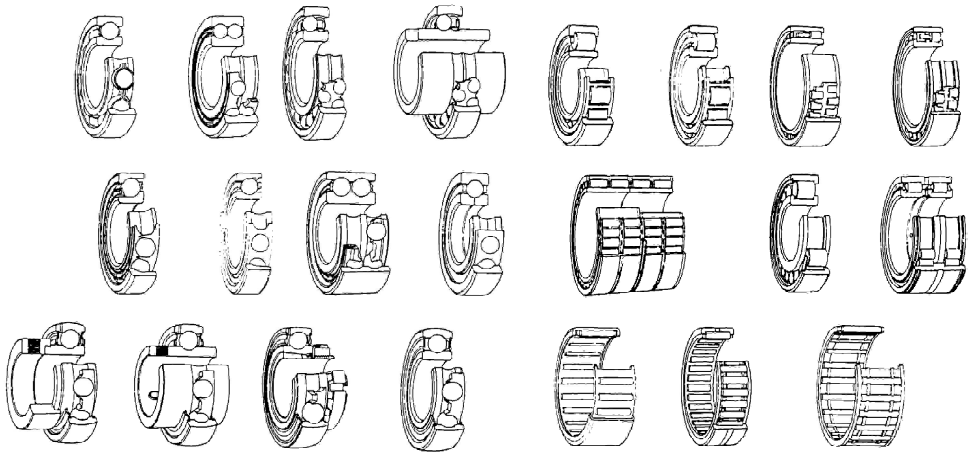


Figura 43

Figura 43 Se representan diferentes tipos de rodamientos de bolas, rodillos y agujas, con diferentes tipos de rejillas. Cada uno dará frecuencias y armónicos de vibración diferentes en función de lo que falle.

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

Fallo de Rodamientos

Los rodamientos no fallan prematuramente a menos que alguna otra fuerza actúe sobre ellos: y tales fuerzas son generalmente las mismas que ocasionan la vibración. Las causas más comunes de fallos en los rodamientos son:

- Carga excesiva, que puede ser generada por algún factor exterior de trabajo de la máquina, por ejemplo el mecanizado.
- Falta de alineación
- Defectos de asientos del eje y/o de las perforaciones en el alojamiento
- Montaje defectuoso, típico después de una reparación por ejemplo.
- Ajuste incorrecto, en los alojamientos, de la precarga si la tuviera, etc.
- Lubricación inadecuada o incorrecta. Sellado deficiente. Es decir que le haya entrado suciedad, desde el exterior o también desde el interior.
- Falsa brinelación (Deformación bajo carga)
- Corriente eléctrica

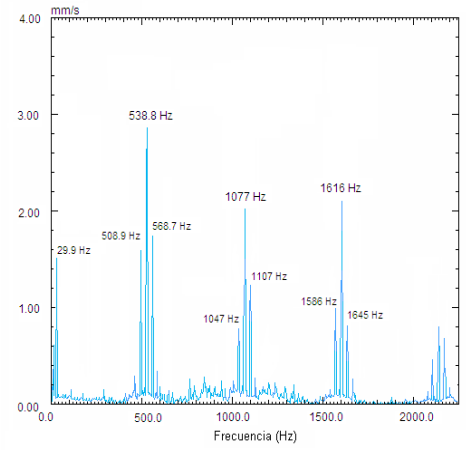


Figura 44

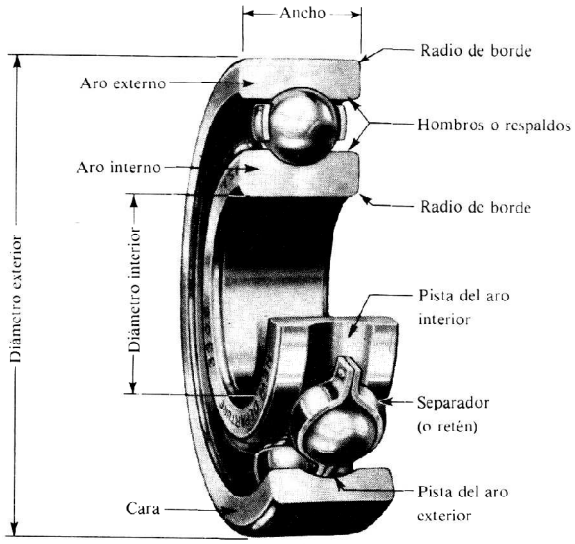


Figura 45

Figura 44 Representa un espectro típico de fallo de un rodamiento.
Figura 45 Representa un esquema típico de un rodamiento seccionado, donde se pueden ver los diferentes elementos que lo componen.

Las frecuencias o armónicos que se buscan con el análisis de vibraciones son:

- **(BSF)** FRECUENCIA DE GIRO DE BOLAS
- **(FTF)** FRECUENCIA DE ROTACIÓN DE LA JAULA
- **(BPFO)** FRECUENCIA DE PASO DE BOLA EN LA PISTA EXTERIOR
- **(BPFI)** FRECUENCIA DE PASO DE BOLA EN PISTA INTERIOR

Vibración debida a cojinetes de fricción defectuosos

Elevados niveles de vibración, ocasionados por cojinetes defectuosos, son generalmente el resultado de una holgura excesiva (causada por desgaste debido a una acción de barrido o por erosión química), aflojamientos mecánicos (metal suelto en el alojamiento), o problemas de lubricación.

- Holgura excesiva de los cojinetes

Un cojinete con holgura excesiva hace que un defecto de relativamente menor importancia, tal como un leve desequilibrio o una pequeña falta de alineación, u otra fuente de fuerzas vibratorias, se transformen como resultado de aflojamiento mecánicos o en golpes repetidos (machacado).

En tales casos el rodamiento en si no es lo que crea la vibración; pero la amplitud de la misma seria mucho menor si la holgura de los rodamientos fuera correcta.

A menudo se puede detectar un cojinete desgastado por "barrido" efectuando una comparación de las amplitudes de vibración horizontal y vertical. Las maquinas que están montadas firmemente sobre una estructura o cimentación rígida revelaran, en condiciones normales, una amplitud de vibración ligeramente más alta en sentido horizontal.

- Torbellino de aceite

Este tipo de vibración ocurre solamente en máquinas equipadas con cojinetes lubricados a presión, y que funcionan a velocidades relativamente altas - normalmente por encima de la segunda velocidad critica del motor.

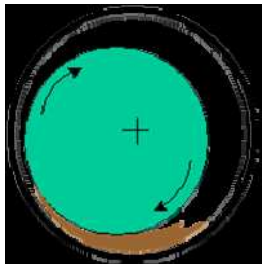


Figura 46

Figura 46 Representa la formación del torbellino de aceite. El eje de giro va "empujando la capa de aceite contra la pared exterior a medida que gira".

La vibración debida a torbellinos de aceite a menudo es muy pronunciada, pero se reconoce fácilmente por que su frecuencia es apenas menor de la mitad de la velocidad de rotación (en r.p.m.) del eje - generalmente en el orden del 46 al 48% de las r.p.m. del eje.

El problema de los torbellinos de aceite normalmente se atribuye a diseño

incorrecto del rodamiento, desgaste excesivo del rodamiento, un aumento de la presión del lubricante o un cambio de la viscosidad del aceite.

Se pueden hacer correcciones temporales modificando la temperatura del aceite (viscosidad), introduciendo un leve desequilibrio o una falta de alineamiento de manera de aumentar la carga sobre el eje, o rascando y/o ranurando los costados del cojinete, para romper la "cuña" de lubricante. Lógicamente la solución más duradera es reemplazar el cojinete con uno que haya sido diseñado correctamente de acuerdo a las condiciones operativas de la máquina, o con uno que esté diseñado para reducir la posibilidad de formación de torbellinos de aceite. Se usan las ranuras para aumentar la resistencia a la formación de torbellinos de aceite en tres puntos espaciados uniformemente. Este tipo de configuración está limitado a las aplicaciones más pequeñas, tales como turbinas de gas livianas y turbogeneradores.

Los cojinetes de lóbulos brindan estabilidad contra los torbellinos de aceite al proporcionar tres puntos ce concentración de la película de aceite bajo presión, que sirven para centrar al eje.

Los cojinetes de riñón basculante son comúnmente utilizados para las maquinas industriales más grandes, que funcionan a velocidades más altas.

Hay dos causas comunes de vibración que pueden inducir un torbellino de aceite en un rodamiento:

1.Vibración proveniente de maquinaria ubicada en las cercanías: Puede ser transmitida al0scojinetes a través de estructuras rígidas, tales como tuberías y cementaciones. A este fenómeno se le conoce como Torbellino Inducido por el Exterior.

2. Vibración ocasionada por otros elementos de las maquina misma.

Si se detecta la vibración característica del torbellino de aceite se deberá realizar una completa investigación de las vibraciones en toda la instalación, incluyendo las fuentes de vibración de máquinas vecinas, las estructuras de cimentación y las tuberías relacionadas. Se podrá así quizás descubrir una causa externa de los problemas de torbellino de aceite.

- Torbellinos de Histéresis

Este tipo de vibración es similar a la vibración ocasionada por el torbellino de aceite, pero ocurre a frecuencias diferentes, cuando el rotor gira entre la primera y la segunda velocidad crítica.

Un rotor que funcione por encima de la velocidad crítica tiende a flexionarse, o

arquearse, en sentido opuesto del punto pesado de desbalance. La amortiguación interna debida a histéresis, o sea la amortiguación de fricción, normalmente limita la deflexión a niveles aceptables. Sin embargo, cuando acontece un torbellino por histéresis, las fuerzas amortiguadoras se encuentran en realidad en fase con la deflexión, y por lo tanto, acrecientan la deflexión del motor.

Cuando dicho rotor está funcionando por encima de la primera velocidad critica pero por debajo de la segunda, el torbellino por histéresis ocurre a una frecuencia exactamente igual a la primera velocidad crítica del rotor.

⇒ La frecuencia de formación del torbellino de aceite es levemente menor de la mitad de la velocidad de rotación del rotor.

La vibración ocasionada por un torbellino por histéresis tendrá la misma características que las ocasionadas por un torbellino de aceite cuando la maquina funcionen a velocidades superiores a la segunda velocidad critica del eje. Es decir, que una severa vibración se producirá a una frecuencia levemente menor que 0.5x las r.p.m. del rotor.

El torbellino por histéresis es controlado normalmente por la acción de amortiguación provista por los rodamientos de chumacera en si. Sin embargo, cuando la amortiguación estacionaria es baja en comparación con la amortiguación interna del rotor, es probable que se presenten problemas. La solución usual para este problema es aumentar la amortiguación estacionaria de los rodamientos y de la estructura e soporte de los mismos, lo que puede lograrse instalando un rodamiento de riñón basculante o de algún rodamiento de diseño especial. En algunos casos el problema puede ser solucionado reduciendo la amortiguación dada por el rotor - sencillamente, cambiando un acoplamiento de engranajes con una versión sin fricción; por ejemplo, con un acoplamiento de disco flexible.

- Lubricación Inadecuada

Una inadecuada lubricación, incluyendo la falta de lubricación y el uso de lubricantes incorrectos, puede ocasionar problemas de vibración en un cojinete. En semejantes casos la lubricación inadecuada causa excesiva fricción entre el rodamiento estacionario y el eje rotante, y dicha fricción induce vibración en el rodamiento y en las demás piezas relacionadas. Este tipo de vibración se llama "dry whip", o sea látigo seco, y es muy parecido al pasar de un dedo mojado sobre un cristal seco.

La frecuencia de la vibración debida al látigo seco generalmente es muy alta y produce el sonido chillón característico de los rodamientos que están funcionando en seco. No es muy probable que dicha frecuencia sea algún múltiplo integral de las r.p.m. del eje, de manera que no es de esperarse ningún patrón significativo bajo la luz estroboscópica. En este

respecto, la vibración ocasionada por el látigo seco es similar a la vibración creada por un rodamiento antifricción en mal estado.

Toda vez que se sospeche que un látigo seco sea la causa de la vibración se deberá inspeccionar el lubricante, el sistema de lubricación y la holgura del cojinete.

Vibración debida a Aflojamiento Mecánico

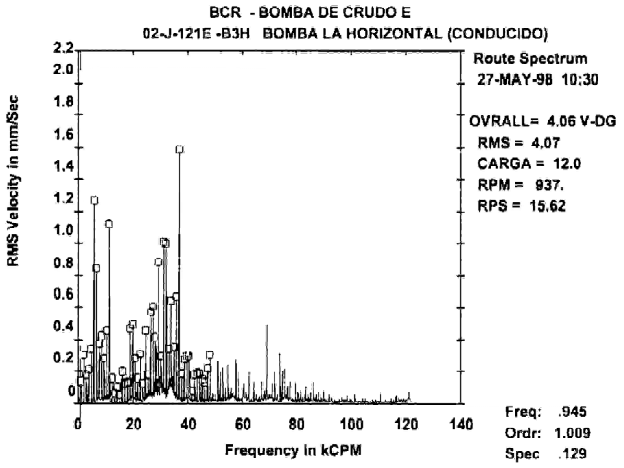


Figura 47

El aflojamiento mecánico y la acción de golpeo (machacado) resultante producen vibración a una frecuencia que a menudo es 2x, y también múltiplos más elevados, de las r.p.m. La vibración puede ser resultado de pernos de montaje sueltos, de holgura excesiva en los rodamientos, o de fisuras en la estructura o en el pedestal de soporte.

Figura 47 Representa el espectro totalmente lleno de frecuencias y armónicos con el golpeteo del amarre suelto

La vibración característica de un aflojamiento mecánico es generada por alguna otra fuerza de excitación, como un desequilibrio o una falta de alineamiento. Sin embargo, el aflojamiento mecánico empeora la situación, transformando cantidades relativamente pequeñas de desequilibrio o falta de alineamiento en amplitudes de vibración excesivamente altas. Corresponde por lo tanto decir que el aflojamiento mecánico permite que se den mayores vibraciones de las que ocurrirían de por sí, derivadas de otros problemas.

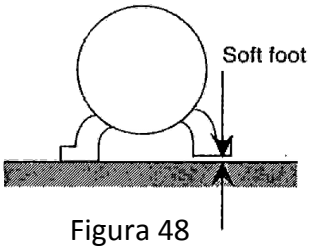


Figura 48

⇒ Un aflojamiento mecánico excesivo es muy probable que sea la causa primaria de los problemas cuando la amplitud de la vibración 2x las r.p.m. es más de la mitad de la amplitud a la velocidad de rotación, 1x las rpm.

Vibración debida a las correas de mando

Las correas de accionamiento del tipo en "V" gozan de mucha popularidad para la transmisión del movimiento, puesto que tienen una alta capacidad de absorción de golpes, choques y vibraciones.

Los problemas de vibración asociados con las bandas en "V" son clasificados generalmente por:

- Reacción de la correa a otras fuerzas, originadas por el equipo presente, que causan alteraciones.
- Vibraciones creadas por problemas de la banda en sí.

FRECUENCIA DE PASO. Esta única frecuencia está generada por la velocidad real de la correa y puede ser calculada para cualquier sistema de transmisión:

$$\text{Paso de correa} = \frac{d * \pi * N}{\text{longitud de correa}}$$

Donde:

- Longitud de la correa = $2L + d1 \cdot \pi/2 + d2 \cdot \pi/2$
- d1 = diámetro de la polea conductora en pulgadas
- d2 = diámetro de la polea conducida en pulgadas
- L = distancia entre centros en pulgadas
- N = Velocidad real de giro del eje conductor en Hz

En este ejemplo han aparecido armónicos a 2,3,4 veces el Paso de correa, señal que el fallo está en una o varias correas (figura 49)

1xRPMCORREA = 1 x 304.57 = 304.57 RPM (5.08 Hz)
2xRPMCORREA = 2 x 304.57 = 609.14 RPM (10.15 Hz)
3xRPMCORREA = 3 x 304.57 = 913.71 RPM (15.23 Hz)
4xRPMCORREA = 4 x 304.57 = 1 218.2 RPM (20.30 Hz)

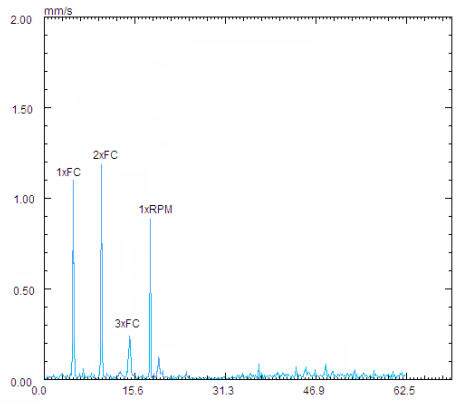


Figura 49

Figura 49 Representa la identificación de las diferentes frecuencias de un problema con las correas

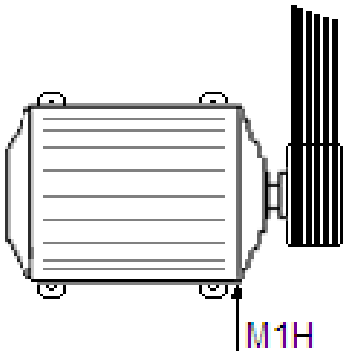


Figura 50 Punto de medición

Figura 50 Representa el montaje de las correas en la polea del lado motor.

Las correas en "V" son consideradas a menudo como fuente de vibración porque es tan fácil ver las bandas que saltan y se sacuden entre poleas. Por lo general, el reemplazo de las bandas es a menudo una de las primeras tentativas de corrección de los problemas de vibración.

Vibración debida a Problemas de Engranaje

La vibración que resulta de problemas de engranaje es de fácil identificación porque normalmente ocurre a *una frecuencia igual a la frecuencia de engrane de los engranajes - es* decir, la cantidad de dientes del engranaje multiplicada por las r.p.m. del engranaje que falla**.** FRECUENCIA DE ENGRANE (GMF): Es la frecuencia más comúnmente asociada con engranajes y es igual al producto del nº de dientes por la velocidad del eje.

Problemas comunes de los engranajes, que tienen como resultado vibración a la frecuencia de engrane, comprenden el desgaste excesivo de los dientes, inexactitud de los dientes, fallas de lubricación y materias extrañas atrapadas entre los dientes.

A continuación presentamos un ejemplo de análisis de detección de falo en un diente de engranaje.

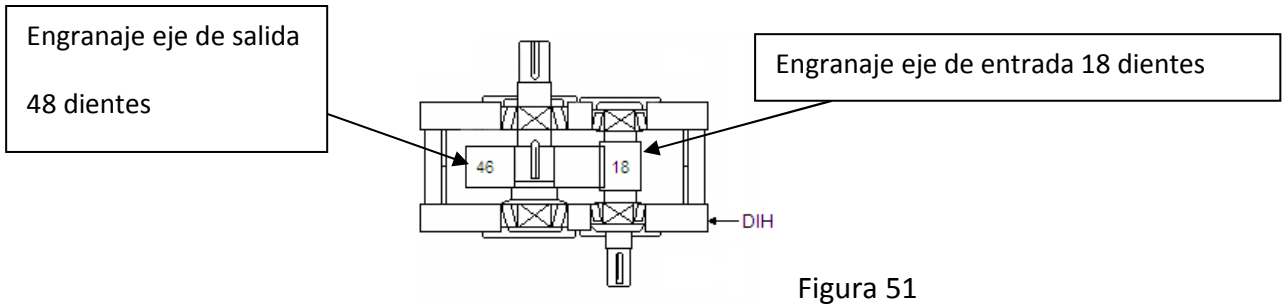


Figura 51

Figura 51 Representa el esquema de un engranaje con los datos para introducir en el software de análisis

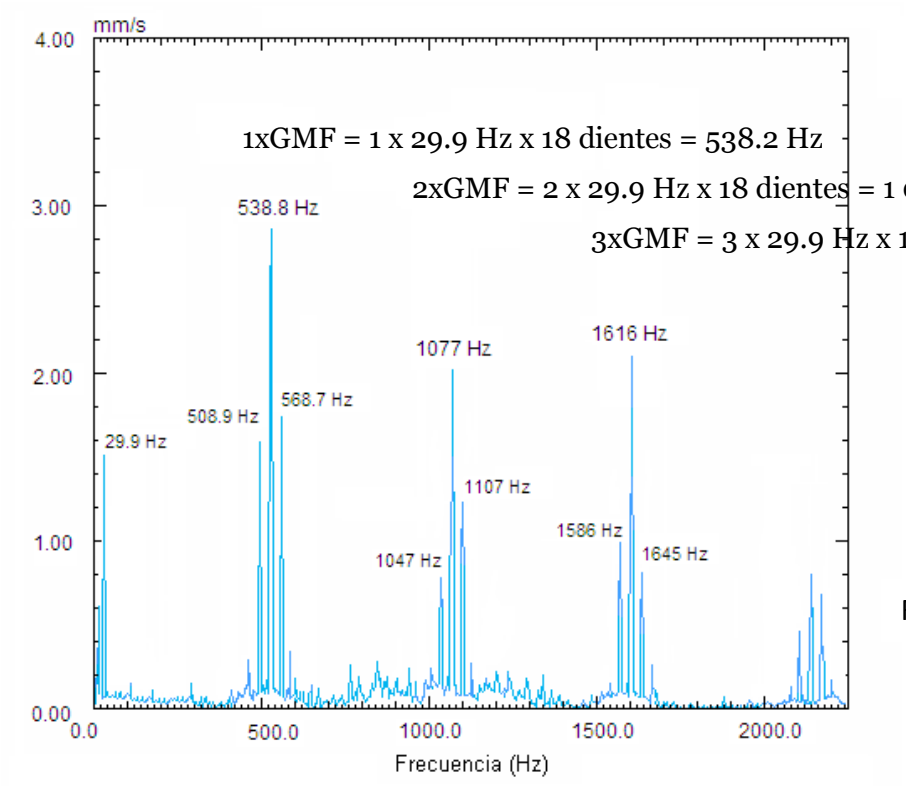


Figura 52

Figura 52 Representa un espectro típico de problema en un engranaje en el que el software de análisis ha identificado las distintas frecuencias.

No todos los problemas de engranajes generan frecuencias de vibración iguales a las frecuencias de engrane. Si un engranaje tiene un solo diente roto o deformado, por ejemplo, el resultado puede ser una frecuencia de vibración de 1x las rpm. Mirando la forma de onda de esa vibración en un analizador, la presencia de señales de impulso permitirá distinguir entre este problema y las demás averías que también generan frecuencias de vibración de 1x las r.p.m. Desde luego, si hay más de un diente deformado, la frecuencia de vibración es multiplicada por una cantidad correspondiente.

La amplitud y frecuencia de vibración debida a los engranajes pueden también parecer erráticas a veces. Dicho tipo de vibración errática ocurre normalmente cuando un conjunto de engranajes está funcionando en condiciones de carga muy liviana. En tales condiciones la carga puede desplazarse repetidamente de un engranaje a otro de modo irregular.

Cuanto mejor documentos la base de datos del software más nos podrá ayudar, como siempre. Si el problema persistiera lógicamente es conveniente un análisis mas profundo, del diseño, tipo de engranaje, etc.

Las técnicas de control de banda estrecha son ideales para detectar problemas incipientes del tipo de los aquí descritos. Deberá establecerse una banda estrecha que incluya, al menos, cinco bandas laterales a cada lado de la frecuencia de engrane. Por ejemplo un montaje de engranajes con un eje girando a una velocidad de 20 Hz y una frecuencia a 200 Hz deberá tener una banda estrecha con un límite inferior fijado a 100 Hz (20 Hz x 5) y un límite superior fijado a 300 Hz. Este tipo de banda estrecha permitirá detectar automáticamente cualquier incremento en la energía generada en el montaje de engranajes y, por lo tanto, cualquier cambio en sus condiciones de funcionamiento. No obstante, estos datos no siempre determinarán la causa raíz del fallo, haciendo necesario un análisis manual completo.

Vibración debida a Fallos Eléctricos

Este tipo de vibración es normalmente el resultado de fuerzas magnéticas desiguales que actúan sobre el rotor o sobre el estator. Dichas fuerzas desiguales pueden ser debidas a:

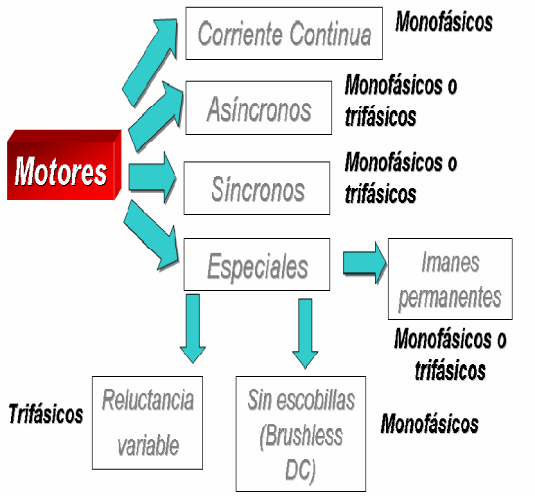


Figura 53

- Rotor que no es redondo
- Los diámetros de ajuste del inducido de ambos extremos son excéntricas
- Falta de alineación entre el rotor y el estator; entrehierro no uniforme.
- Perforación elíptica del estator
- Devanados abiertos o en corto circuito
- Hierro del rotor en corto circuito

Figura 53 Se representan los diferentes tipos de motores para tenerlos en cuenta en el análisis

Las vibraciones ocasionadas por los problemas eléctricos responden generalmente a la cantidad de carga colocada en el motor. A medida que se modifica la carga, la amplitud y/o las lecturas de fase pueden indicar cambios significativos. Esto explica por qué los motores eléctricos que han sido probados y equilibrados en condiciones sin carga muestran cambios drásticos de los niveles de vibración cuando vuelven a ser puestos en servicio.

Los motores más comúnmente utilizados en la industria son los síncronos y los asíncronos.

MOTORES SÍNCRONOS

La velocidad de giro de un motor sincrónico estará dada por la siguiente ecuación

$$n = \frac{60 * f}{p}$$

Donde:

f: Frecuencia de la red a la que está conectada el motor (Hz)

p: Número de PARES de polos que tiene el motor (número adimensional)

n: Velocidad de sincronismo del motor (revoluciones por minuto)

Esta ecuación nos ayudara a determinar a la velocidad que gira el motor y por lo tanto a determinar la frecuencia de análisis de los posibles problemas que pudiera tener.

MOTORES ASÍNCRONOS

La diferencia entre la velocidad sincrónica y la velocidad real de rotación del motor asincrónico se le llama "Frecuencia de deslizamiento"

Los problemas eléctricos más comunes de los motores asíncronos son:

- Excentricidad estática:

Esta se presenta cuando los ejes del rotor y del estator están desalineados en forma paralela.

- Excentricidad dinámica:

En este caso, el rotor mismo no es concéntrico con su línea de centros, por lo que produce diferencias en el entrehierro entre rotor y estator.

- Rotor con barras rotas:

Presenta síntomas similares al rotor con excentricidad dinámica

En líneas generales, la frecuencia de vibración resultante de los problemas de índole eléctrica será 1 x r.p.m., y por tanto se parecerá al desequilibrio. Una manera sencilla de hacer la prueba para verificar la presencia eventual de vibración eléctrica es observar el cambio de la amplitud de la vibración total (filtro fuera) en el instante en el cual se desconecta la corriente de esa unidad. Sí la vibración desaparece en el mismo instante en que se desconecta la corriente, el problema con toda posibilidad será eléctrico. Si solo decrece gradualmente, el problema será de naturaleza mecánica.

Resumen

Para los interesados que no dispongan de los equipos de medición propios, y por lo tanto de una capacidad de avanzar en el conocimiento de esta técnica, consideramos que hemos aportado la suficiente información para que tengan una idea completa de cómo se desarrolla esta importante Técnica del Mantenimiento Predictivo en la realidad industrial.

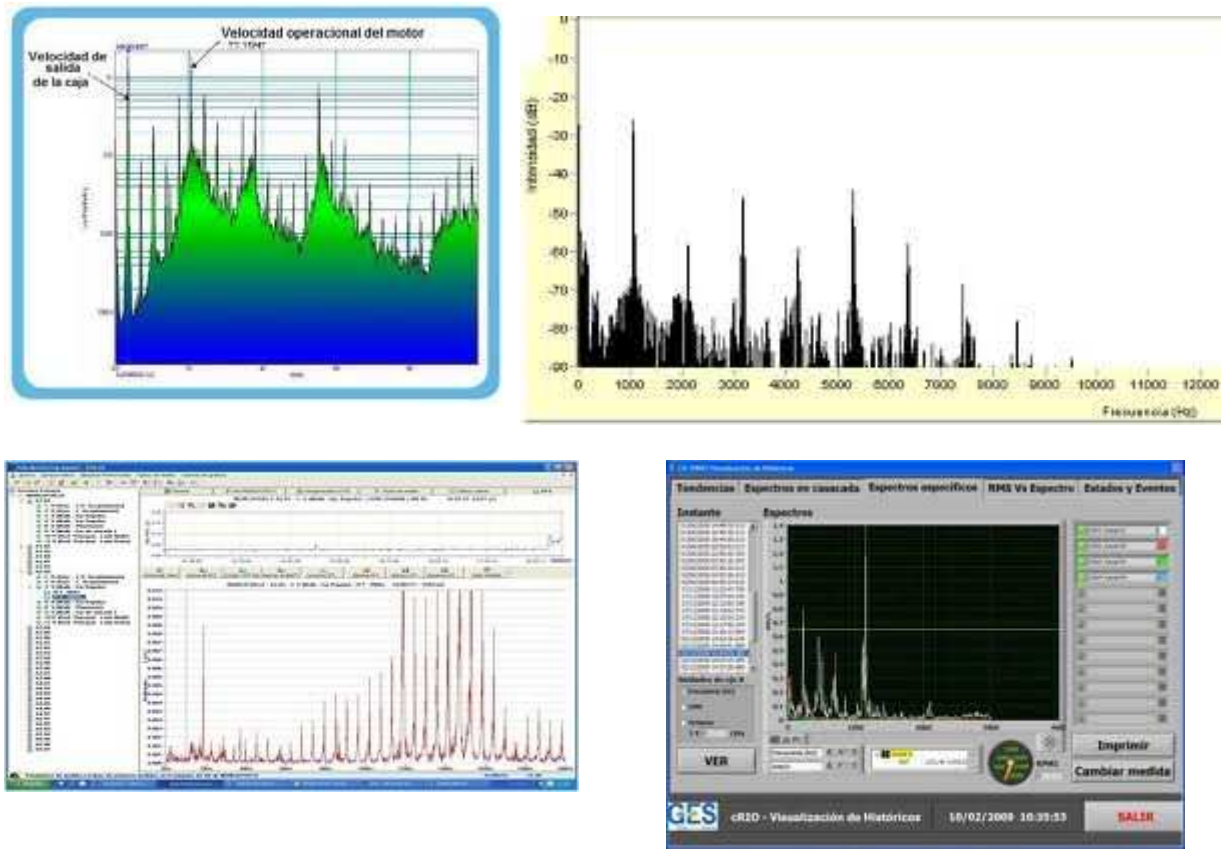


Figura 54

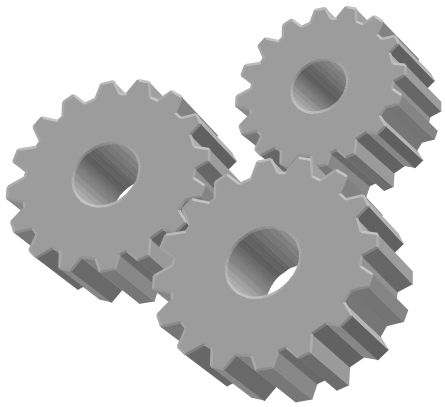
Figura 54 Se representan diferentes formas de presentación de espectros en función de distintos equipos, marcas etc.

Con las diapositivas que hemos ido ubicando junto al texto hemos pretendido enseñar las diferentes formas de presentación para el análisis, que son parte también de las que nos podemos encontrar en el mercado.

PROYECTO

METODOLOGIA DE IMPLANTACION PARA EL DESARROLLO DE LA FUNCION MANTENIMIENTO EN UNA EMPRESA O REINGENIERIA DE MANTENIMIENTO

DESARROLLO



Autor: Ramon Arizaga Arcelus

DESARROLLO

7. SISTEMÁTICA DE IMPLANTACIÓN O REINGENIERÍA DEL MANTENIMIENTO

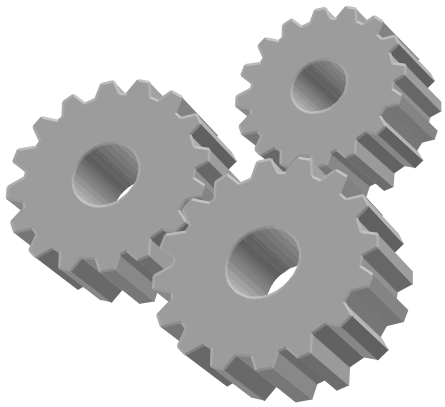
8. DESARROLLO PRÁCTICO.

9. ESTUDIO DE COSTES DE IMPLANTACIÓN

PROYECTO

METODOLOGIA DE IMPLANTACION PARA EL DESARROLLO DE LA FUNCION MANTENIMIENTO EN UNA EMPRESA O REINGENIERIA DE MANTENIMIENTO

DESARROLLO DE IMPLANTACION



Autor: Ramon Arizaga Arcelus

7.- SISTEMÁTICA DE IMPLANTACIÓN

PRESENTACIÓN

Aunque gracias al trabajo de la AEM tenemos los estudios que nos sirven como verdadero estudio de mercado, es preciso, a nuestro modo ver, hacer un análisis del escenario en el que se encuentran inmersas las empresas actualmente.

De una parte, desde los años 50 y todavía hoy, las empresas reciben inputs con diferentes sistemas de organización industrial donde normalmente además cada nuevo sistema viene siendo mejor que los anteriores o presentan versiones mejoradas. En cierto modo no ha dejado de ser un paradigma de siglas: TQM, TPM, JIT, Terotecnología, 6 Sigma, 5S, etc.

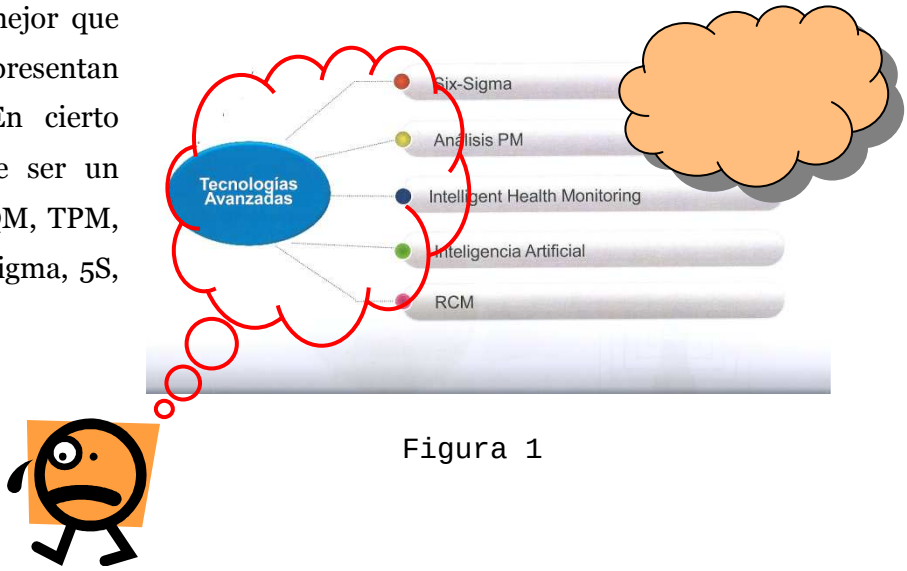


Figura 1

Por otra parte, en los inicios de la década de 2000, la globalización y la oferta cada vez más importante de productos fabricados en los países llamados de "bajo coste", obligo a las empresas a buscar la diferenciación a través de la innovación, flexibilidad productiva y capacidad de integración como mejora de servicio.

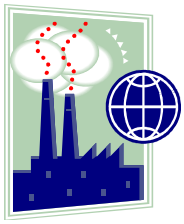


Figura 2

Más tarde ha llegado la crisis, que parece no va a ser pasajera sino tal vez un catalizador hacia nuevas formulas, organizaciones, etc. Por lo tanto parece primordial tener una organización capaz de evolucionar rápidamente para adaptarse lo más rápidamente posible a los cambios que los nuevos horizontes vayan deparando.



Figura 3

Figuras 1 -2-3 Representan la difícil situación que atraviesa el sector industrial y la dificultad de aplicar una metodología concreta de Desarrollo de la Función Mantenimiento debido al gran bombardeo de siglas y métodos que existen en el mercado.



En este panorama, trataremos, para empezar, de responder a las razones por las que es necesario Desarrollar el presente Proyecto:

Figura 4

1. Por la necesidad de demostrar en términos económicos, que el Mantenimiento Industrial es un sistema productivo y una fuente de beneficios empresariales. Es decir mejorar la Competitividad.

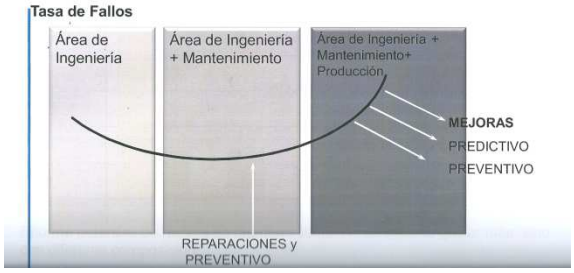
2. Por la gran diversidad de enfoques de Mantenimiento: Preventivo, Predictivo, T.P.M., R.C.M., Terotecnología, T.Q.M., etc. ¿Qué combinación es la adecuada para nuestra Empresa?. Es decir necesitamos aclarar paradigmas.

   Terotecnologia: Se trata de la aplicación de métodos de gestión y tecnológicos para mejorar la fiabilidad y mantenibilidad de los activos.

3. Por la difícil transición de un sistema de Mantenimiento Correctivo a un Modelo Planificado ¿Cómo justificar una parada programada de una instalación industrial en condiciones de máxima saturación productiva o fabricación sobre pedido?. Esta es una de las tareas más complicadas.

Figura 5

4. Por el tradicional antagonismo entre diversas funciones operativas de la empresa: Mantenimiento-Fabricación-Ingeniería. Además de las dificultades del punto anterior falta un enfoque en el que se englobe LCC + Mantenibilidad + Visión Usuario



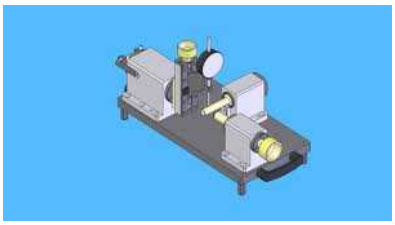


Figura 6

5. Por la gran incidencia en la Calidad, un sistema avanzado de Mantenimiento tiene que ser una organización cuyo cometido sea la gestión integral de activos.

Es decir necesitamos reorientar los habituales "modus operandi" en los que habitualmente está atrapado Mantenimiento, evolucionar del concepto de Departamento de Mantenimiento al concepto de Función Mantenimiento.

Figura 4 Representa la luz a través del Método del Método de Implantación que proponemos.
Figura 5 Representa la Curva de la Tasa de Fallos de una Máquina, comúnmente llamada Curva de la Bañera. Tiene esa forma debido a que la tasa de fallos es más elevada al principio, conocida como mortalidad infantil, luego cuando se asientan los diferentes elementos baja, y se mantiene baja en función de lo que se cuide y al final de la vida de la máquina va subiendo progresivamente debido a su envejecimiento. El LCC tiene relación directa con esta curva.
Figura 6 Representa el método de medir las holguras en los cabezales, ejes y carros de una máquina en una actuación de Mantenimiento Preventivo.

Un esquema clásico de funcionamiento en la industria es el siguiente:



Figura 7

A tenor de lo que la figura 7 expresa y de las conclusiones de las encuestas de la AEM, podríamos decir que Mantenimiento habitualmente está atado de pies y manos. Hemos descrito las razones coyunturales del entorno industrial y necesidad de mejora de la gestión de Mantenimiento por la consideramos necesario este Proyecto de Desarrollo de la Función Mantenimiento, es ésta la primera que citamos Función en el presente capítulo, a pesar de haber hablado ya de Mantenimiento en el contexto industrial. Cuando hablamos de Función Mantenimiento nos referimos al conjunto de actividades: directas y propias del propio departamento como Mantenimiento Preventivo, Predictivo, De Urgencia, directas de otros departamentos como el Mantenimiento Autónomo, indirectas propias del departamento como análisis de fallos, planteamiento de mejoras, mejora continua de los procesos de mantenimiento, etc., indirectas relacionadas con otros departamentos como Prevención del Mantenimiento, y de gestión como el control del Gasto de Mantenimiento.

Como suele comentar un reconocido experto en Mantenimiento: *"La Función Mantenimiento es tal vez el conjunto de actividades que cubren la mayor gama de tecnologías y especializaciones de la empresa en un solo departamento: conocimientos de ingeniería básica y de taller, métodos de gestión, fundamentos de ingeniería de costes, planificación, relaciones humanas y otras áreas. Es la actividad industrial de tipo horizontal por excelencia, debido a su extensión multidisciplinar".*

Utilizando el símil de función matemática, que evidentemente está asociada al concepto de variable. Podríamos decir que cuando se habla de Mantenimiento referido únicamente al gasto de Mantenimiento, etc., se refiere a una variable independiente o mejor dicho incontrolada, por lo que las averías, problemas, etc. escaparan de nuestro control, porque parecen independientes a nuestro modo de operar. Por el contrario si hablamos de Función Mantenimiento nos referimos a una función de variable dependiente, o controlada mejor dicho, donde las variables independientes se conocen a través del GMAO y el Mantenimiento Predictivo. Por lo tanto tendremos bajo control tanto las posibles incidencias así como el Coste de Mantenimiento (Función).

METODOLOGÍA DE LA IMPLANTACIÓN

PARTICULARIDADES DEL SISTEMA QUE PROPONEMOS

A continuación describiremos la misión de un Proyecto de Desarrollo de La Función Mantenimiento:

⇒ Ofrecer una orientación práctica para establecer un Plan de Desarrollo de la Función Mantenimiento, dentro del contexto económico empresarial mencionado, con el criterio de rentabilidad como objetivo fundamental a optimizar.



Figura 8

Esta es la razón por la que hemos presentado una explicación extensa de los Costos de Mantenimiento en el capítulo de Conceptos. Ya vamos viendo a qué nos referimos cuando hablamos de La Función Mantenimiento.

Como toda Misión descrita en cualquier manual de calidad de Empresa queda muy bonita, la cuestión es ¿cómo se consigue?:

⇒ Mediante el desarrollo de un programa integral de Implantación. El cual podemos también denominar como de Reingeniería de La Función Mantenimiento.

Existen en el mercado muchas empresas consultoras que se dedican a lo mismo y que argumentan lo mismo que lo que nosotros hemos expuesto ahora. ¿Qué distingue el método que proponemos de otros métodos propuestos por otras consultorías?:

⇒ ***La diferencia fundamental del método de Desarrollo que nosotros proponemos reside en la Implantación de las alternativas de solución que resultan de la auditoria inicial.***

Lógicamente el punto de partida, como en la mayoría de las Consultorías, está en el Diagnóstico/Auditoría inicial. Aparte de revelar las condiciones reales existentes de organización y gestión, representa un auténtico Estudio de Viabilidad de Optimización de La Función Mantenimiento. El problema no es detectar las deficiencias actuales, sino plantear alternativas de solución viables y más aún implementarlas con éxito. La presentación de alternativas, en mayor o menor grado lo ofertan la mayoría de las consultoras, sin embargo en nuestro caso la gran diferencia reside en que:

Figura 9



⇒ El Proyecto de Optimización lo realiza el personal del Centro Productivo, bajo la supervisión y administración de objetivos de nuestros consultores; nuestro enfoque es fundamentalmente formativo. Es un proyecto de Recursos Humanos, aparte de su contenida tecnológico y organizativo. Proyectos tipo "*Llave en Mano"* de reorganización suelen ser rechazados por el personal debida a la imposición externa. La gente no se resiste al cambio, sino a ser cambiada. Consideramos que el Modelo Participativo como el eje vertebrador para el cambio.

⇒ El Plan de Trabajo es realista en atención a la cultura tecnológica, de gestión, tipo de Producción y demás factores particulares de cada Empresa. La misión del Proyecto se predefine en cada caso. Como decía siempre el consultor del JITPM con el que tuve el honor de trabajar "Es necesario que pensemos continuamente en el taller"

En el cronograma de actividades del Proyecto de Implantación contemplamos la flexibilidad de la Consultoría, con posibilidad de modificar el contenido, teniendo en cuenta la realidad productiva de la Planta que tiene la máxima prioridad. Los objetivos que se asignan a los integrantes del Grupo de Trabajo interno del Centro de Trabajo no deben influir negativamente en el desempeño laboral diario del personal. Es preferible lograr un avance más lento y sólido en el cumplimiento de objetivos, que abrumar la plantilla con nuevos métodos de gestión, que pueden convertirse en una moda pasajera, inútil y con escasa aplicabilidad.

⇒ Los Proyectos que se desarrollan con el sistema que proponemos son de relativamente corta duración, entre 6 y 12 meses de promedio, planteando un período de supervisión periódica posterior. El personal queda con plena aptitud para continuar desarrollando la Mejora Continua. Los resultados no sufren involución, el Now How queda en casa.

Los efectos de mejora de gestión se observan en pocas semanas al haberse iniciado el Proyecto. Los resultados económicos globales mejoran sensiblemente en uno a dos años después de la implantación del Proyecto. Es irrelevante si, por política de la Empresa, se opta en menor medida por la subcontratación o se decide potenciar la plantilla propia, aunque entendemos que es necesario un cierto criterio.



Figura 10

Figura 11



⇒ El Modelo Participativo en que se basa el sistema que proponemos involucra directa e indirectamente una gran parte del colectivo, a distintos niveles y áreas, no sólo en la Sección de Mantenimiento. Su poder motivacional se observa desde la primera semana, ya que el Grupo de Trabajo asimila que el proyecto es "suyo". La satisfacción profesional eleva su productividad de manera considerable y la integración horizontal de diversos estamentos es muy favorecida.

En caso de necesidad de reducir, desplazar o renovar la plantilla de Mantenimiento, dicho proceso se produce paulatinamente y de manera justa y racional, sin causar riesgos para el Clima Laboral. La parte social va asumiendo el cambio y siempre se cuenta con su apoyo. El Comité de Empresa por regla general suele aceptar positivamente el Proyecto que con nuestro sistema de implantación proponemos.

Figura 10 Representa las funciones que se deben preservar para el personal interno.
Figura 11 Representa el desarrollo del proyecto sustentado en el trabajo de todos en equipo.

⇒ La condición básica es la aceptación y pleno involucramiento con compromiso ejecutivo de los Directivos de la Empresa. Que es el equivalente al Liderazgo en el EFQM.

Aún en caso de plantillas con media de edad superior a 45 años, sin una amplia preparación ni reciclaje, el Proyecto contempla posibilidades para su mayor aprovechamiento.

Aunque la Misión Fundamental es el aumento de la Efectividad Global de las instalaciones productivas (Disponibilidad - Fiabilidad - Mantenibilidad - Calidad), un Proyecto de Optimización de esta naturaleza cumple una o varias de las siguientes expectativas u objetivos consecuencia.



1. Menor Tasa de Averías y Tiempos de indisponibilidad.
2. Menor costo total de Mantenimiento, optimizando la Mano de Obra propia y/o subcontratación, inmovilizado de repuestos, medias e infraestructura tecnológica y de gestión.
3. Disminución de mermas y defectivos, mediante la mejora de métodos de Mantenimiento integrados en la Calidad.
4. Mayor viabilidad de planificación de programas productivos.
5. Mejor enfoque de Ingeniería de Diseño, control de calidad de proveedores y mayor mantenibilidad de equipos.
6. En general, mayor respuesta productiva y, por lo tanto, un mejor servicio al Cliente.
7. Mejor Clima Laboral por la implantación de métodos participativos de trabajo.

Figura 12

FASES Y PROCESO DE IMPLANTACIÓN

Después de enumerar los objetivos que vamos a abordar con La Implantación del Desarrollo de la Función Mantenimiento, es hora de enumerar las diferentes fases que nuestro sistema de implantación propone:

Figura 12 Representa el incremento de la OEE en base a los diferentes objetivos conseguidos

1. Diagnóstico/Auditoría de Mantenimiento con planteamiento de alternativas prácticas y viables de optimización.



Figura 13

Figura 14



2. Selección del (de los) grupo(s) de trabajo, formado(s) exclusivamente por el personal del Centro Productivo. Según el tamaño de la Planta, para el caso de PYME son suficientes de 2 a 4 personas a tiempo parcial.

Figura 15

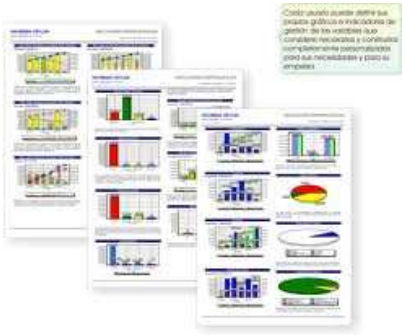
3. Análisis detallado de la organización del Departamento, número de efectivos, funciones y descripción de puestos. Alternativas de reorganización, si fuera preciso.



4. Revisión de los métodos de gestión: circuitos documentarios de Órdenes de Trabajo (OT), Boletines de Inspección (BI) de Gamas Preventivas (GP), Vales de Almacén y otros. Optimización y/o creación de nuevos procedimientos.

Figura 16

5. Informatización de la Gestión. Desarrollo propio o adquisición de un paquete comercial de Gestión de Mantenimiento Asistida por Ordenador (G.M.A.O.), previa selección con la participación de diversos estamentos interesadas de la Planta.



Las figuras 13 y 14 Representan la presentación del informe de auditoria y la formación de los equipos de proyecto
Figura 15 Representa la organización de la Función Mantenimiento a través de el manual de Mantenimiento.
Figura 16 Representa los informes que el GMAO debe proporcionarnos para gestionar La Función mantenimiento.

6. Desarrollo del sistema de G.M.A.O. Bases de datos, tablas, alta de activos con arborescencia codificada, introducción de información y obtención de Informes de Gestión.

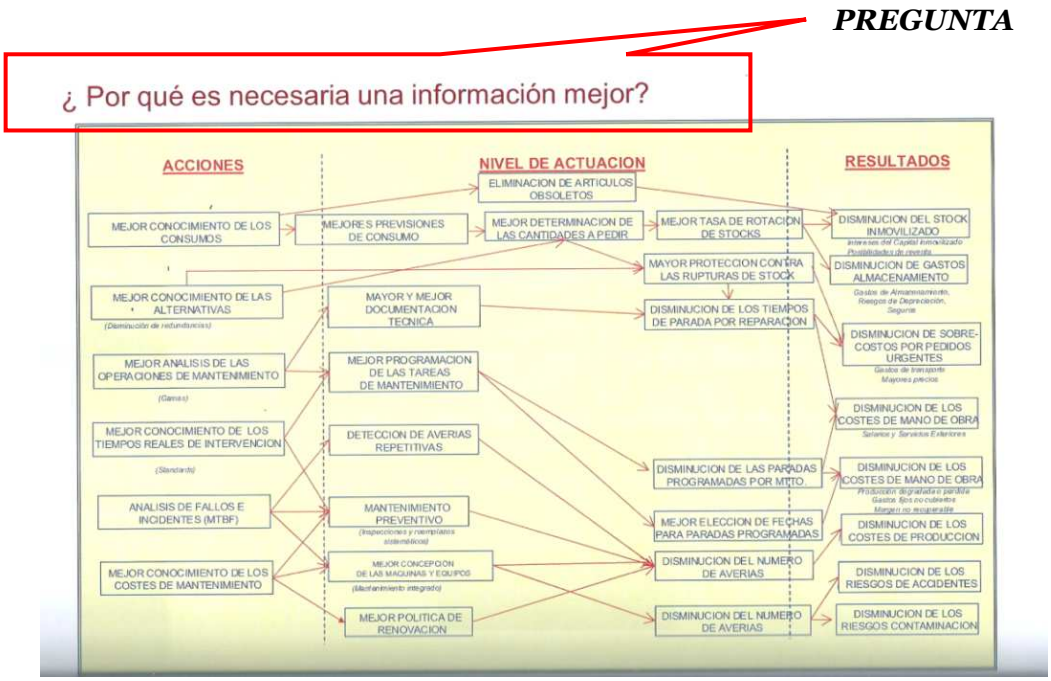


Figura 17

La respuesta está en la figura 17, sus implicaciones son evidentes, en la presente diapositiva la respuesta se aglutina en tres bloques: Acciones, Organización, Resultados. Estos últimos son la respuesta a la pregunta, sin embargo la dificultad reside en implementar con éxito los dos primeros bloques. Una respuesta rápida y de "Perogrullo" sería *por todo*. Dicho de forma pasiva como reza en un slogan que circula por la red de internet: lo que no se mide no se puede gestionar.

7. Creación del Sistema de Mantenimiento Preventivo o mejora del existente. Depuración de Gamas. Circuito documentario de control de eficacia del Mantenimiento Preventivo. Racionalización de Prácticas Operativas e intervalos de inspección.

8. Optimización del Almacén de Repuestos. Mejora de métodos administrativas de control. Práctica operativa de uso, en el caso de Almacén de Autoservicio.

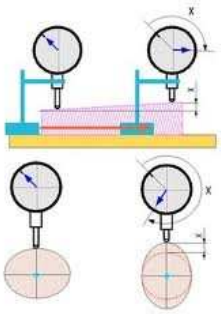


Figura 18

Figura 18 Representa la forma de medición de desgastes y holguras en Mantenimiento Preventivo.

Integración del sistema central de control de repuestos con el sistema de G.M.A.O.

9. Desarrollo de la función de Ingeniería de Mantenimiento o Área de Reformas o Mejoras. Preceptos técnicos y justificación económica de Mejoras.
10. Introducción de nuevos sistemas integrados de gestión: Mantenimiento autónomo, T.P.M., R.C.M.
11. Integración del Mantenimiento en el Sistema de Calidad (Calidad Total ó T.Q.M.).

A continuación pasamos a desarrollar cada una de las fases de Implantación que hemos descrito:

1. AUDITORÍAS DE LA FUNCIÓN MANTENIMIENTO

Existen varias posibilidades para la realización de la auditoria de La Función Mantenimiento, dependiendo del enfoque que se le pretenda dar, en cualquier caso tienen una misión común.

MISIÓN

Un Proyecto de Optimización de Mantenimiento Industrial debe basarse en un diagnóstico objetivo de las condiciones iniciales de organización y gestión de recursos de la Función Mantenimiento, con el fin de proponer alternativas viables de mejora.

Actualmente existen diversos enfoques de gestión, muchos de ellos complementarios, cuya adecuada elección puede conducir al éxito, pero también al fracaso. Cada tipo de industria y sector productivo tienen sus particularidades. Sobre todo es imprescindible determinar en qué contexto de la gestión general de la Empresa debe desarrollarse la Función Mantenimiento. Además, la política laboral y la situación de Recursos Humanos influyen de manera decisiva en la viabilidad de cierto enfoque de Mantenimiento.

Asimismo, los objetivos específicos de optimización no son siempre iguales.

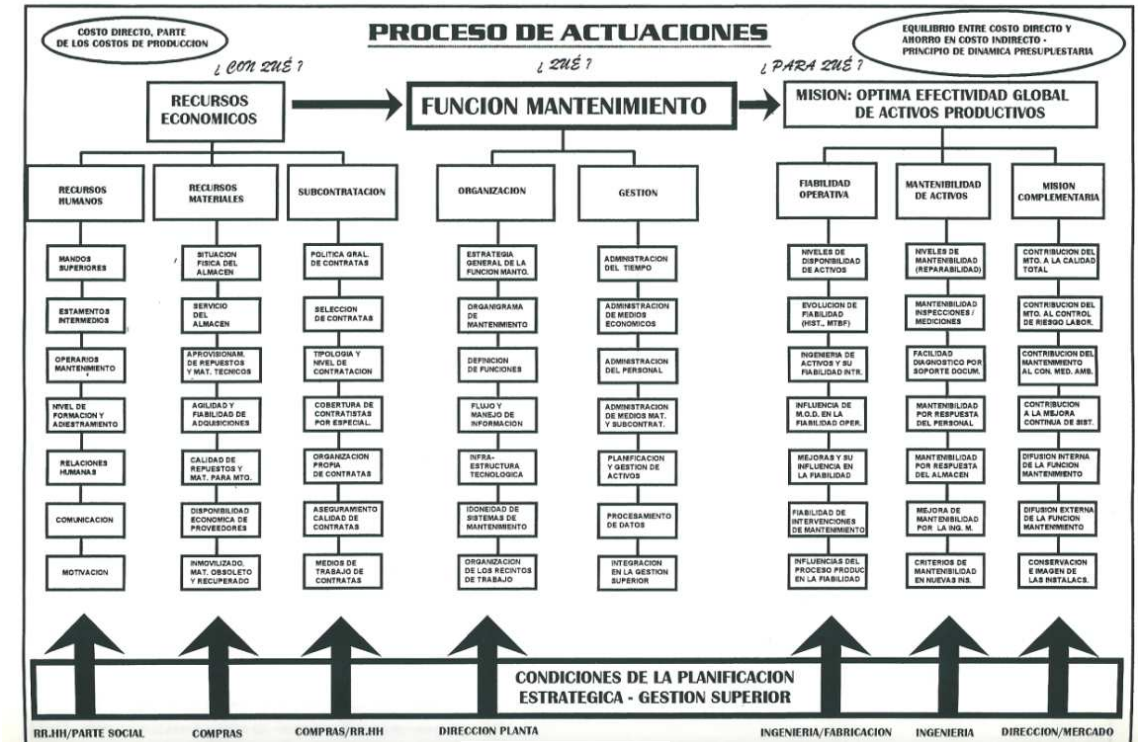


Figura 19

En la figura 19 podemos ver la relación entre los distintos estamentos de Mantenimiento, otros departamentos de la empresa, Contratas, Organización y gestión de la función Mantenimiento y sus diferentes actividades.

AUDITORÍA INTEGRAL DE MANTENIMIENTO

Representa el enfoque más amplio de diagnóstico, ya que incluye:

1. Análisis de organización y distribución de funciones.
2. Determinación de la capacidad de respuesta (aptitudes y actitudes) de la plantilla, de cara a la viabilidad de implantación de los sistemas avanzados de gestión.
3. Análisis de recursos económico/financieros, materiales y tecnológicos, así como la gestión de los mismos.
4. Análisis de la Función Mantenimiento en el contexto de otras funciones operativas: Calidad, Producción e Ingeniería.

En la figura 20 situada debajo presentamos un organigrama genérico de la Función Mantenimiento, que nos puede orientar hacia donde debe enfocarse el proyecto de Desarrollo de La Función Mantenimiento.

En la figura 20 presentamos las funciones del recurso humano: Técnica, Ejecutiva y

Planificación. Están asociadas tareas a realizar y sus relaciones interdepartamentales o intradepartarmentales:

ORGANIZACION FUNCIONAL GENERICA

GESTION DE LA FUNCION MANTENIMIENTO

FUNCIONES A CUBRIR ORGANIZATIVAMENTE	AREAS DE ACTUACION	PUESTO HABITUAL	CONEXION FUNCIONAL
RECURSOS MATERIALES	APROVISIONAMIENTO	COMPRADOR/ACOPIADOR MTO.	DPTO. CENTRAL DE COMPRAS
	ALMACEN DE REPUESTOS	ALMACENERO	JEFE DE MANTENIMIENTO
FUNCION TECNICA	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	INSPECTOR/OFICIAL MP	AREA EJECUTIVA MTO.
	MANTENIMIENTO PREDICTIVO	INSPECTOR/OFICIAL MPr	AREA EJECUTIVA MTO.
	INGENIERIA DE MANTENIMIENTO	INGENIERO/TECNICO DE MTO.	INGENIERIA DE DISEÑO
	ASEGURAMIENTO DE CALIDAD	INGENIERO/TECNICO DE MTO.	SUBCONTRATAS, PERSONAL MTO.
	FUNCIONES COMPLEMENTARIAS	INGENIERO/TECNICO DE MTO.	ASPECTOS LEGALES, PREVENCION RIESGOS LABORALES ETC.
FUNCION EJECUTIVA	REPARACIONES DE EMERGENCIA	ENCARGADO/ JEFE EQUIPO /OFICIAL DE MANTENIMIENTO	FABRICACION/PRODUCCION
	MANTENIMIENTO PLANIFICADO	ENCARGADO/ JEFE EQUIPO /OFICIAL DE MANTENIMIENTO	FABRICACION/PRODUCCION
	REALIZACION DE MEJORAS	ENCARGADO/ JEFE EQUIPO /OFICIAL DE MANTENIMIENTO	INGENIERIA Y OTROS
FUNCION PLANIFICACION	ADMINISTRACION DE G.M.A.O.	PLANIFICADOR/ ADMINISTRADOR G.M.A.O.	JEFATURA DE MANTENIMIENTO Y OTROS ESTAMENTOS
	PLANIFICACION DE PARADAS	MANDO SUPERIOR E INTERMEDIO EN GENERAL	JEFATURA DE MANTENIMIENTO Y OTROS ESTAMENTOS
	CONTROLLING (ECONOMICO)	ADMINISTRADOR G.M.A.O.	JEFE DE MANTENIMIENTO

Figura 20

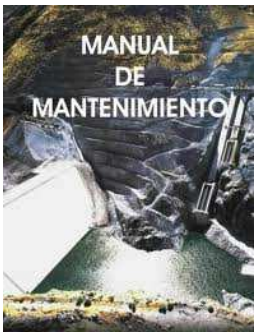


Figura 21

En la auditoria que realizamos se valoran las siguientes áreas:

1. ORGANIZACIÓN

1.1 Estrategia general de la función Mantenimiento.

1.2 Organigrama del Mto. En el contexto de la organización general.

1.3 Definición de funciones del personal de Mantenimiento.

1.4 Disponibilidad, flujo g uso de la información para Mantenimiento.

1.5 Infraestructura tecnológica.

1.6 Idoneidad de los sistemas de Mantenimiento vigentes.

1.7 Organización de los recintos de trabajo.

2. GESTIÓN.

2.1 Administración del tiempo.

2.2 Administración de medias económicas y política presupuestaria.

2.4 Administración de medios materiales y subcontratación.

2.5 Planificación y gestión de activos.

2.6 Procesamiento de datos y control de gestión.

2.7 Integración con la gestión superior y otras áreas.



Figura 22

3.RECURSOS HUMAMOS.

3.1 Mandos Superiores.

3.2 Estamentos Intermedios.

3.3 Operarios De Mantenimiento.

3.4 Nivel De Formación Y Adiestramiento.

3.5 Relaciones Humanas.

3.6 Comunicación.

3.7 Motivación.

Figura 23



4. RECURSOS MATERIALES.

4.1 Situación física del almacén de Mantenimiento.

4.2 Servicio del almacén de Mantenimiento.

4.3 Aprovisionamiento de repuestas y materiales técnicos.



Figura 24

4.4 Agilidad y fiabilidad de adquisiciones.

4.5 Calidad de repuestas y materiales para Mantenimiento.

4.6 Disponibilidad económica de los proveedores.

4.7 Inmovilizado de almacén, material recuperada y obsoleta.

5. SUBCONTRATACIÓN.

5.1 Política general de subcontratación.

5.2 Selección de subcontratistas.

5.3 Tipología de subcontratación.

5.4 Cobertura de subcontratación por especialidades.

5.5 Organización propia de subcontratistas.

5.6 Aseguramiento de calidad de trabajo subcontratado.

5.7 Medias de trabajo de subcontratistas.

6. FIABILIDAD OPERATIVA.

6.1 Adecuación de nivel de disponibilidad de instalaciones.

6.2 Evolución de fiabilidad (histórico, MTBF, otros índices).

6.3 Fiabilidad intrínseca de activos por Ingeniería de diseño.

6.4 Fiabilidad por la práctica operativa de la fabricación.

6.5 Aumento de fiabilidad por mejoras de Mantenimiento.



Figura 25

6.6 Fiabilidad de las intervenciones de Mantenimiento.

6.7 Influencia del proceso productivo en la fiabilidad.

7. MANTENIBILIDAD DE ACTIVOS.

Figura 26

7.1 Niveles de mantenibilidad física (reparabilidad).



7.2 Mantenibilidad para inspecciones y mediciones (MP y MPr).

7.3 Facilidad de diagnóstica de fallas y soporte documental.

7.4 Mantenibilidad en función del personal de Mantenimiento.

7.5 Mantenibilidad como función del servicio de almacén de Mto.

7.6 Mejoras de mantenibilidad por Ingeniería de Mantenimiento.

7.7 Mantenibilidad de nuevas instalaciones (Ingeniería de diseño).

8. MISIÓN COMPLEMENTARIA.

8.1 Contribución del Mantenimiento a la calidad total.

8.2 Contribución del Mantenimiento al control del riesgo laboral.

8.3 Contribución del Mantenimiento al control medioambiental.

8.4 Contribución a la mejora continúa de sistemas.

8.5 Contribución a la difusión interna de la función Mantenimiento.

8.6 Contribución a la difusión externa de la función Mantenimiento.

8.7 Conservación e imagen de las instalaciones.

AUDITORÍA DE MANTENIMIENTO CON ENFOQUE DE CALIDAD

Cada vez más, las empresas certificadoras de Sistema de Calidad mediante la certificación por las Normas Internacionales de la Serie ISO 9000, etc., así como en las propias homologaciones de las auditorias de los clientes, solicitan la inclusión de procedimientos, prácticas operativas y métodos de planificación del Mantenimiento en los Manuales de Calidad.

Este tipo de Auditoría valora directamente:

- Filosofía de Mantenimiento, clasificación y participación de diversos tipos (preventivo, predictivo, T.P.M., R.C.M. y otros) en la planificación de actividades.
- Circuitos documentarios de Medición y Control de Actividades de Mantenimiento.
- Existencia de archivos manuales o informáticos de históricas de averías, su explotación y elaboración de Informes de Gestión.

Durante el Proceso de Implantación se determina la viabilidad de inclusión del sistema de Mantenimiento en el contexto del Manual de Calidad.

Figura 22 y 25 Representan dos de los programas de GMAO clásicos
Figura 24 Representa una distribución clásica de un almacén de mantenimiento.
Figura 26 Representa el estado idóneo en que se deben conservar las instalaciones fruto de las diferentes actividades de La Función Mantenimiento

AUTOVALORACION DEL MANTENIMIENTO MEDIANTE ÍNDICES RELATIVOS Y AUDITORIA INTERNA

Para realizar la auditoria tenemos desarrollado Cuestionario de Autovaloración de 28O preguntas, que cubren las 8 áreas que constituyen la Función Mantenimiento, cada una de ellas desglosada en 7 conceptos y éstas, a su vez, en 5 detalles.

Se forma una Comisión de Valoración integrada por los Mandos de la Planta, que eligen una de trece respuestas a cada una de las preguntas, después de las oportunas deliberaciones.

Mediante el procesamiento informático se valoran las respuestas obteniéndose índices de Conceptos, Áreas y el índice Global de Eficiencia de Mantenimiento, que sirven como guía orientativa para los Mandos de Mantenimiento con el fin de seguir con la mejora continua. Los índices de influencia ponderan distintas respuestas en función del sector industrial al que pertenece la Planta.

La Auditoría Integral de Mantenimiento incluye una Autovaloración, que luego vuelve a efectuarse durante el Proyecto de Implantación.

Una alternativa a la Autovaloración es la Auditoría Interna, que puede elaborarse según las necesidades de cada Empresa, incluyendo los preceptos de Calidad.

METODOLOGÍA DE REALIZACIÓN

Una Auditaría Integral se efectúa en tres fases:

1. Recopilación y análisis de informaciones en Planta. Suele realizarse con 2 a 4 Consultores y su duración es de 2 a 6 jornadas laborables en promedio, según las características del Centro Industrial.
2. Estudio y análisis de datos y elaboración del Informe de Diagnóstico: entre 5 y 10 jornadas laborables, lo realizamos fuera de la Planta en estudio.
3. Presentación del Informe.

Con el fin de optimizar el tiempo y los costos de la Auditoría, se realizan las siguientes acciones:

1. Preparación de la Auditoría por parte del Cliente según el dossier de indicaciones que se envía una vez aceptada la Oferta.
2. Actuación flexible de los auditores en la Planta, para interferir lo menos posible can las actividades laborales diarias.
3. Uso de técnicas de muestreo estadístico (MIL-STD 105), entrevistas preparadas

con protocolo, encuestas anónimas tipo opción múltiple con valoración objetiva por ordenador y revisiones aleatorias de las instalaciones productivas, incluyendo la aplicación de aparatos de medición.

Finalmente, cabe destacar que el Informe de Auditoría incluye, aparte de los resultados pormenorizados del Diagnóstico, un Plan de Optimización (alternativas), que oriente al Cliente en las cuestiones prácticas viables para enfocar el Desarrollo de La Función Mantenimiento.

Una vez que hemos realizado la auditoria, analizada y realizado el correspondiente informe estaremos en disposición de abordar, para el caso particular que corresponda, el Desarrollo de La Función Mantenimiento.

2. OPTIMIZACIÓN DE LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO

INTRODUCCIÓN

Ya hemos comentado anteriormente cual es la misión:

Nuestro proyecto de optimización global de la gestión de La Función Mantenimiento tiene como misión principal la maximización de la efectividad global (OEE) de los activos productivos del Centro Industrial. La efectividad global es la función de disponibilidad, fiabilidad y mantenibilidad. Como consecuencias mejoraran la Calidad y el Control del Riesgo Laboral.

La optimización de la gestión de La Función Mantenimiento se obtiene a través de la Implantación del desarrollo de la Función Mantenimiento. Como ya hemos comentado con anterioridad, está soportado en diferentes proyectos que son abordados por el personal de Planta.

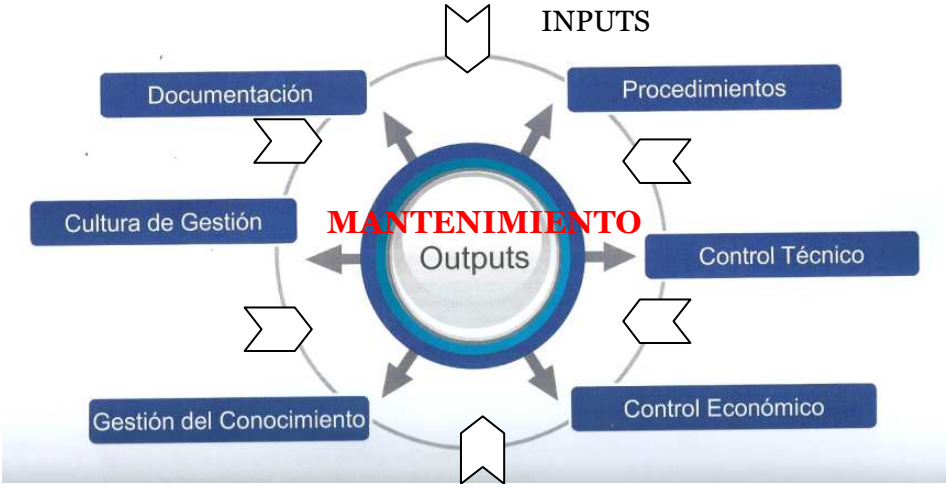


Figura 27

En la figura 27 presentamos la representación gráfica de la búsqueda del equilibrio entre los inputs que genera el sistema tradicional de funcionamiento y los outputs que es capaz de generar la moderna gestión de la Función Mantenimiento. De esta forma trataremos de que La Función Mantenimiento se extienda fruto de su potencial, en lugar de que se empequeñezca y merme fruto de la presión.

Expresado de una manera más artística en la figura 28:

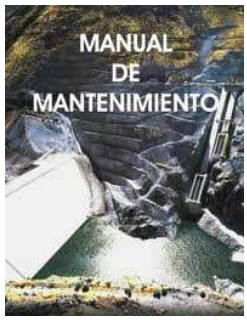


Figura 28

La realidad no será tan bonita como lo representa la figura 28, por el contrario, sí necesitará elevadas dosis de inteligencia (sentido común), agilidad para saltar los obstáculos, precisión en el diagnostico y propuesta de Desarrollo, armonía y transparencia para poder

trabajar en equipo y por supuesto tecnología para el desarrollo adecuado de La Función Mantenimiento. Con todo ello unidos al trabajo serio será posible conseguir un resultado que además de obtener beneficios económicos nos aporte satisfacción profesional.

Figura 29



PROYECTO MANUAL DE MANTENIMIENTO

Debe condensar y reflejar toda la esencia del desarrollo Técnico y Organizativo de La Función Mantenimiento, para ello planteamos:

1. Revisión y modificaciones, en su caso, de los conceptos de Mantenimiento plasmadas en el Manual General (adecuación de la filosofía de Mantenimiento).
2. Revisión y adecuación de la estructura organizativa de Recursos Humanos. Análisis del Organigrama de Mantenimiento en el contexto del Centro Productivo. Análisis de la distribución vertical y horizontal de estamentos en función de las necesidades de cobertura de turnos, capacidad y especialidades profesionales y posibilidades de subcontratación.
3. Optimización de los procedimientos escritos y en particular del Circuito Documentario (Solicitudes, Bonos, Órdenes de Trabajo, etc.). Revisión de la comunicación interdepartamental, escrita o electrónica.

PROYECTOG.M.A.O.: GESTION DE MANTENIMIENTO ASISTIDO POR ORDENADOR

Figura 30



Como ya hemos descrito debe dar el soporte tecnológico (TIC) adecuado para el desarrollo y gestión modernos de La Función Mantenimiento. Para su desarrollo establecemos los siguientes pasos:

1. Preparación de los procedimientos para la informatización. Adecuación de los códigos de activos. Arborescencia de activos, grupos funcionales y sistemas superiores por Centros de Coste.

Figura 30 Representa que el GMAO debe ser el cerebro que nos guie a mover nuestras fichas de actividades para el Desarrollo de La Función Mantenimiento.

2. Organización de Auditarías internas de fiabilización del circuito

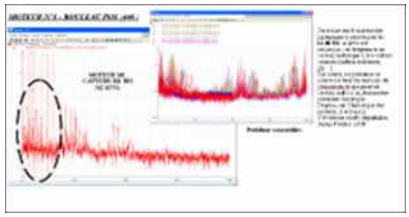
documentario.

3. Elaboración y optimización de Informes de Gestión obtenidos de GMAO. Toma de decisiones de Gestión de Mantenimiento basada en el análisis de la evolución de diversos índices, ratios y otros indicadores cuantitativos económicos dela Función Mantenimiento.

En el Capítulo Informática de Mantenimiento (GMAO), hemos sentado las bases y descrito con extensión los conceptos sobre los que trabajaremos en cada caso.

PROYECTO DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO-PREVENTIVO

Figura 31



En este proyecto fundamentalmente se condensa la aportación tecnológica que permita el salto cualitativo del departamento de Mantenimiento y es el que posibilita realmente el adelantarse a la avería (Mantenimiento Correctivo no planificado), junto a un enfoque adecuado del GMAO para abordar mejoras. Para ello abordaremos las siguientes cuestiones básicas:

1. Implantación de sistemas de Mantenimiento Preventivo (desarrollo de Gamas Preventivas), Mantenimiento Predictivo Multiparamétrico, Mantenimiento Autónomo, Mantenimiento Productivo Total (T.P.M.) y Mantenimiento Centrado en Fiabilidad (R.C.M.).

2. Formación integral del personal de Mantenimiento, a todos los niveles, tanto en los aspectos técnicos como de gestión.
3. Optimización del Almacén de Repuestos.
4. Desarrollo de la Ingeniería de Mantenimiento y Área de Mejoras.



Figura 32

Figura 31 Representa un gráfico de análisis en este caso el programa es capaz de presentarnos un área con mejor resolución.
Figura 32 Representa un sencillo equipo de medición manual que cualquier Profesional de Mantenimiento puede utilizar.
Figura 33 Representa un formato de baldas para repuestos de gran volumen o peso.

PROYECTO ALMACEN DE MANTENIMIENTO

Es otra de las patas que debe soportar el desarrollo. Su gestión debe estar en manos del responsable de La Función Mantenimiento. Las necesidades de este almacén deben adecuarse a las necesidades de La Función Mantenimiento en cada caso.



Figura 33

Si hubiese una buena gestión del PM, con visión de LCC por ejemplo, sería posible bajar sustancialmente el valor de los materiales almacenados. En cualquier abordaremos el proyecto con las siguientes premisas:

1. Acceso libre de los usuarios al Almacén. Con la propia responsabilidad como el factor primordial de fiabilización.
2. Registro automatizado de salidas, del tipo código de barras y lápiz lector.
3. Almacén tipo autoservicio con estanterías ergonómicamente concebidas.
4. Gestión y control de existencias "*On Line*". Informes asequibles a todos los niveles. Ausencia de inventarios clásicos, inventarios rotativos con el personal de Mantenimiento junto al Gestor de Almacén.
5. Stock en depósito para materiales económicamente relevantes.
6. Compatibilización del Almacén de Mantenimiento con el de Herramientas de fabricación.
7. Función de acopio técnico autónoma para el Departamento de Mantenimiento.
8. Separación del Almacén de Materia Prima. Área de recepción acotada.

Con estos cuatro proyectos abordaremos la implantación del desarrollo de la función mantenimiento. Este desarrollo nos debe de llevar a una gestión con connotaciones económicas:

- Coste de mejoras versus pérdidas económicas (paradas + chatarras + mejora de OEE)
- Mejora del coste de mantenimiento (gasto + pérdidas económicas)

- Reorientación o reorganización de recursos en función de problemáticas (gasto mantenimiento versus mejora OEE).
- Conjuntos o subconjuntos débiles.
- Indirectamente aumento de la incidencia (% OT´s) del Mantenimiento Predictivo, Preventivo, paradas TPM, aunque en un principio la mejora de la OEE sea la misma, será mejor para la organización que la parada sea programada que sin programar.

Por lo tanto empezaremos a tener bajo nuestro control las diferentes variables que conforman La Función Mantenimiento.

En la figura 34 presentamos en formato cuadrante una visión general en el que quedan valoradas las diferentes posibilidades de la gestión de Mantenimiento, en función del costo y la efectividad global (OEE) , que podemos encontrar en la industria como consecuencia de la aplicación de los diferentes modelos de gestión.

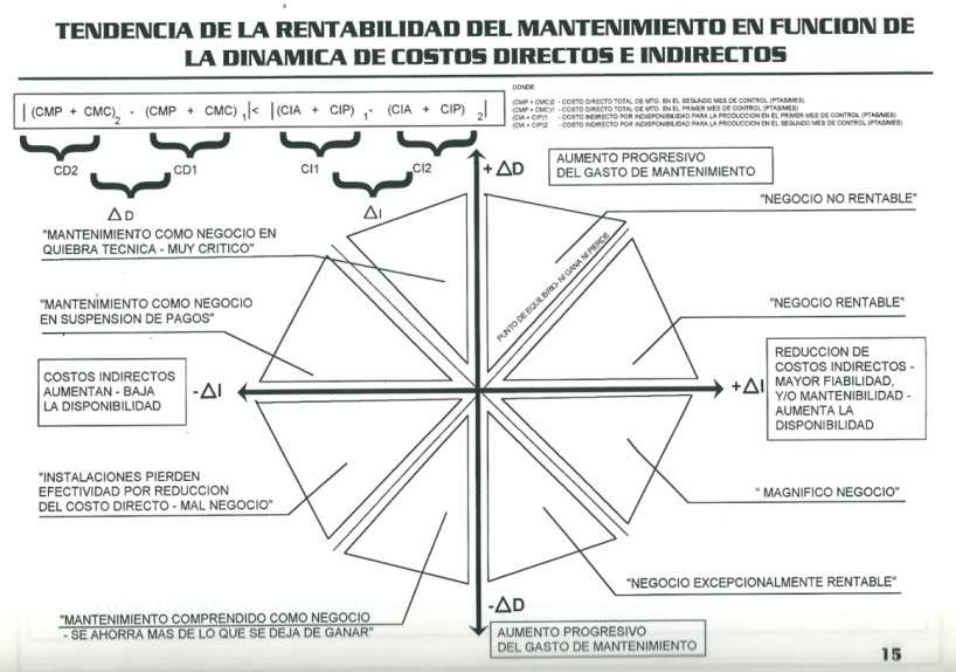


Figura 34

METODOLOGÍA DEL ASESORAMIENTO

INTRODUCCIÓN

Según nuestras experiencias, un Proyecto de Optimización de Mantenimiento no es viable como una solución *"Llave en Mano",* debido a que el éxito de cualquier implantación de sistema fundamentalmente depende del personal operativo de Fábrica debe ser desarrollado por los mismas estamentos de los Departamentos del Centro Productivo; incluye Fabricación, Mantenimiento, Calidad, Ingeniería, Recursos Humanas y otros. Los sistemas no son buenos por sí mismo sino en la medida que lo desarrollan adecuadamente las personas.

Como consultores del Proyecto marcamos las directrices, enseñamos cómo efectuar la optimización en términos prácticos y ofrecemos todo lujo de detalles, supervisamos el trabajo del personal seleccionado, controlamos y corregimos la realización para fiabilizar los resultados.

En nuestro caso se aplican métodos de Administración por Objetivos y se efectúan descargos ejecutivos para el Comité de Supervisión, integrado por los miembros del Consejo de Dirección.

De esta manera todos los cambios en los procedimientos de trabajo, circuito documentario e implantación de nuevos métodos de gestión y técnicas de trabajo provienen del propio Grupo de Trabajo que, por ser creador, asimila totalmente la secuencia de pasos de la implantación.

La duración de un proyecto de optimización suele ser entre 6 y 12 meses, según el tamaño de la Empresa, la situación inicial y el marco de referencia económico. Se deben realizar visitas quincenales o mensuales con la continua retroalimentación de resultados.

SECUENCIA GENERAL DE OPTIMIZACIÓN DE MANTENIMIENTO

Diagnóstico/Auditoría de Mantenimiento

Como paso previo a la implantación de cualquier sistema industrial avanzado, es imprescindible efectuar un diagnóstico de condiciones de recursos y de gestión de los mismos en el área de Mantenimiento Industrial.

En todo caso, el Informe de Diagnóstico tiene carácter de un Estudio de Viabilidad; se establecen las recomendaciones prácticas y un Plan de Acciones con alternativas viables para mejorar las condiciones del Mantenimiento con la óptima relación costo/resultados.

Selección del Grupo de Trabajo

Como hemos destacado anteriormente, la mayor cualidad de nuestra metodología de

asesoramiento consiste en la activación de los Recursos Humanos propios del Cliente.

Para tal fin, se seleccionan las personas idóneas del propio Centro Productivo que se dedicarán, a tiempo parcial, al desarrollo del Proyecto, sin que esto afecte esencialmente el desempeño de su labor diaria.

Administración por Objetivos

Según el Planning General del Proyecto, basado en los resultados del Diagnóstico/Auditoría, se estipulan las fases de realización marcando los objetivos, fechas probables de realización, los Recursos Humanas e infraestructura material.

Visitas Periódicas de La Consultoría

Proporcionamos el seguimiento periódic0, normalmente con frecuencia quincenal o mensual, con una estancia promedio de consultares de 3 a 5 Jornadas laborales en la Planta.

Asimismo, se facilitamos todas las referencias bibliográficas, revistas profesionales y orientación comercial en cuanto a la adquisición de la tecnología y otros medios que pudieran requerirse a lo largo de la implantación. Por esta razón aportamos también documentación de equipos comerciales.

Cabe destacar que nuestros servicios profesionales son totalmente independientes de las marcas comerciales de tecnologías relacionadas con el Mantenimiento Industrial. Esto nos permite aconsejar objetivamente a nuestras Clientes, particularmente cuando se presentan las necesidades de adquisición de paquetes de software de G.M.A.O. y Tecnología de Mantenimiento Predictivo.

Seguimiento de resultados

Por experiencia, durante la realización del Proyecto de optimización, suelen presentarse las necesidades de cambios organizativos que puedan afectar a la plantilla de Mantenimiento, tanto a nivel operativo como a nivel de Mandos.

También es evidente que un cambio sustancial en la manera de gestionar y ejecutar las labores diarias implica cambios de actitud del personal; a veces una manera de trabajar muy arraigada representa auténticos obstáculos para la implantación de nuevos métodos.

Según nuestras experiencias, en ocasiones se observa una reticencia generalizada a asumirlos cambios, por la que nuestros consultores efectúan continuamente la fiabilización de las diferentes fases del Proyecto, implicando toda la estructura organizativa de la Empresa, particularmente el Departamento de Fabricación (Producción).

Una vez terminado el Proyecto, se suele ofrecer un Programa de Consolidación durante el período equivalente a la duración del Proyecto, consistente en visitas bimestrales de 2 a3 días con el propósito de corregir las anomalías y profundizar en el autodesarrollo.

3. DESARROLLO DE LOS PROYECTOS PARA LA OPTIMIZACION DE LA GESTION DE LA FUNCIÓN MANTENIMIENTO.

Hemos mencionado los cuatro pilares básicos o Proyectos (que podríamos definir como los mini-proyectos del Proyecto principal, sin embargo la envergadura que representa su implantación bien merece la pena definirlos como proyectos) sobre los que descansa el desarrollo de nuestro Proyecto para la optimización de la gestión de la Función Mantenimiento:

- MANUAL DE MANTENIMIENTO
- GMAO
- MANTENIMIENTO PREVENTIVO-PREDICTIVO
- ALMACEN

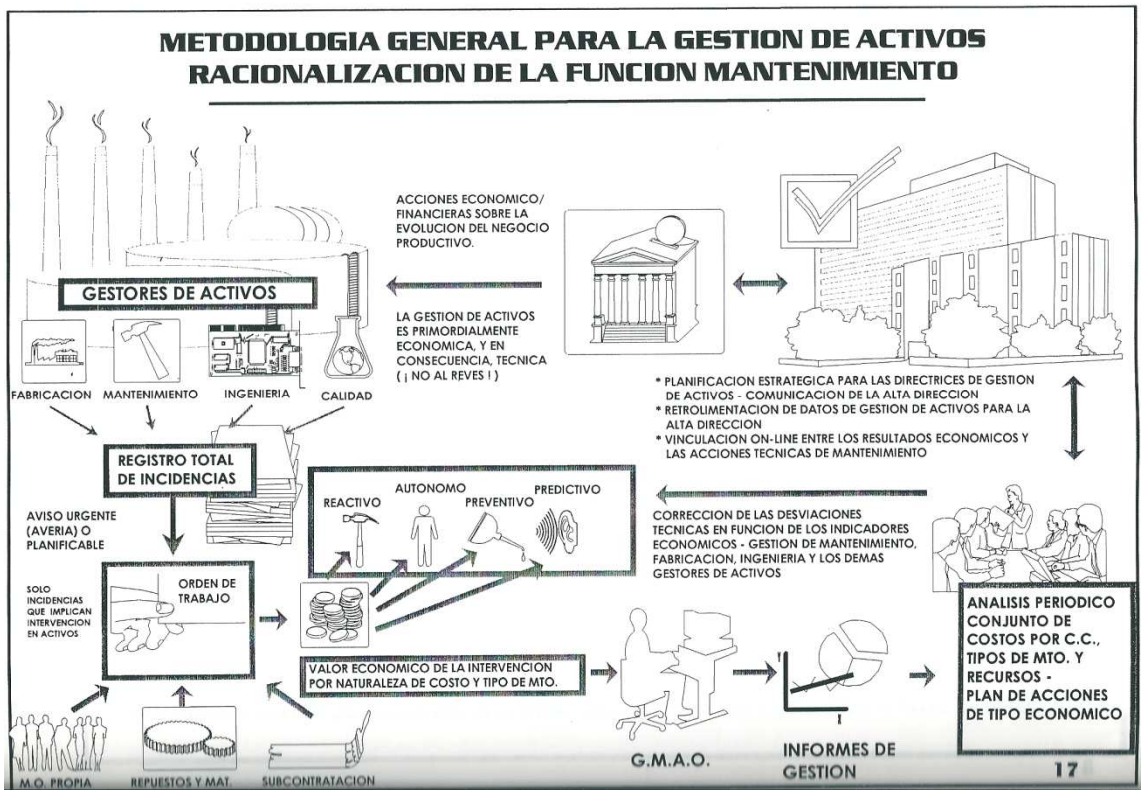


Figura 35

Los Proyectos de Manual de Mantenimiento y Almacén son más de tipo organizativo que Técnico, y dependen mucho de cada organización, es por tanto muy complicado aportar sin la auditoría algo distinto a lo que ya hemos expuesto como norma general. Consideramos que hemos dado unas bases orientativas que ayudan a tener una visión global del enfoque a

aquel que quiera hacer un desarrollo particular en su caso. Para un desarrollo más profundo habría que partir de la Auditoría Interna, de las entrevistas realizadas, etc.

En la figura 35 presentamos esquemáticamente el desarrollo de la Función Mantenimiento, con sus connotaciones de gestión, Coste de Mantenimiento y su relación con el GMAO.

En cualquier caso dichos proyectos serán orientados para el cumplimiento de los esquemas organizativos que presentamos en las figura 36 y 37:

En la figura 36 a parecen los diferentes bloques de actividades de La Función mantenimiento.

En la figura 37 presentamos su relación de con otros departamentos de la empresa, utilización de recursos económicos y actividades propias de la Función Mantenimiento.



Figura 36

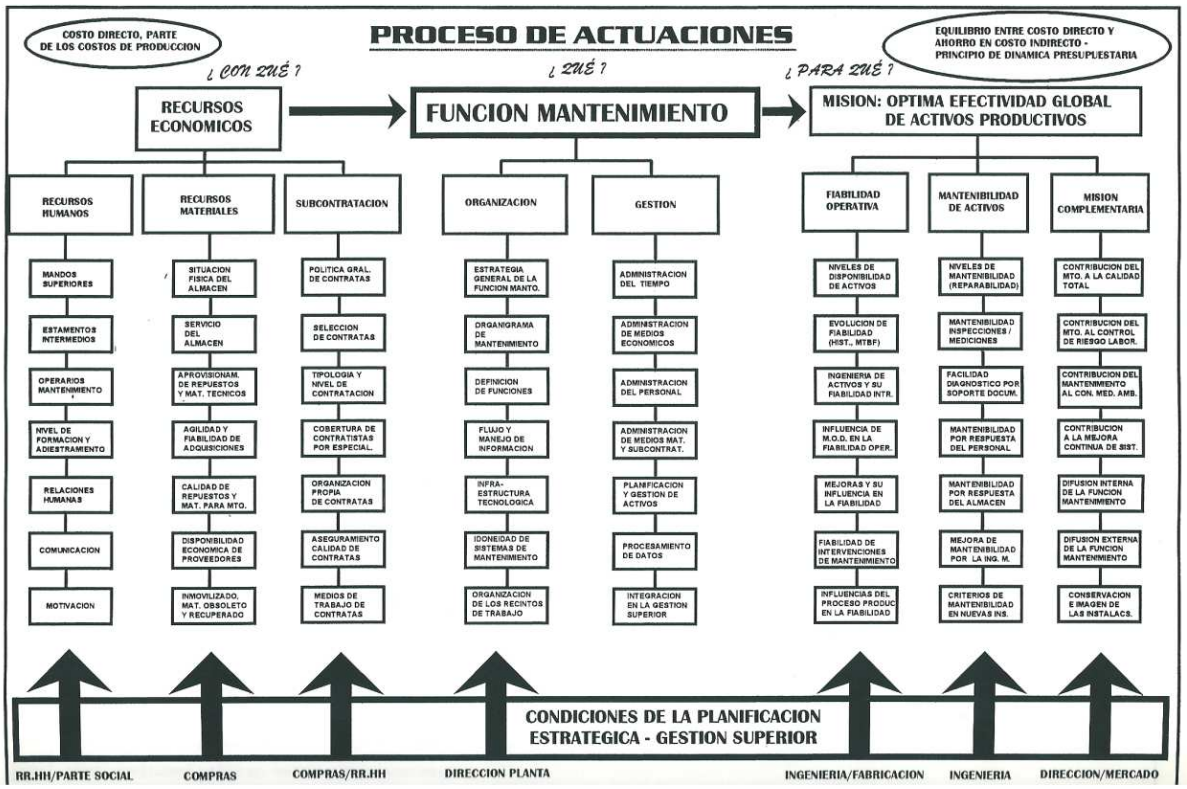


Figura 37

A continuación desarrollaremos los dos pilares o Proyectos de desarrollo que implican realmente el aporte tecnológico e informatizado al desarrollo de la Función Mantenimiento (TIC´s):

PROYECTO GMAO

El desarrollo del GMAO ha quedado prácticamente explicado en el apartado de Definiciones y Fundamentos. Hemos considerado que además de explicar los conceptos asociados al GMAO en dicho capítulo, siendo un Proyecto muy importante para el desarrollo de la Función Mantenimiento era mejor dejarlo rematado en un solo apartado para no perder la visión global del mismo.

No tenemos que perder de vista en cualquier caso que en el horizonte con el desarrollo tecnológico lo que pretendemos verdaderamente es la **mejora** de la gestión de La Función Mantenimiento.

Una de las dificultades radica en la elaboración de una OT que tenga bien articulada

la arborescencia de los diferentes elementos de las máquinas en la parte técnica.

Y en la parte organizativa:

- Implementación del circuito documentario. Que se rellene adecuadamente el documento por parte de todas las partes implicadas.
- Valoración de la hora de máquina parada (Coste del Paro), para abordar los costos de mantenimiento en lugar del gasto de mantenimiento y la valoración de las mejoras.

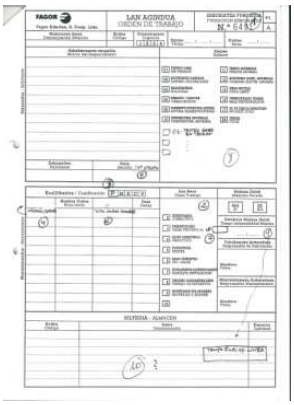


Figura 38

PROYECTO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO-PREDICTIVO

MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Es la forma elemental de conversión de un sistema de reparaciones de emergencia (Mantenimiento Correctivo) en un sistema planificado.

No obstante sus evidentes beneficios, la reticencia de muchas Empresas, sobre todo por parte de las PYMEs, a introducir actividades de inspección sistemática de activos productivos y programar las paradas de Mantenimiento (menor y mayor), se basa en la poca seguridad que se tiene en que la introducción del Mantenimiento Preventivo aumentará o no la Disponibilidad de Instalaciones.

El cambio sustancial es difícil, sobre todo en los sistemas de Producción de tipo JIT (*Just in Time* - Justo a Tiempo) y respuestas de fabricación sobre pedido. El Desarrollo del Proyecto tiene prevista la metodología de implantación paulatina, con el fin de lograr la confianza en Mantenimiento Preventivo en las fases iniciales del Proyecto, demostrando a corto plazo en ciertas instalaciones piloto el aumento de Fiabilidad mediante la disminución de la Tasa de Fallos (mayores MTBF) y simultáneamente el aumento de Mantenibilidad (menores MTTR).

Figura 38 Representa la parte de emisión y datos de tiempos de parada, especialidad etc. de una OT

FASES DE IMPLANTACIÓN

1. Selección del personal perteneciente al Departamento de Mantenimiento que desarrollará el Proyecto.
2. Recopilación de la documentación técnica de los equipos, maquinaria e instalaciones que serán incluidas en el programa preventivo. Se contará con las experiencias del personal. Manuales de Operación y Mantenimiento existentes y otras aportaciones técnicas.
3. Diseño del formato del Boletín de Inspección y/o Intervención (Ficha de Mantenimiento Preventivo) y circuito documentario de emisión - recepción - cumplimentación - procesamiento. Se planteará la posibilidad de informatización, sola o como parte integral del Software de Gestión de Mantenimiento Asistida por Ordenador (G.M.A.O.).
4. Elaboración de Gamas Preventivas por prioridades (análisis ABC de secciones, instalaciones y máquinas). Desarrollo de Gamas de Engrase y Lubricación. Lista preliminar de actividades de inspección/intervención con agrupamiento preferencial, especificando frecuencias de actuación.
5. Vinculación de Gamas con la emisión de Órdenes de Trabajo planificables.
6. Puesta en marcha del Plan Piloto. Correcciones y actualización de Gamas. Especificación de materiales, herramientas y equipos u aparatos de diagnóstico a utilizar en la ejecución. Practicas operativas de las Gamas Preventivas. Normas de aplicación.

Siguiendo la filosofía de Implantación del Proyecto, se estimulará la participación de la mayor parte posible de la plantilla. Se atenderán todas las sugerencias, sobre todo en el período de depuración de Gamas.

El Proyecto incluye temas de apoyo, como codificación de Gamas, su eventual conexión con las Rutas Predictivas, posibilidades de subcontratación y otros.

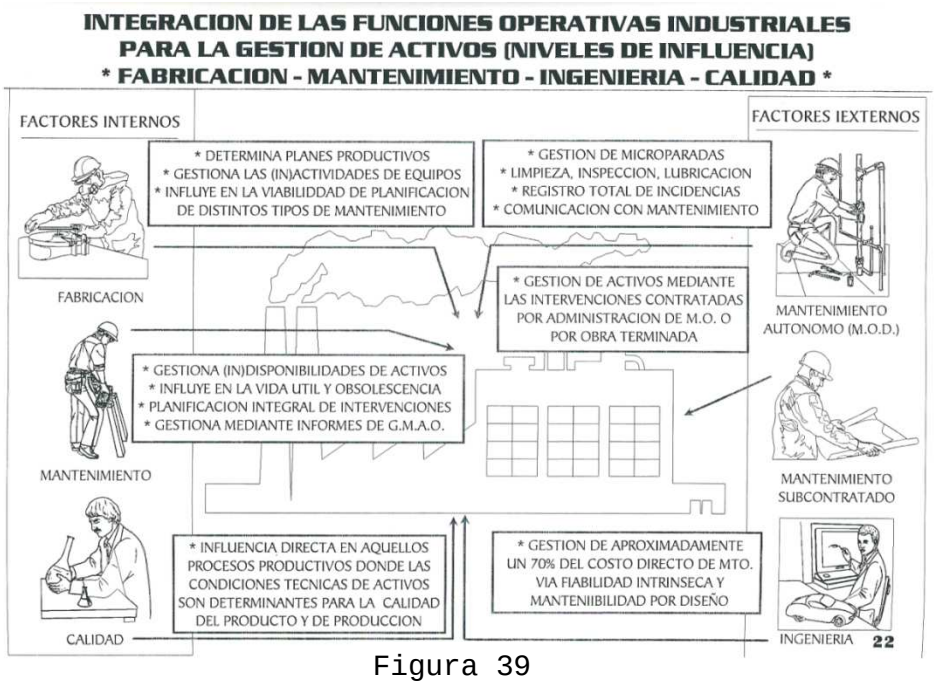


Figura 39

En la figura 39 presentamos la relación de otros departamentos y su influencia en La Función Mantenimiento.

PROYECTO MANTENIMIENTOPREDICTIVO MULTIPARAMÉTRICO

Los objetivos fundamentales de este proyecto son:

- Aumentar de la efectividad operacional de los equipos industriales, en los aspectos de Fiabilidad y Disponibilidad.
- Desarrollar la infraestructura de gestión del Mantenimiento Predictivo, integrándolo al Preventivo, con el enfoque de la optimización global.
- Aumentar la seguridad operacional de los equipos incluidos en el Sistema.
- Optimizar los costos directos e indirectos de Mantenimiento, optimizar las rutas y las tareas.
- Apoyar a la gestión técnica de aprovisionamiento y optimizar los inmovilizados de Almacenes de Repuestos, mediante una mejor planificación facilitada por la previsión oportuna de necesidades de repuestas. A veces esta tarea es complicada en función de la variedad de máquinas que existan y la dificultad de hacerse con algunos repuestos
- Establecer la base para estudios avanzados de Ingeniería, análisis de Mantenibilidad, Obsolescencia, determinación de las Tasas de Fallos y similares.

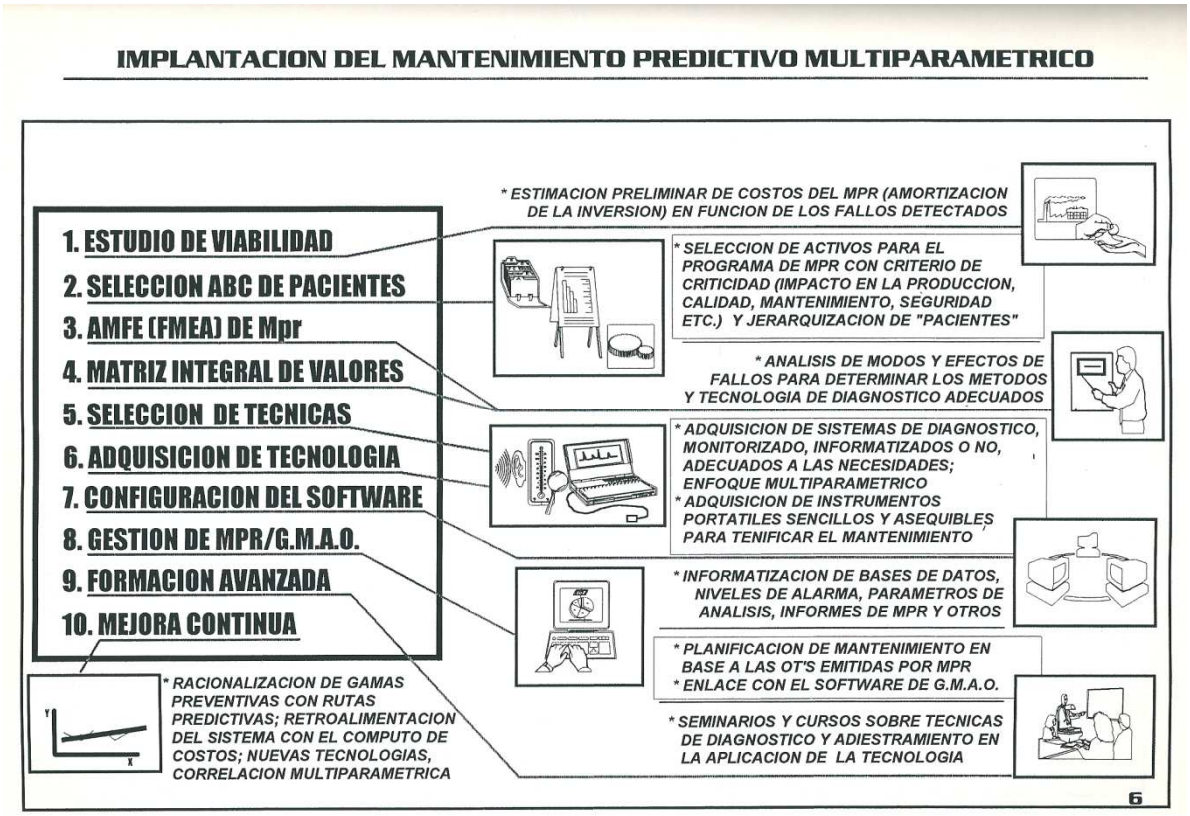


Figura 40

En la figura 40 presentamos esquemáticamente el desarrollo de implantación del Mantenimiento Predictivo Multiparamétrico.

SECUENCIA METODOLÓGICA

1. PREPARACIÓN

1. Elaborar el Planning definitivo de las fases de implantación basada en las condiciones de la oferta inicial.
2. Contacto preliminar con el personal que estará a cargo de la implantación para tener la primera entrevista y dar las primeras orientaciones.
3. Analizar la organización del Mantenimiento, su nivel de informatización, acceso a la información técnica de equipos que se seleccionarán para el Programa de Mantenimiento Predictivo y otros detalles operativos.

2. CRITERIOS DE SELECCION

1. Se podrá realizar un primer reconocimiento físico y/o recopilar la documentación técnica relevante de los equipos e instalaciones productivas.
2. Se concertará la selección de equipos. En esta fase el personal técnico de la Empresa puede preseleccionar las instalaciones para el Plan Piloto; podemos recomendar esta preselección, o colaborar en prepararla.
3. Se analizarán los Historiales de Mantenimiento de los equipos preseleccionados en los casos donde se disponga de dicha información. Se podrán determinar los Tiempos Medios entre Fallos (MTBF), desviación de la distribución de la Tasa de Fallos, etc. En el caso de los equipos donde se disponga de los Históricos útiles, se elaborarán Tablas de Criticidad para determinar los índices de Valor Relativo, siendo la jerarquía de las criterios por su impacto en:
    - Fiabilidad y Disponibilidad.
    - Economía del Mantenimiento.
    - Requerimientos especiales (Seguridad, Calidad, Medio Ambiente).

Para ello se aplicará la técnica de Análisis de Valor, quedando jerarquizados los equipos por su índice de Criticidad. La fiabilidad de los diagnósticos se asegurará en función de este índice, mediante:

- Selección de técnica de medición.
- Gama de Síntomas (variables de estada).
- Número de puntos de medida.

La selección definitiva del grupo de Items que entrarán en el Programa Piloto se hará:

1. Mediante el Ordenamiento por Análisis de Pareto (ABC) para todos los equipos en general.
2. Valorando la necesidad relativa según la distribución estadística de las Tasas de Fallos, para los equipas donde se disponga de la información útil a partir de los históricos.

3. DESARROLLO DE FICHAS DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO. MATRIZ INTEGRAL DE VALORES (MIV)

Lo primero que se debe abordar es el análisis sistemático de cada equipo seleccionado, despiece funcional y estructural a 3 niveles y estudio elemental de cada proceso en cuestión. Tabulación matricial de la división del Item en subsistemas y asignación de probables anomalías/averías por orden de prioridad y para cada elemento del tercer nivel. Determinación del síntoma de estado de mayor fiabilidad y precisión, las técnicas de medición y unidades de medida. Se utilizaran la Carta Rathbone, las normas ISO, etc. (ver articulo Universidad de Navarra del Anexo de Vibraciones) junto a las indicaciones de los proveedores para establecer los primeros valores de alarma.

Luego se elaborarán las MIV para cada Item y se realizará la selección definitiva de síntomas y puntos de medición/observación.

Posteriormente se señalizarán los puntos de medida y características básicas de medición en los planos (esquemas) de los Items. Se podrán marcar también los puntos de medida en los diferentes Items para facilitar la labor al principio sobre todo.

Se anotaran las variables de referencia en cada MIV, extraídas de la documentación técnica.

- Datos físicos generales, rangos de RPM, potencias nominales, características de cimentación/anclaje, conexión con otros sistemas, clase de máquina y similares.
- Características de elementos; tipo y número de rodamientos, datos físicos de engranajes y acoplamientos, tipos de sujeción de elementos rotativos, características de lubricación, datos de rotores, las velocidades críticas en el caso de turbomaquinaria y similares.

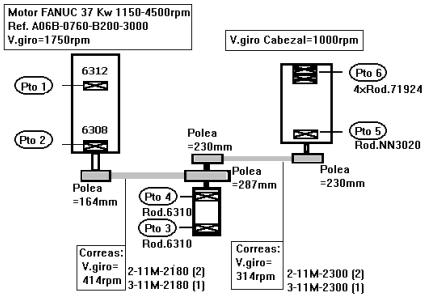


Figura 41

Figura 41 Representa las características de los elementos que debemos introducir en el programa de análisis.

- Parámetros operacionales : presiones, temperaturas, caudales, gradientes de los mismos, consumos nominales y sus rangos de variación.
- Características cualitativas de Mantenibilidad; acceso a los puntos de medición para el caso de equipas incluidas en la recolección manual de datos, seguridad de las mediciones y similares.

- Datos históricos de Disponibilidad de los Items que dispongan de ellos. La elaboración de las MIV será asistida por ordenador.

4. SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS DE OBTENCIÓN, MEDICIÓN, ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE DATOS DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO

1. En función de las técnicas seleccionadas a partir de las MIV, se procederá a la elaboración de un cuadro comparativo de tecnologías.

Se estudiarán, principalmente, dos tipos de tecnologías:

- Vibraciones: Tecnología de recolección de datos con colectores de datos tipo FFT de uno o 2/4 canales disponibles con amplia variedad de sensores (acelerómetros). Sonómetros y equipos manuales.
- Termografías: Cámaras y/o sondas de infrarrojos.
- Otros: Pinzas amperimétricas, Sensores de presión, sondas ultrasónicas para espesores, fototacómetros para ángulos de fase en general, para el registro de señales analógicas medibles *in situ*.

Se valorarán:

- Los paquetes comerciales de software predictivo para cada uno de ellos. Este tipo de tecnologías es apto para el Mantenimiento Predictivo basada en Rutas de Inspección en las zonas de libre acceso.
- Sistemas de adquisición de datos mediante monitorización continúa. Este tipo de tecnologías es obligatorio en las zonas con acceso restringido, su operación es *On-Line* (en Tiempo Real) y se requiere de coordinación con el Departamento de Ingeniería.

2. El cuadro comparativo de tecnologías tendrá en cuenta los siguientes criterios:

- Adecuación tecnológica a las necesidades específicas de la Fábrica.
- Cumplimiento de normativas vigentes.
- Desarrollo de alta tecnología de última generación con posibilidad de inclusión del seguimiento multiparamétrico (Colectores Manuales de Datos), sistema *off-line*.
- Características técnicas y operacionales del software predictivo comercial, su calidad informática y flexibilidad de aplicación.

- Servicio postventa del proveedor, incluyendo la información técnica, actualización de las versiones de software, tiempos de entrega, etc.
- Valor económico de la inversión y las condiciones comerciales en general.

5. DESARROLLO DE LA GESTION INTEGRAL DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO Y PREVENTIVO

En primer lugar lo que haremos será elaborar el diseño de Bases de Datos en el Software adquirido, respetando la codificación existente de Items para evitar confusiones; haciendo un desglose hasta el nivel de punto de medición y posteriormente configurar los diferentes puntos de medición para cada variable predictiva con todos los detalles.

La secuencia del desarrollo sería:

1. Configuración de parámetros de análisis por bandas frecuenciales para cada Item (análisis FFT de vibraciones), selección de parámetros de ultra-alta frecuencia (p.e. Spike Energy* de IRD Mechanalysis, SEE Technology de PALOMAR / SKF, HFD de CSI, Bearçon de Schenck y similares). Previo análisis de espectros tipo, selección del número óptimo de promedios, líneas espectrales, rangos frecuenciales, tipos de amplitud y similares. Los fabricantes pueden y deben de aportar su experiencia, tener muy en cuenta este factor a la hora de comprar un equipo, valorar tanto sus prestaciones tecnológicas como la capacidad de dar soporte técnico en la implantación y desarrollo preliminar. Aportaremos nuestra experiencia para que la elección sea adecuada.

2. Establecimiento de niveles de advertencia temprana, alerta y alarma para cada síntoma monitorizado, configurados según las normas vigentes ya comentadas y con el asesoramiento de los proveedores elegidos. Selección de tipo de alarmas; ascendente, descendente, delta, disipación estadística o dentro/fuera de ventana.

3. Diseño preliminar de rutas de inspección. Criterios de diseño por síntomas (rutas de vibraciones, ángulos de fase, consumo eléctrico temperaturas, etc.); por cercanía física y por rangos de intervalos de inspección. Y su posterior optimización.

4. Rutas experimentales de toma de líneas de base, descarga de datos y optimización.

5. Determinación de intervalos de inspección y su homologación a nivel del Programa. Como criterios se utilizarán fracciones de MTBF para equipos con históricos y experiencias propias para los demás.

6. Elaboración de las frecuencias de Fallos con el Software de diagnóstico, si se

optara por su adquisición. Recordamos que existen equipos sencillos que solo aportan la información de un valor global, normalmente valor rms de velocidad o aceleración.

7. Revisión de las Gamas Preventivas existentes y su optimización en función del solape con las Rutas Predictivas a instalar. Integración de Gamas con el Programa Predictivo, aprovechando la capacidad de Colectores de Datos para registrar las observaciones cualitativas. Revisión y en su caso optimización del código de Gamas Preventivas.

8. Estandarización del programa de visualización de gráficos espectrales, de forma de onda, de análisis referencial, diagramas de cascada y similares.

9. Estandarización de las opciones de presentación gráfica de curvas de tendencia de averías, detección por envolvente, correlación y similares.

10. En el caso de optar por la tecnología de análisis multicanal FFT, se seleccionarán los análisis de órbitas cinéticas, funciones de transferencia, coherencia, análisis de resonancia, transitorios, etc.

11. Selección y estandarización de informes de Mantenimiento Predictivo; últimas revisiones, informes de excepción clasificados, resumen de observaciones de Gamas Preventivas, historiales de rutas, índices de síntomas y otros informes estándar pertenecientes a los software comerciales de Mantenimiento Predictivo. Elaboración del Informe Maestro para las necesidades de la Empresa.

12. Algunos software disponen del programa de Gestión de Mantenimiento Predictivo, que en el caso de recomendarlos, serán incluidos en el Informe Maestro. En principio consideramos que es mejor que la aplicación de análisis sea independiente al colector y esté ubicado en un PC independiente. Hay varias razones que nos llevan a realizar esta recomendación:

- Si los registros tomados están fuera del colector de datos evitamos el riesgo de que se pierdan porque el colector siempre tiene un riesgo mayor de accidentes por su uso.
- Si el programa de Mantenimiento Predictivo se extendiese y hubiese más necesidades de personal, las tareas se podrían dividir, por un lado la toma de datos, etc. y por otro el análisis.

6 ELABORACIÓN DEL MANUAL DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO

El Manual tendrá los siguientes contenidos:

1. Presentación general, objetivos y alcances de Mantenimiento Predictivo.
2. Fichero de Matrices Integrales de Valor (MIV) con toda la información descrita en el apartado 2.3, para cada Ítem del grupo de equipas seleccionados.
3. Secuencias de Prácticas Operativas para cada medición (manual y monitorizado automático).
4. Resumen de normas vigentes incluidas en la configuración de los parámetros de alarma.
5. Características técnicas de la tecnología empleada para el
6. Mantenimiento Predictivo. Condiciones de calibración. Contactos con los proveedores.
7. Planning de Rutas de Inspección.
8. Lista de fallos posibles del sistema (en ingles Traubleshaating Chart).
9. Recomendaciones para la secuencia metodológica de Auditorías Internas periódicas, dirigidas a la operatividad del Mantenimiento Predictivo.
10. Documentación técnica y referencias bibliográficas para el seguimiento y actualización del sistema.
11. Análisis de datos de la gestión. Este apartado del manual describirá diversas aspectos prácticos de aprovechamiento del sistema, como por ejemplo :
    - Cómo gestionar las condiciones de pre-avería y planificar las paradas.
    - Cómo determinar la efectividad económica del Mantenimiento Predictivo.
    - Dinámica de formación y administración del personal.
    - Cómo aprovechar los datos de distribución de Tasas de Fallos para optimizar los intervalos de inspección.

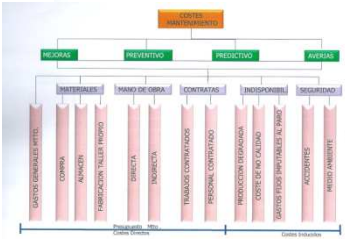
Presentamos la figura 42 a modo de resumen visual final de todo lo expuesto en el desarrollo de Implantación:

- El soporte básico y fundamental del éxito está en el equipo y en la implicación de todos, Dirección, Responsables, Profesionales y Consultor.
- Se comienza por la Auditoria y el empuje de la consultoría.
- Se analizan las diferentes posibilidades de aplicación de los distintos tipos de mantenimiento, mejorar la organización.
- Con la aplicación de las TIC´s llega el control del Gasto de Mantenimiento de la mano del GMAO y del conocimiento del estado de las máquinas a través del Mantenimiento Predictivo.




Políticas de Mantenimiento
Las diferentes clases de mantenimiento influyen también de diferente manera en la Curva de Vida de un equipo (TLCSM).
Correctivo
Preventivo
Predictivo
Mejoras
Diseño de Políticas de Mantenimiento
Correctivo - Reparaciones
Preventivo Central, Autónomo...
On condition - Predictivo
Mejoras de Performance y reducción de despilfarros
Sobre/Infra Mantenimiento *
Tiempos de Respuesta y Espera
Diagnósticos y Pronósticos
Disponibilidad
7 Desperdicios
Políticas y Recursos
Fallos Funcionales Repetitivos
Repuestos
* Adaptar mantenimiento a las necesidades "variables" evitando no sólo "hacer de más" sino también "hacer de menos" (Delayed Maintenance) y perder valor.


Evaluations





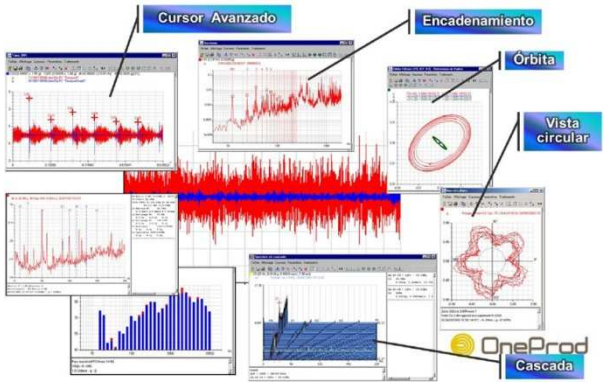

Cursor Avanzado
Encadenamiento
Órbita
Vista circular
OneProd
Cascada

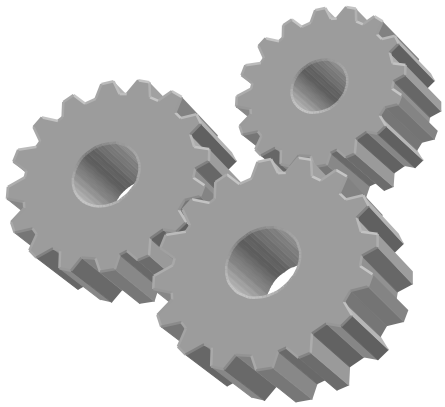


Figura 42

PROYECTO

METODOLOGIA DE IMPLANTACION PARA EL DESARROLLO DE LA FUNCION MANTENIMIENTO EN UNA EMPRESA O REINGENIERIA DE MANTENIMIENTO

DESARROLLO PRÁCTICO



Autor: Ramon Arizaga Arcelus

Es hora de poner en práctica todo lo que hemos desarrollado en los capítulos anteriores.

8.- DESARROLLO PRÁCTICO

INTRODUCCIÓN

Para el desarrollo práctico de toda la teoría que en los capítulos precedentes hemos expuesto, presentaremos a continuación dos casos bien distintos.

En ambos casos mi participación ha sido como Jefe de Mantenimiento de la Planta. Los ejemplos prácticos se sucedieron uno a continuación del otro, el Caso A en 1992 y el Caso B entre 1993 y 1997. Debemos hacer la consideración que en el desarrollo del Caso B se solaparon el final el Proyecto COMON con el principio del Proyecto de implantación del TPM con el asesoramiento del Instituto Japonés de TPM (JITPM), aproximadamente el desarrollo del Proyecto COMON duro de 1993 a 1995 y el desarrollo del proyecto de TPM de 1995 a 1997.

Como referencia de mi trabajo en el desarrollo del proyecto COMON, indicaré también, que di una conferencia en CITA 97, ante Directores Industriales y Jefes de Mantenimiento, en la que expuse el desarrollo del proyecto COMON, como podrá comprobarse en la *referencia 5*, muchas de las figuras que aparecen en este capítulo están extraídas de las que preparé para la conferencia. En el artículo de la *referencia 6* también se hace referencia, valga la redundancia, a mi conferencia.

Mi participación como Jefe de Mantenimiento se puede comprobar, así mismo, en el documento escrito ex profeso por el que en las fechas del Caso A era Director de Planta (Gerente) D. Eduardo Carrera, y también en mi curriculum, ambos están en el capítulo Consultoría Integral.

Entendemos que el desarrollo del Caso B se va a ver beneficiado por el camino recorrido en el Caso A, no son por tanto dos casos independientes sino que podríamos decir que el Caso B es una evolución del Caso A. El objetivo fundamental de presentar los dos casos es doble:

- Por una parte hacer constar que efectivamente los diferentes tipos de mantenimiento pueden tener su cabida y que el sentido común, además del conocimiento adquirido en el presente Proyecto, nos deben de ayudar a buscar las alternativas más adecuadas en cada caso.
- Por otra hacer constar cómo el Soporte Técnico en el Desarrollo de La Función Mantenimiento tiene realmente las ventajas que hemos comentado con anterioridad.

CASO A

Vamos a mostrar cómo la implantación de la Función Mantenimiento supuso una mejora importante en el beneficio empresarial. Vamos a mostrar también la relación del desarrollo de implantación con los modernos métodos de gestión. Se trata a nuestro modo de ver de un caso representativo de Voluntad y Sentido Común.

Para ir situando el Caso A, iremos presentando unas figuras con las que definiremos la situación que nos encontramos el Director de Planta y yo. Lo primero a indicar es que nos encontramos en una empresa de la División Industrial del grupo FAGOR. El Grupo Fagor cuenta con tres divisiones: Industrial, Bienes de Equipo, Línea Blanca. Decíamos que nos encontramos en un fabricante de piezas de seguridad en el sector del automóvil, como se puede ver en la figura de abajo.

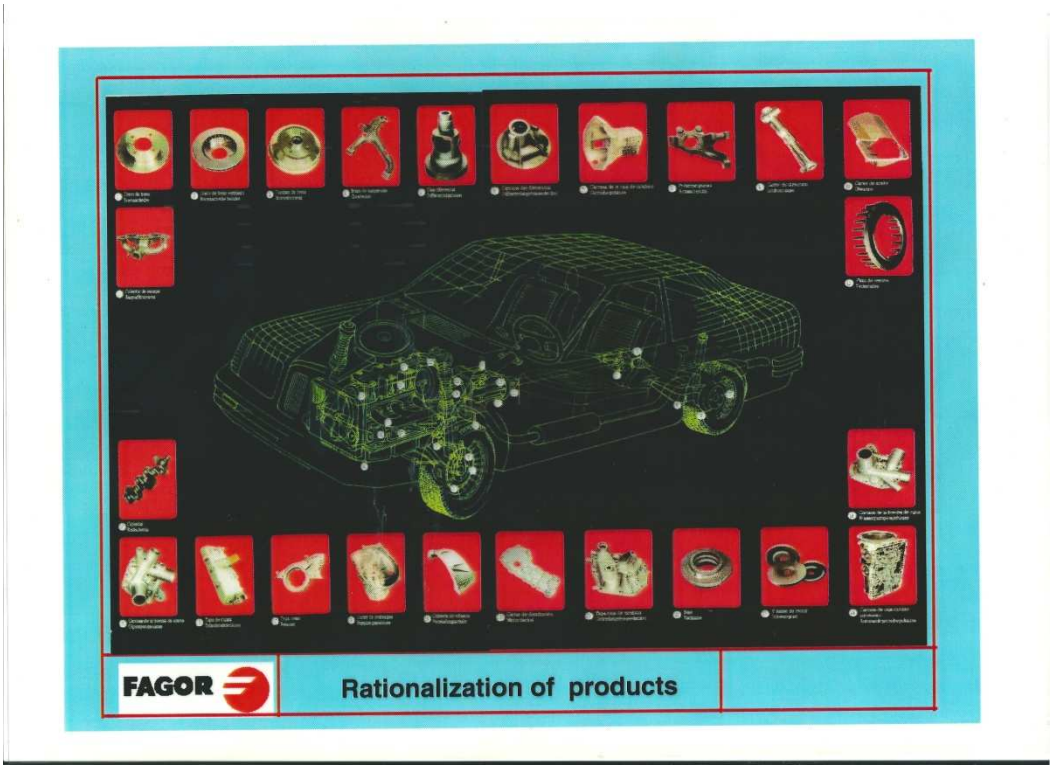


Figura 1

En la figura 1 se pueden ver las diferentes piezas de alta seguridad que se fabrican: Discos y Tambores de freno, Portamanguetas, Brazos de Suspensión, Calipers de freno, Cárteres de Aceite/ de caja de cambios, Tapas de culata, etc. Que están distribuidas por todo el vehículo.

Si observamos la cartera de clientes en la figura de abajo, veremos una importante cartera de clientes distribuidos por toda Europa, donde la exportación tiene una cuota

importante dentro de la cartera de clientes, con el 77% de las ventas totales, esto lo podemos ver como decíamos en la figura 2.

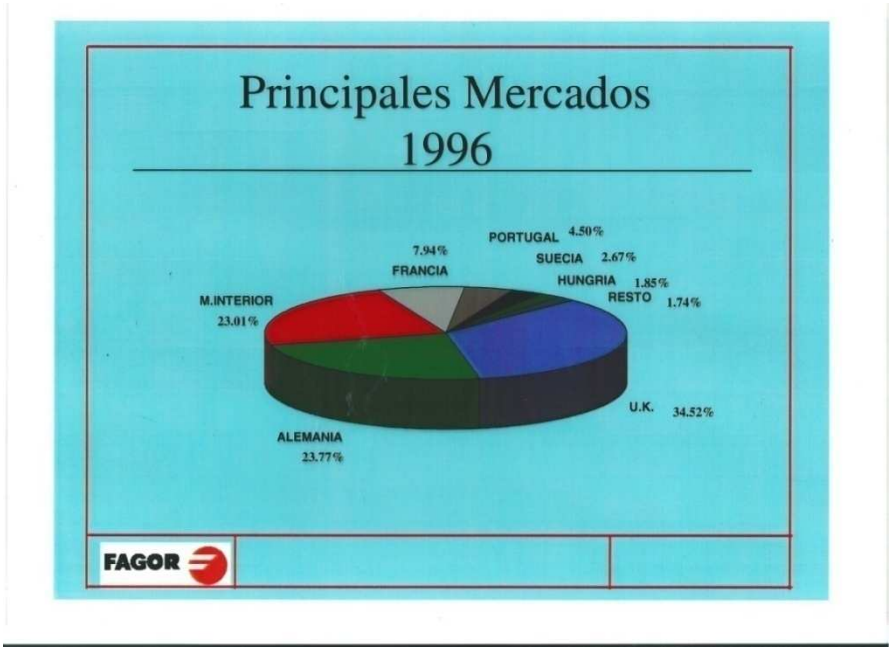


Figura 2

A la vez y como consecuencia de todo lo anterior, la empresa se ve inmersa en un incremento continuado y creciente de sus ventas, con un crecimiento lineal muy importante como se puede observar en la figura 3

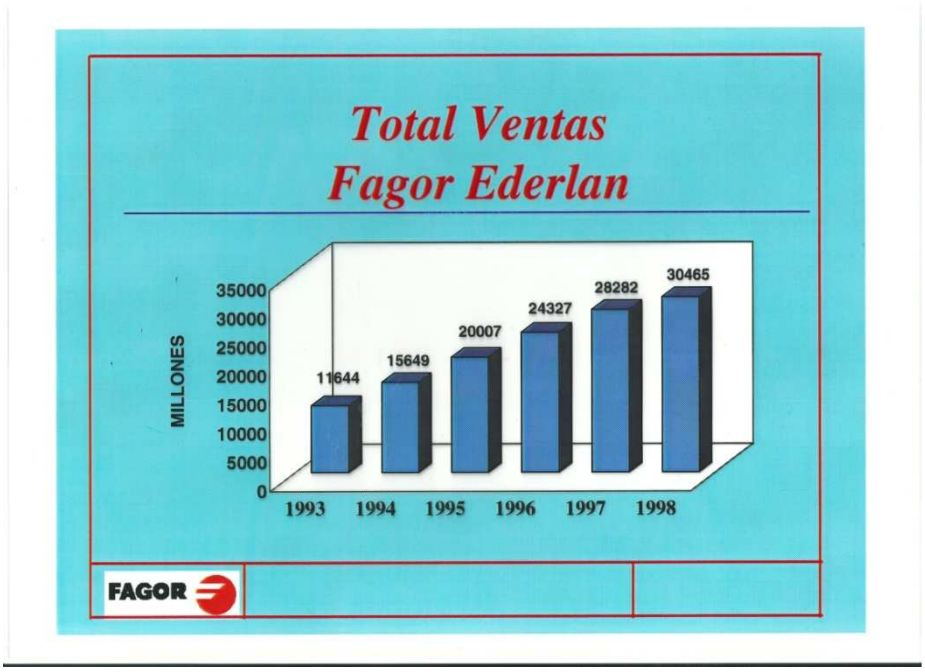


Figura 3

Sin embargo, ese importante crecimiento esta sostenido fundamentalmente por un continuado y creciente proceso de inversiones también, que podrían hacer peligrar la rentabilidad de la empresa, tal y como se puede comprobar en la figura 4:



Figura 4

Y por si esto fuera poco, se ve inmersa además en un continuado incremento de empleados para satisfacer la demanda creciente de los clientes, como se puede observar en la figura 5. Con la producción distribuida en un régimen de trabajo a tres turnos y en algunas ocasiones a cuatro turnos.

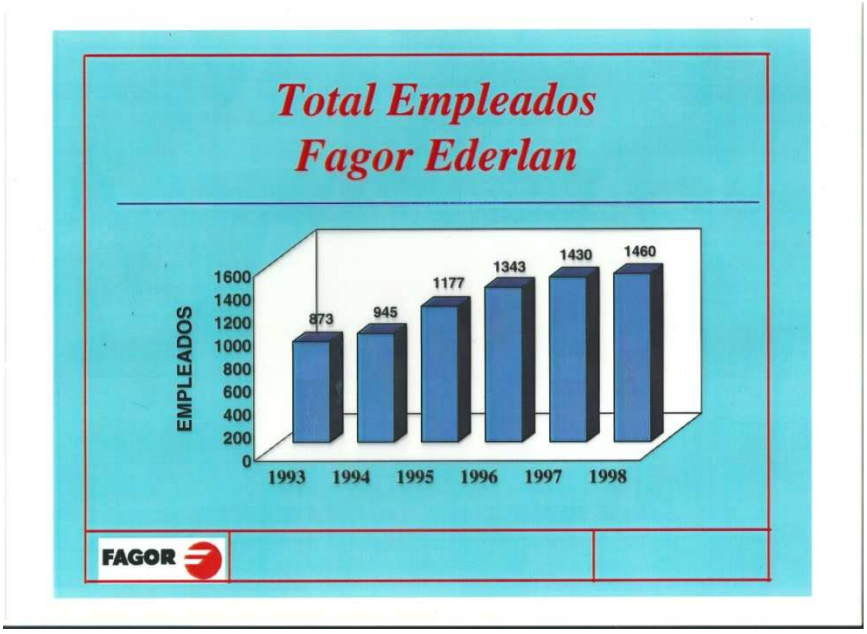


Figura 5

Esta situación de crecimiento continuo desmesurado hace que se conviva en una dinámica en la que no se pueden parar las instalaciones porque no se llega a la producción, pero tampoco están cuantificados el valor de la perdida de Margen Bruto y no hay manera de romper ese círculo vicioso:

- Los equipos se paran de manera inesperada, no avisando cuando tienen un problema.
- Los equipos y medios no se "chequean on line"
- La organización ha asumido la avería como algo con lo que convivir.
- Se quiere ver "la avería reparada" no la "desaparición de la avería".
- Algunas averías, sobre todo eléctricas, cuesta repararlas porque falta información actualizada de programas.
- Hay que trabajar jornadas adicionales porque no se llega a la producción necesaria.

El Layout del caso A es representativo de una línea estándar de fabricación que sirve de ejemplo también para el caso B. La planta tiene 6 líneas de este tipo contornos Danobat, Weisser y Diedesheim, más 3 líneas de fabricación con máquinas independientes y corta producción.

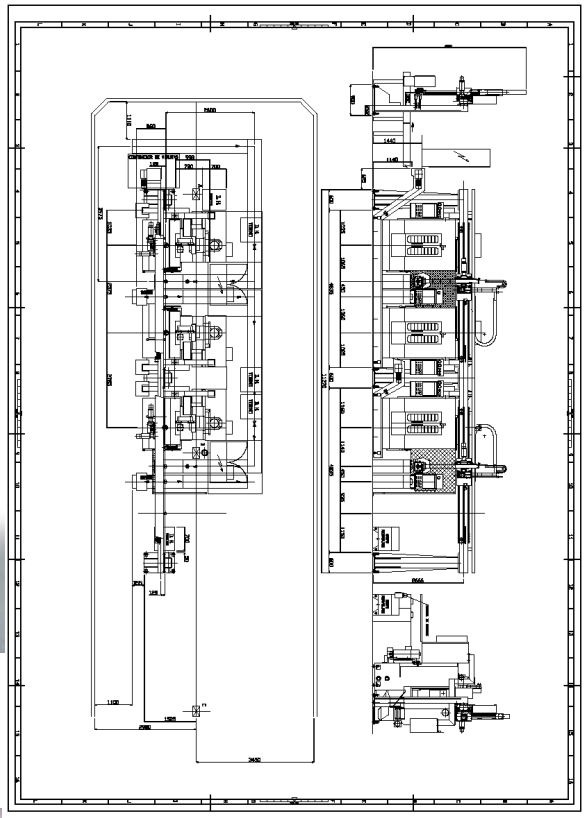








Figura 6

La situación se convierte en insostenible económicamente por lo que se regenera la Dirección, con nuevo Director de Planta, nuevo Jefe de Fabricación y nuevo Jefe de Mantenimiento, y es en esta situación cuando con muy pocos conocimientos del entorno de la Máquina y Herramienta asumo la responsabilidad de la Jefatura de Mantenimiento. La organización se involucra en una nueva forma de trabajar, con la que se consigue un cambio drástico y sorprendente del rumbo de la empresa.

Como se podrá observar en la figura de abajo (figura 7), si nos fijamos en la columna de SITUACIÓN INICIAL, la situación era alarmante. Necesitábamos reconducir la situación con urgencia.

Cuadro de Mando. Lo que pasó en números

DESCRIPCION DE OBJETIVO	INDICADOR	SITUACIÓN INICIAL	META LOGRADA
% Rendimiento de instalación	Piezas fabricadas/piezas posibles de fabricar	58%	80 %
Consumo de herramienta por pieza	Pts / Pieza	29 pts/pieza	21 pts/pieza
Chatarra	p: % de piezas defectuosas	3,1%	0,4 %
Piezas que necesitan recuperación e inspección	Piezas de recuperación / Total fabricado	15%	4 %
Excesos de producción	Nivel de stock	125 Mill.	95 Mill.
Traslados evitables (Movimiento=tiempo= M.O)	Análisis de recorridos : Metros/ Pieza	75	75
Espacio	Area ocupada / Area total	80 %	72 %
	Resultado económico **CONSECUENCIA**	- 180.000.000 pts/año	+ 240.000.000 pts/año

Figura 7

Esta figura 7, presentada bajo el epígrafe cuadro de mando, representa además un cuadro real de gestión de la dirección de una planta, en este caso la correspondiente al ejemplo del Caso A.

Los cuadros de mandos deben de tener pocos indicadores y estos indicadores deben de ser conocidos por toda la organización. Es la forma de conseguir: " que con poco y claro todo el mundo lo entienda", es decir que todo el mundo este centrado en el cumplimiento del objetivo de manera visualmente sencilla.

⇒ Los sistemas de gestión modernos así lo requieren, en el Anexo Métodos de Gestión adjuntamos algunos resúmenes de los métodos de gestión más

importantes para su rápida comprensión y contextualización en el presente proyecto. Por ejemplo si nos fijamos en el esquema de del método 6 sigma veremos que se definen los siguientes pasos: Definir, Medir, Analizar, Implementar y Controlar

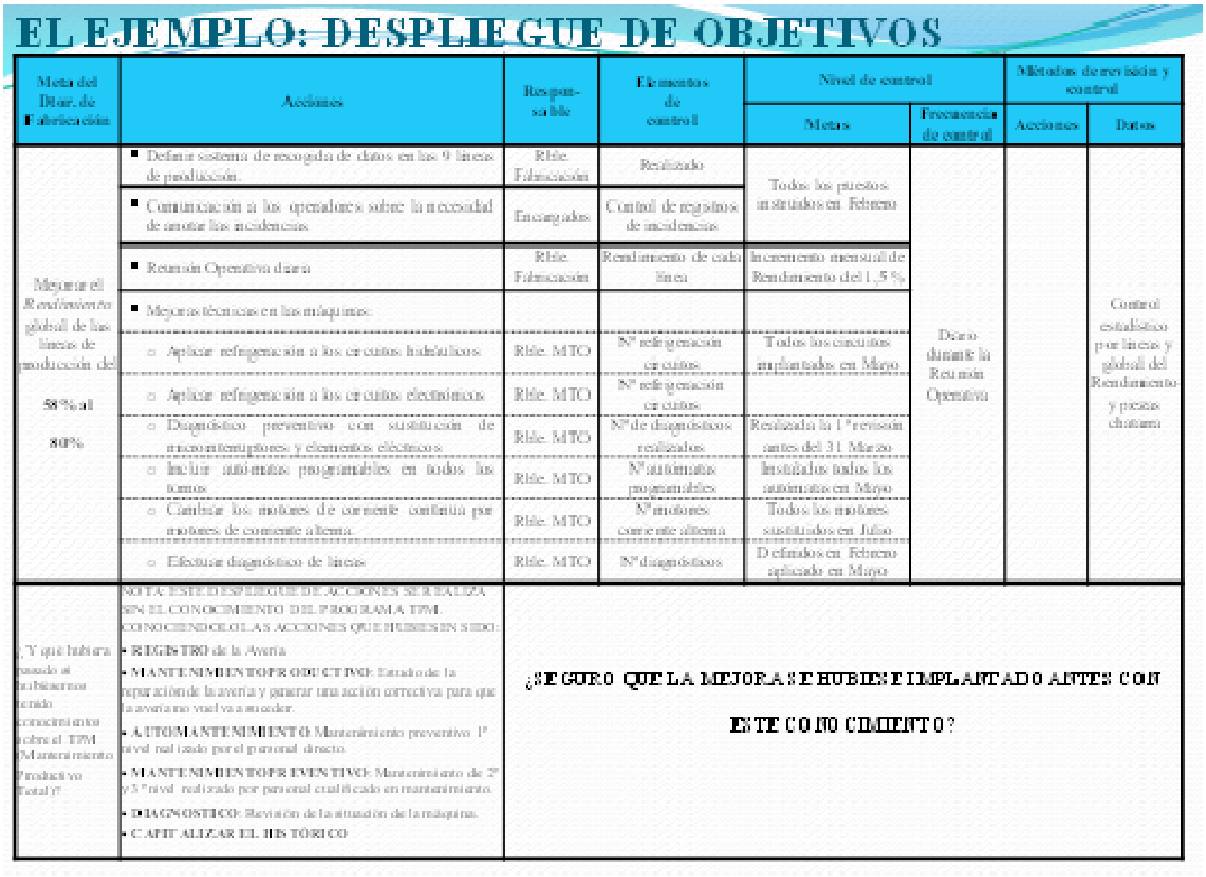
El cuadro de mando están *Definidos*, y sirve para *Medir y Controlar* los parámetros principales de Gestión. Para la interpretación adecuada de este cuadro de mando, indicamos a continuación el significado de cada indicador *Definido* para este caso A.

- % de Rendimiento, modernamente se le llama Efectividad Global (OEE, Overall Equipment Efficiency)
- El consumo de Herramienta (Hta.) en pts. /pieza se trata del cociente entre el sumatorio del gasto de todas las herramientas consumidas en la línea (plaquitas, brocas, mangos, etc.) y el número de piezas fabricadas en un periodo de tiempo, normalmente mensual.
- Chatarra: Número de piezas defectuosas, es decir, la pérdida económica de todo el material, más el consumo de herramienta (Hta.), energía y personal, además de la pérdida del margen bruto.
- Piezas Recuperación: Piezas que tienen algún defecto subsanable, a las que añadiendo un coste adicional de recuperación se consigue no perder la totalidad del margen bruto.
- Excesos de Produccion: Stocks que en función de la demanda y capacidad de producción se tienen para atender cualquier contingencia bien de producción bien de aumento de demanda. Es cierto que el JIT tiende a stock cero, pero para ello es necesario desarrollar la fiabilidad de las instalaciones al máximo y es necesario también disponer de la suficiente capacidad productiva. Para evaluar debidamente este concepto conviene tener en cuenta que hay clientes que exigen un stock de seguridad.

Había que, además, *Implementar y Analizar* un sistema que nos ayudara a cumplir con los objetivos.

En la figura 8 se puede ver un despliegue de objetivos, otra vez con no demasiados indicadores y fácil de seguir. Cada área tiene unos objetivos claros y bien *Definidos,* los del departamento de Mantenimiento se eligieron después de una recogida previa de datos (*Medir)* y su posterior análisis (*Analizar*). El sistema no estaba informatizado, requería por tanto mucho seguimiento por parte de todos los implicados, seguimos hablando de

Medición, Análisis, y evidentemente de Implementación de un sistema de toma de *Datos, Seguimiento, y Control* de los resultados (*referencia 16*).



EL EJEMPLO: DESPLIEGUE DE OBJETIVOS

Meta del Dtor. de Fabricación	Acciones	Responsable	Elementos de control	Nivel de control		Métodos de revisión y control	
				Metas	Frecuencia de control	Acciones	Datos
Mejorar el *Rendimiento* global de las líneas de producción del 58% al 80%	▪ Definir sistema de recogida de datos en las 9 líneas de producción.	Rble. Fabricación	Realizado	Todos los puestos instruidos en Febrero	Diario durante la Reunión Operativa		Control estadístico por líneas y global del Rendimiento y piezas chatarra
	▪ Comunicación a los operadores sobre la necesidad de anotar las incidencias	Encargados	Control de registros de incidencias				
	▪ Reunión Operativa diaria	Rble. Fabricación	Rendimiento de cada línea	Incremento mensual de Rendimiento del 1,5 %			
	▪ Mejoras técnicas en las máquinas:						
	▫ Aplicar refrigeración a los circuitos hidráulicos	Rble. MTO	Nº refrigeración circuitos	Todos los circuitos implantados en Mayo			
	▫ Aplicar refrigeración a los circuitos electrónicos	Rble. MTO	Nº refrigeración circuitos				
	▫ Diagnóstico preventivo con sustitución de microinterruptores y elementos eléctricos	Rble. MTO	Nº de diagnósticos realizados	Realizada la 1ª revisión antes del 31 Marzo			
	▫ Incluir autómatas programables en todos los tornos	Rble. MTO	Nº autómatas programables	Instalados todos los autómatas en Mayo			
	▫ Cambiar los motores de corriente continua por motores de corriente alterna.	Rble. MTO	Nº motores corriente alterna	Todos los motores sustituidos en Julio			
	▫ Efectuar diagnóstico de líneas	Rble. MTO	Nº diagnósticos	Definidos en Febrero aplicado en Mayo			
¿Y qué hubiera pasado si hubiéramos tenido conocimientos sobre el TPM (Mantenimiento Productivo Total)?	NOTA: ESTE DESPLIEGUE DE ACCIONES SE REALIZA SIN EL CONOCIMIENTO DEL PROGRAMA TPM. CONOCIENDOLO LAS ACCIONES QUE HUBIESEN SIDO: • **REGISTRO** de la Avería • **MANTENIMIENTO PRODUCTIVO**: Estudio de la reparación de la avería y generar una acción correctiva para que la avería no vuelva a suceder. • **AUTOMANTENIMIENTO**: Mantenimiento preventivo 1º nivel realizado por el personal directo. • **MANTENIMIENTO PREVENTIVO**: Mantenimiento de 2º y 3º nivel realizado por personal cualificado en mantenimiento. • **DIAGNOSTICO**: Revisión de la situación de la máquina. • **CAPITALIZAR EL HISTÓRICO**	**¿SEGURO QUE LA MEJORA SE HUBIESE IMPLANTADO ANTES CON ESTE CONOCIMIENTO?**					

Figura 8

En la figura 8, de arriba, vemos el despliegue de objetivos más importantes para los departamentos de Produccion y Mantenimiento.

Los logros obtenidos son espectaculares, la tabla inicial no deja duda alguna al respecto:

- La OEE se eleva desde el 58% hasta el 80%, lo que representa una mejora comparativa del 38%.
- El coste de Hta. por pieza pasa desde 29 ptas. hasta 21 ptas. lo que representa una reducción del 27,6%.
- Las piezas chatarra pasan del 3,1% hasta el 0,4% lo que representa una reducción del 87,1%.
- Finalmente el dato más importante el balance que pasa de -180.000.000 ptas./año a +240.000.000 ptas./año, lo que representa una diferencia lineal de 420.000.000 ptas./año.

Evidentemente estos logros no se hubieran conseguido sin un liderazgo en la búsqueda de los objetivos y por lo tanto de la Gestión. Si nos fijamos ahora en la teoría de EFQM, *referencia 15*, veremos que en este ejemplo se desarrollaron claramente los aspectos de:

1.-LIDERAZGO: Se convivía en una dinámica en la que no se podían parar las instalaciones porque no se llegaba a la producción, pero tampoco estaban cuantificados el valor de la pérdida de Margen Bruto y no había manera de romper ese círculo vicioso.

La acometida del M.R.S. tuvo evidentemente sus luchas internas puesto que en principio no dejaban de ser "más gasto" a añadir a una situación bastante catastrófica. La voluntad y la fe en lo que estábamos haciendo, comenzando por la dirección de Planta, fue la que posibilitó el milagro.

2.-POLITICA Y ESTRATEGIA. Están perfectamente planteadas en las dos diapositivas que hemos expuesto. En el fondo lo que hay es una transparencia total.

3.-PERSONAL. Todo el personal estaba involucrado en la consecución de los objetivos porque estaban claros.

4.-RECURSOS. Evidentemente hubo que poner recursos económicos y organizativos para mejorar el estado de las máquinas, y no fue esta una tarea precisamente fácil.

El resto de los apartados del desarrollo del EFQM se consiguen como consecuencia directa de los anteriores.

Sin embargo, cuando se obró el milagro desconocíamos tanto la metodología del TPM, 6 Sigma, como la de EFQM. Son el posterior conocimiento de las mencionadas técnicas unida a la experiencia adquirida lo que nos permite tener una visión mucho más amplia de los logros conseguidos. En el punto que hemos hecho referencia al *LIDERAZGO,* ya hemos comentado las dificultades que tuvimos para abordar Los Reacondicionamientos Sistemáticos, claro ejemplo de la visión clásica de Mantenimiento frente al planteamiento de La Función Mantenimiento que nosotros intentábamos aplicar y tampoco entonces sabíamos lo que significaban estos términos.

La aportación de La Función Mantenimiento está ampliamente reflejada en la figura 8, bajo el epígrafe Mejoras Técnicas en la Máquinas. En el fondo, aplicando el conocimiento de la Teoría del Mantenimiento, podemos decir que en realidad se trabajó con el tipo de

Mantenimiento de Reacondicionamientos Sistemáticos (M.R.S.) y un incipiente Mantenimiento Preventivo, además de un Mantenimiento Correctivo Planificado de manera manual en las Reuniones Operativas.

No fue una tarea sencilla la que me encontré, por una parte yo no era un experto en Máquina Herramienta, el estado de las Máquinas era lamentable, en los cuadros eléctricos encontrábamos las maniobras a contactores con infinidad de puentes, etc., que hacían muy difícil determinar un problema de fallo en la secuencia de trabajo. Había Tornos con los carros para el mecanizado hidráulicos, de motores Brushless de corriente continua (CC), que consumían muchas escobillas y generaban muchos problemas.

Era tal el estado de la mecánica de las máquinas que cuando empezamos con el Mantenimiento Preventivo y enviaba a los Mecánicos a revisar las holguras, volvían la mayoría de las veces diciendo que no se podían eliminar o ajustar. Se podrá imaginar el lector las dudas que yo tenía porque era incapaz de determinar por mí mismo la veracidad de lo que percibía. Decidí hacer un contraste de hipótesis por dos motivos, por un lado cerciorarme de que lo que percibía era cierto, lo cual querría decir que efectivamente tenía buenos Mecánicos y por otro buscar alguna alternativa para la reparación de la mecánica que si era cierto lo que me decían era absolutamente necesaria. Tras varios intentos di con una empresa de solvencia para la reparación de la mecánica, el diagnostico que hicieron de las máquinas fue el mismo que nuestros mecánicos me decían, por lo que estábamos en el buen camino pero teníamos un gran problema, se necesitaba bastante dinero para la reparación. Los diagnósticos se hicieron en la ejecución del Mantenimiento Preventivo que comenzábamos a organizar, en esta organización colaboraron de manera fundamental los Técnicos de Mantenimiento, mecánico y eléctrico. Me sirvió también para aprender el camino de la subcontratación. Con más medios era capaz de revisar y ajustar, si era posible, más máquinas en menos tiempo, aprendí así a optimizar el tiempo de parada de línea. Una vez hecho el diagnostico, fuimos reparando las máquinas, aprovechando para el cambio de los motores asíncronos de corriente alterna (AC), metiendo autómatas, etc.

Comenzamos con la realización de algunos trabajos de Mantenimiento Preventivo eléctrico los fines de semana, incorporamos la mejora de los refrigeradores en los armarios eléctricos de las máquinas, colocamos intercambiadores de calor con agua en lugar de aire para refrigerar el aceite de algunos grupos hidráulicos puesto que con el aire se calentaba por mal rendimiento.

Comenzamos también con las reuniones operativas y la búsqueda de las soluciones definitivas a los problemas, hoy a la técnica que empleábamos se le llama los 5 porqués. Nosotros buscábamos soluciones definitivas a los problemas, tras un análisis de las posibles causas.

Empezamos a llevar históricos de forma manual.

Con toda esta batería de medidas lo que tuve en realidad es una inmersión rápida y profunda en el Mantenimiento de las máquinas. Trabajé y luché para obtener el dinero para las reparaciones, realmente tuve el apoyo total de la Dirección (Liderazgo), el equipo poco a poco fue adquiriendo confianza y también obteniendo alguna satisfacción por las tareas bien realizadas, en las líneas de Producción fueron viendo poco a poco como nos esforzábamos por mejorar la OEE, con las mejoras, el preventivo, el seguimiento, etc., así se produjo un cambio importante en la mentalidad de todos.

Aprendí a hacer el seguimiento de las reparaciones a la vez que aprendía cómo eran las máquinas por dentro, tuve que involucrarme a fondo.

La situación no me fue nada fácil por muchas razones, todavía recuerdo con nitidez una discusión con el Responsable de Ingeniería por abordar una reparación (MRS) en la que además de la reparación mecánica queríamos abordar la introducción de un autómata y de motores AC para los carros guiados de mecanizado de los Tornos. Me llegó a llamar "hombre peligroso" para la fábrica, por lo que íbamos a hacer, la verdad que era una inversión importante. Esto me recuerda la pelea de si esas reparaciones (MRS) eran gasto o inversión, para nuestro Director eran inversión, sin embargo para la oficina de administración central era gasto, no repercuten de la misma forma en la cuenta de explotación, la inversión se puede amortizar el gasto no. No fue una situación nada cómoda ni sencilla de sobrellevar, como he descrito había bastantes enemigos para nuestra causa Lo que son las cosas, antes de que estallara el conflicto en los Balcanes, un cliente como SEAT vino a pedirnos ayuda porque comenzaban a tener problemas con su proveedor. Coincidió que un cliente nuestro como FORD nos había anunciado su decisión de integrar la producción; eran las máquinas que teníamos recién reparadas. Se hicieron las pruebas de homologación en las máquinas que habíamos reparado con anterioridad por lo que estaban en muy buen estado y obtuvimos unas resultados de calidad impecables, nos llegó el pedido y durante años estuvimos suministrándole las piezas. El tiempo de ciclo había sido mejorado un 5% aproximadamente

debido a la nueva motorización. Evidentemente era una inversión, además de necesaria muy rentable.

El Gasto de Mantenimiento subió pero podemos afirmar también que el Coste de Mantenimiento bajo notablemente, aunque entonces desconocíamos la existencia de estos conceptos. Lo que está claro es que los 420 M de ptas./año de mejoría dan para gastar en Mantenimiento si se consigue una mejora de la OEE, como es el caso y eso es muy rentable para la empresa. Sin saberlo exactamente estábamos aplicando los preceptos de La Función Mantenimiento: aplicando diferentes tipos de Mantenimiento, MRS, MPe, gestión de las incidencias (no había GMAO), etc., y utilizando recursos económicos para una mejora de la OEE que nos llevara a una situación económica buena (en el fondo con lo que sabemos hoy de la teoría gestionamos el coste indirecto –parada, chatarras, piezas recuperables-). Por eso aunque el gasto de Mantenimiento subió El Coste de Mantenimiento bajo notablemente y nos hizo invertir de manera mágica la cuenta de resultados, no sin esfuerzo y tesón a tenor de lo que hemos descrito.

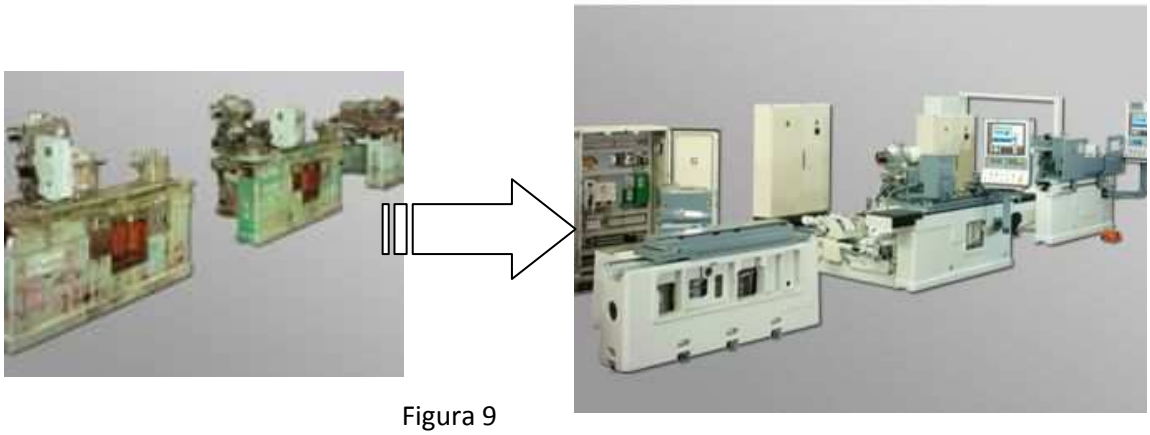


Figura 9

Figura 9 Representa un antes y un después de una intervención de Mantenimiento de Reacondicionamientos Sistemáticos (MRS), se trata de un caso real aunque no del presente Caso A.

Lo que se demuestra con este ejemplo es que el M.R.S. es un Mantenimiento que permite además de mejorar la eficiencia global (OEE), mejorar los ratios de calidad.

Las máquinas normalmente están sujetas a pequeños desgastes continuados, debido al esfuerzo de operación. Conviene conocerlos e ir programando con el paso de los años su puesta a nuevo, modernamente es llamado también retrofiting.



Figura 10

En esta fase sentamos las bases para la aplicación del Mantenimiento Preventivo, que luego fueron el soporte para el desarrollo del apartado correspondiente en el siguiente caso. Fue la aplicación del Mantenimiento Preventivo la que propició también parte de las intervenciones de MRS, sobre todo en la parte mecánica de las máquinas:

Ejemplo de Mantenimiento Preventivo: Comprobación de holguras de las guías de las unidades de mecanizado y husillos. Estado de los rascadores de las guías. Ajuste de las cuñas de las unidades de mecanizado mientras el desgaste de los sistemas de fricción lo permita.

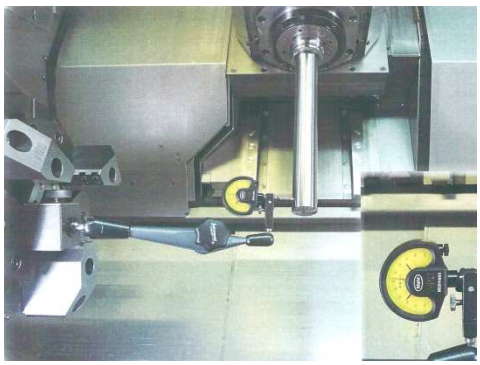


Figura 11



Figura 10 y 11 Representan una medición de holguras en cabezales, unidades de mecanizado y husillos a bolas. La técnica es parecida. Se coloca un reloj comprador fijado mediante una base imantada en una superficie rígida de la máquina y se fuerza la holgura mediante un útil suficientemente rígido. El reloj comparador que se usa es centesimal o milesimal.

CASO B

En el presente ejemplo vamos a ver como el desarrollo de la Función Mantenimiento, esta vez mucho más completo y a la vez mucho más complejo, permite mejorar los Costes de Mantenimiento (mejora de la OEE con menos gasto y personal). Donde además de la importancia del Liderazgo, tan importante como en el caso anterior aunque en este caso no parezca tan evidente, está la importante aportación de la Técnica al desarrollo de la Mejora.

Nos encontramos en el mismo entorno anterior, la figura de abajo (figura 12) lo refleja, siendo la misma empresa que sigue fabricando piezas de seguridad para el mundo de la automoción, con una muy importante implantación en el mercado Europeo, el aumento de ventas sigue siendo continuado, así como el nivel de inversiones, esto hace que las líneas de fabricación pasaran de 9 a 14, lo que nos da una idea del crecimiento del parque de maquinaria, van apareciendo máquinas Transfer de Mecanizado, tanto lineales como rotativas. El fundamento mecánico de las Máquinas Transfer es parecido que el de los Tornos, existen diferentes unidades o estaciones de las máquinas Transfer tienen carros guiados y controlados por CNC, y cabezales para el mecanizado. La diferencia es que además incorporan un sistema de transferencia de piezas: un plato divisor en las máquinas rotativas y un sistema galopante en las máquinas lineales, y no disponen del cabezal de giro Pieza, la Pieza está amarrada siempre a un utillaje y no se suelta hasta que esté terminada.



Figura 12

En definitiva esta figura de arriba (figura 12) resume un entorno industrial igual que para el primer caso, puesto que se trata de la misma empresa, aunque en un momento posterior, inmersa en el proceso de expansión y además inmersa en un proceso de traslado de las líneas productivas a otro pabellón mucho mayor, en el cual se van incorporando las nuevas líneas de producción.

Según lo que hemos explicado en el documento Desarrollo de Implantación se establece el esquema general de la figura de abajo (figura 13) para la Implantación del Desarrollo de la Función Mantenimiento:

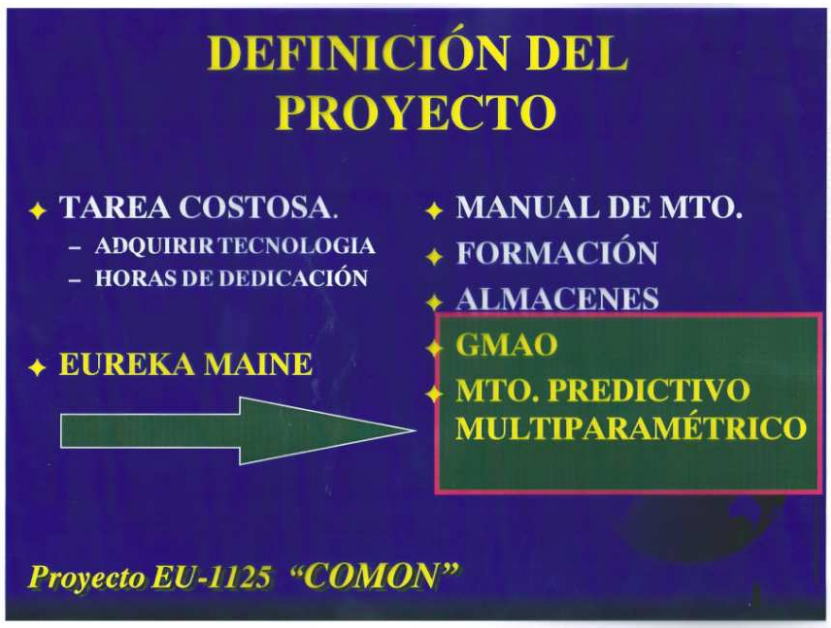


Figura 13

Lo que la figura precedente representa es que en nuestras reflexiones iniciales, promovidas fundamentalmente entonces por J.M. Sarasua, pensábamos que la Implantación era una tarea muy costosa porque requería tanto la modernización de la organización como la adquisición de tecnología, la cual era muy costosa, no estábamos seguros de ser capaces de abordar por nosotros mismos ese camino.

Pensábamos que se trataba de una tarea costosa porque estábamos envueltos además en una fase de crecimiento muy importante, por ejemplo en la Planta de Mecanizados en la que yo era Jefe de Mantenimiento estábamos inmersos en una fase de traslado progresivo de las instalaciones a otro pabellón situado a 10 ,km, para poder seguir ampliando las Líneas de Producción, que paulatinamente se iban montando hasta llegar 14 Líneas, compartiendo instalaciones de producción en dos pabellones distintos. Fuimos aprovechando el traslado para incorporar algunas mejoras que posteriormente con el conocimiento de la teoría se

define como Mantenibilidad, ya habíamos aprendido algunas cuestiones importantes en el desarrollo del Caso A.

En esta situación pensamos que un consultor externo podría servirnos como estímulo y acicate que nos sacara de nuestro día a día. Habíamos realizado varios contactos tanto con los Consultores como con el posible suministrador del material para el Análisis de Vibraciones, para el que nuestra referencia de contacto era entonces una persona de acreditada solvencia en análisis de vibraciones. Decidimos abordar el proyecto por dos caminos paralelos que convergiesen posteriormente, y lo hicimos por varias razones, por un lado pensamos que era mejor dividir el proyecto entre parte organizativa y el Mantenimiento Predictivo como importante soporte Técnico, por otro lado pensamos que el avance inicial en paralelo sería más rápido.

En este caso lo que conseguimos es una ayuda económica a través del Programa Eureka Maine para la parte Tecnológica del Proyecto: GMAO y Mantenimiento Predictivo Multiparamétrico.

Hay que resaltar que el Consultor fue el que nos abrió los ojos para el enfoque Multiparamétrico.

Si organizamos el desarrollo del Proyecto a modo de diagrama de flujos y/o organigrama, la visión del proyecto quedaría reflejada como en la siguiente figura:

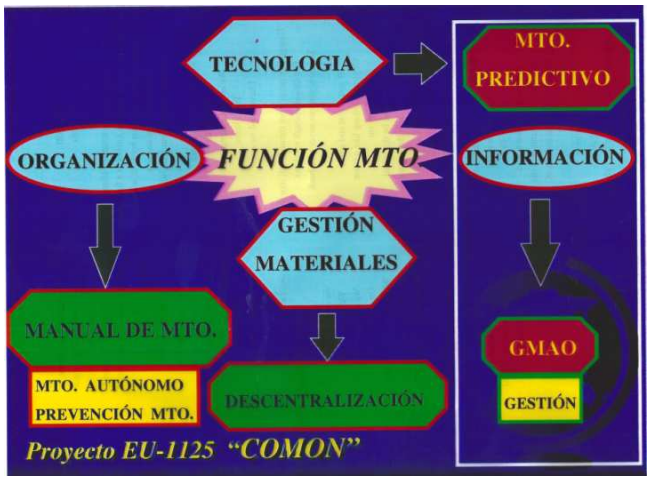


Figura 14

Este planteamiento lo hemos visto en la exposición del capítulo Desarrollo de Implantación. En la figura 14 podemos ver los cuatro proyectos básicos que configuran el desarrollo de la Función Mantenimiento, están colocados alrededor de la Función Mantenimiento, son los Proyectos que van a "traccionar" de La Función mantenimiento.

En la figura 14 podemos ver como en el Manual de Mantenimiento están contemplados tanto el Mantenimiento autónomo como la Prevención de Mantenimiento, se daban los primeros pasos del TPM y lo tuvimos en cuenta.

1.- PROYECTO INFORMATIZACION DEL MANTENIMIENTO

En la figura de abajo vemos lo que hemos definido como fases previas: la definición del circuito documentario y modelización de la empresa con la filosofía de arborescencia para luego poder obtener información que nos ayude a gestionar.

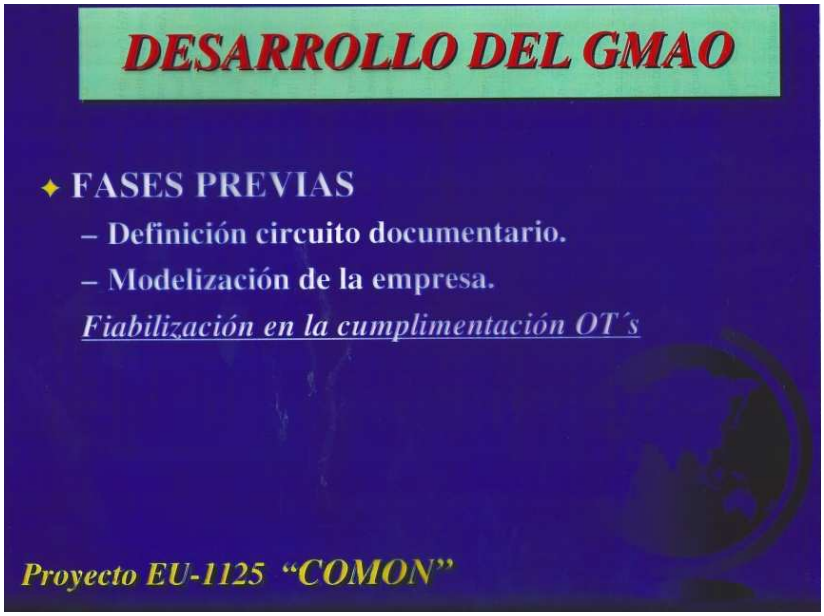


Figura 15

En la fase inicial lo más importante, como ya hemos comentado es la fiabilización de la cumplimentación de las OT´s

GMAO

Se adquirió un programa de la empresa Fagor Sistemas por la disposición del proveedor a personalizar la aplicación. En el capítulo de Principios y Fundamentos cuando hemos desarrollado el GMAO, hemos incidido en la importancia de ello Se estuvieron analizando también MAXIMO y PRISMA2

OT – ORDEN DE TRABAJO -

El gran caballo de batalla por diferentes razones:

- Producción no estaba acostumbrado a emitirlas
- Concienciación de los Profesionales para obtener un alto grado de cumplimentación.



Antes de comenzar la implantación de la OT se realizaron varias sesiones informativas y aclaratorias con todo el personal de mantenimiento. Sirvieron para clarificar muchas dudas.

La implantación generó más de un roce entre los departamentos de Producción y Mantenimiento.

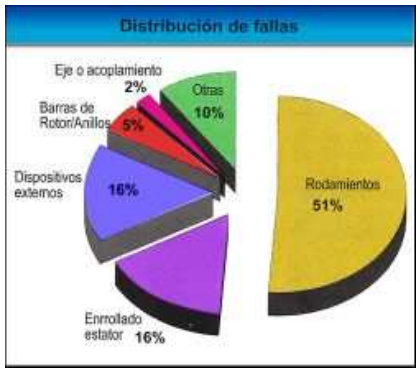
Figura 16

Figura 16 Representa las reuniones que se organizaron en el Palacio de Otalora, un magnifico lugar de reuniones, conferencias y convenciones que el Grupo MCC tiene a las faldas de la montaña de Urkulu. Y que sirvieron para motivar en la cumplimentación de la OT

⇒ Para la elección del programa, el desarrollo del circuito y contenido de la OT se estableció el Equipo de Proyecto formado por : 2 Técnicos del Departamento de Informática, 2 Técnico Mecánicos, 2 Técnicos Eléctricos y los Jefes de Mantenimiento de las 4 plantas

El principal éxito de este proyecto fue la cumplimentación de las OT`s en el primer mes por encima del 96% (2 Sigma)

Figura 17



⇒ El Responsable de Mantenimiento:

- Debe tener claro y trabajar en equipo para elaborar un desglose significativo de los activos, partes de ellos, etc, la arborescencia mencionada en el capítulo de Desarrollo de Implantación. Bien para estructurar una configuración de activos que le ayude en el conocimiento de su estado, bien para que exista homogeneidad dentro de los elementos del conjunto de todos los activos para una posible comparación. Es decir estructurar con perspectiva vertical y horizontal.
- Debe analizar y reflexionar qué tipo de informes sobre el estado de los equipos necesita, desearía tener etc., y tenerlo en cuenta a la hora de "desmenuzar" los activos al objeto de que luego el sistema le aporte lo que desea (Estructura Arborescente).

Merece la pena tomarse el tiempo necesario y dedicar esfuerzos para que el personal pueda hacer sus aportaciones y reciba el feedback del formato que va adquiriendo.

⇒ Se debe fiabilizar la cumplimentación de la OT desde el principio por encima de 2Sigma (96%). Si no se genera el hábito desde el principio no se conseguirá. Indicara que existe un problema de fondo que debe ser analizado con rapidez y actuar en consecuencia. La OT es el documento base para la posterior gestión.

⇒ Dedicar el tiempo necesario y suficiente e estas cuestiones. Previamente a cualquier intento, analizar las dificultades, plantear las soluciones posibles, etc.. Adelantarse prever y tener soluciones es la clave. Hay frases lapidarias al hilo de esta problemática: "otra más", "el enésimo sistema", "otra que va al cubo de la basura", "ya ha venido otro listo con su invento", etc. Son frases que anuncian el fracaso si no se descontextualiza el ambiente en que generan.

El GMAO después de su implantación fue y es capaz de:

- Aportar información sobre las máquinas o elementos de éstas que más averías sufren y establecer planes de mejora. Puedo comentar a título de ejemplo que

he viajado en varias ocasiones hasta Alemania, por ejemplo, para discutir la problemática de varios elementos diferentes de Máquinas diferentes y las estadísticas de fallos han sido irrefutables.

- Ayudar a la planificación de las paradas, con el control de las OT´s pendientes, Boletines de Inspección etc. Con todo ello se planifican las paradas de TPM.



Figura 18

⇒ Lo gestiona la figura del Planificador, es el encargado de preparar el material para las OT´s pendientes a realizar en las paradas planificadas (TPM), coordinar con el Encargado de Mantenimiento y con el Responsable de fabricación. Introduce también las OT´s al sistema, eventualmente si hay alguna laguna de información contacta con el Profesional de Mantenimiento o persona adecuada para que la información sea completa y exacta.

Para el desarrollo del GMAO el equipo de Proyecto trabajo sobre las cuestiones que ya hemos explicado en el Desarrollo de Implantación y que están reflejadas en la figura de abajo, Mantenimiento Correctivo (Urgencia y Planificable, establecimos 4 niveles de urgencia, urgencia 1 parada de máquina, urgencia 2 a reparar en 1 semana, urgencia 3 en 15 días urgencia 4 en 30 días); los Boletines de Inspección (BI) de Mantenimiento Preventivo y Predictivo, la Planificación de las paradas para realizar las reparaciones, Boletines de Inspección, Tareas de Mantenimiento Autónomo, etc.; gestión documental, se escanearon los planos disponibles para la consulta en pantalla, etc.

En la figura 19 presentamos la secuencia del desarrollo del Proyecto de GMAO en el Caso B. Comenzamos con la elaboración de la OT y por tanto con el control del Mantenimiento Correctivo, seguidamente con los Boletines de Inspección Preventivos primero porque los teníamos bastante desarrollados del Caso A y Predictivo después una vez superada la fase de la Prueba Piloto. En la fase de Gestión de la Documentación digitalizamos todos los planos y documentos que nos pudieran servir y al objeto de tener una información en formato digital fácil de encontrar y que no se perdiera en la utilización.



Figura 19

En la fase de Planificación, como se había comenzado también con el desarrollo del Proyecto de TPM, el GMAO fue fundamental para la coordinación y planificación de las tareas a desarrollar en lo que llamábamos paradas TPM.

En la figura 20 se puede ver el diagrama de flujo del circuito documentario de la OT que en su día preparé sobre una base de acetato:

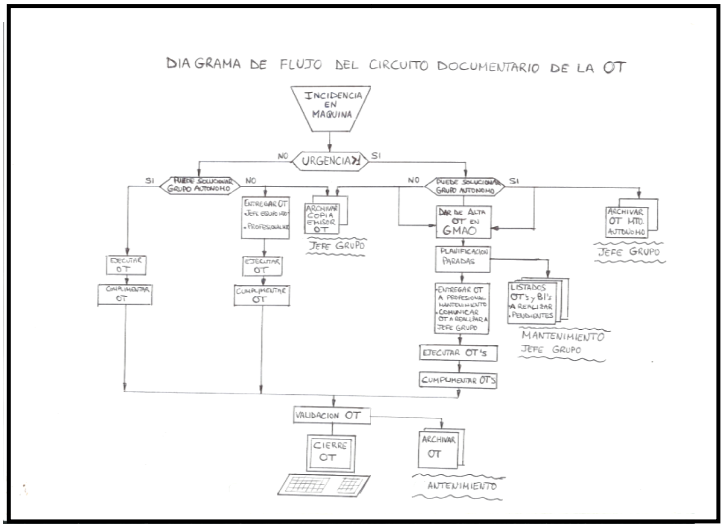


Figura 20

2.- PROYECTO DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO

EQUIPAMIENTO

Dentro del enfoque multiparamétrico se adquirió el siguiente equipamiento:



Figura 21

VIBRACIONES

- Colector de Datos
- Equipo de análisis de vibraciones, soportado en un PC.
- Analizadores de impulsos de choque de rodamientos. Equipos manuales sencillos que pudiera utilizar cualquier Profesional de Mantenimiento

Figura 21 Representa todas las actividades relacionadas con el Análisis de Vibraciones, mediciones OFF Line, On Line, diversas gráficas de seguimiento, etc.

TERMOGRAFÍA

- Cámara Termográfica

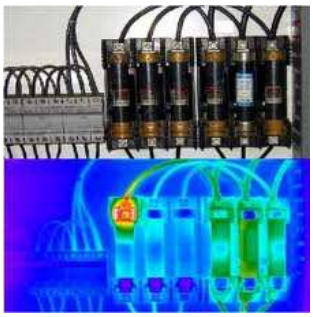


Figura 22



Figura 23

Figura 22 y 23 Representan un Termograma sencillo donde se aprecia un problema de contacto y una sencilla Cámara de Termografía

Se adquirieron también los siguientes diversos equipos como:

VARIOS

- Lámpara estroboscópica: Para ver la velocidad de giro de los elementos.
- Detector de fugas
- Medidor de espesores por ultrasonidos
- Medidor de parámetros hidráulicos
- Control de alargamiento de columnas

SISTEMATICA DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO

ANÁLISIS DE VIBRACIONES

El análisis de vibraciones lo desarrollamos según la figura 23. Tuvimos trabajo con la prueba piloto que fue una Línea como la del Layout de ejemplo. Utilizamos la norma ISO, La Carta Rathbone al principio (*referencia 13*), cotejamos los valores globales, establecimos las alarmas con el soporte Técnico del proveedor. Mientras adquiríamos el dominio de la herramienta hubo un problema con el colector, cambios de modelo, desmontamos algún rodamiento y no fuimos capaces de ver el problema, algún otro rodamiento fallo mientras aprendíamos a establecer los valores de alarma, aunque sabíamos que estaba mal. Teníamos muchos problemas para medir en la cadena cinemática por lo que determinamos colocar sensores fijos.

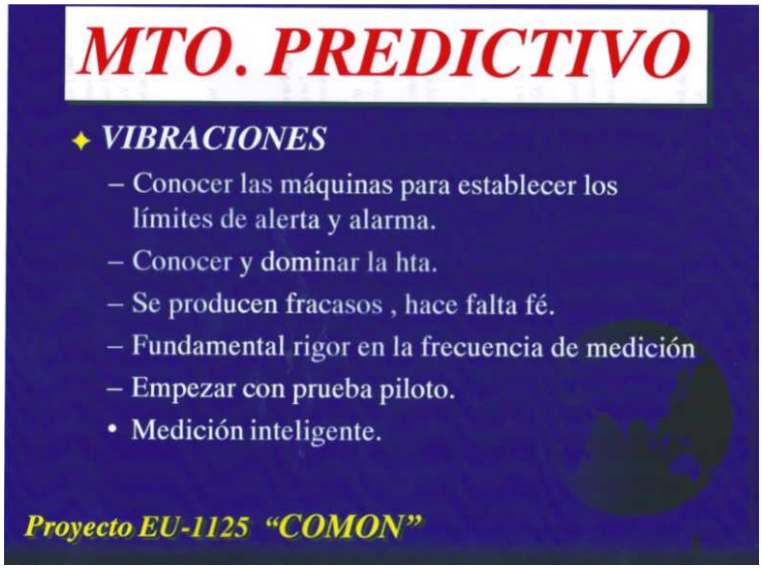


Figura 24

Ya hemos comentado en el Desarrollo de Implantación las cuestiones que debemos tener en cuenta en la implantación, en la figura 23 las volvemos a ver reflejadas.

En el artículo de la *referencia 9*, aquel que esté interesado tiene en sus dos primeras páginas perfectamente estructuradas la organización de la sistemática. Nosotros preferimos darle un enfoque más pragmático, de esta forma tendrá una visión más completa.

Lo primero que se debe hacer es lo que se denomina parametrizar la planta.

El primer nivel de dicha parametrización es lo que en el caso práctico se denominan Líneas, bajo el epígrafe de Fagor Ederlan-Mecanizados Olia (figura 25) , que sería en este caso el nivel superior de planta, aparecen 14 líneas de producción y tres Líneas auxiliares.

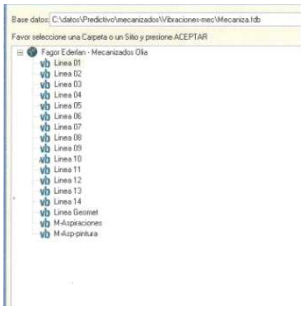
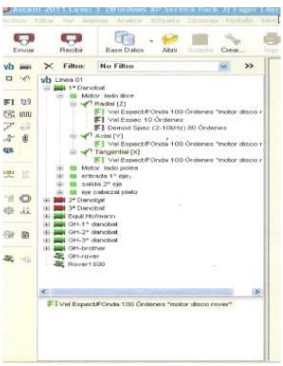


Figura 25



Bajo el nivel de Línea cuelgan las diferentes máquinas o activos (figura 26). El Layout genérico (figura 6) que ya hemos presentado sirve como ejemplo para el presente Caso B también, debido a que en el presente Caso B se trata básicamente de 14 líneas de fabricación de similar diseño a las del Caso A, las máquinas de la Línea son:

Figura 26

3 Tornos Danobat

1 Equilibradora

3 Grupos Hidráulicos uno de cada Torno

1 Centro de Taladrado con sus grupos Hidráulicos

El siguiente nivel, (figura 27), es el específico de máquina o activo. Los Tornos son el corazón o activo principal de la Línea, donde realmente se consigue el 80% de la pieza y es por ello que su cadena cinemática es duramente sometida a fatiga por el trabajo de mecanización.

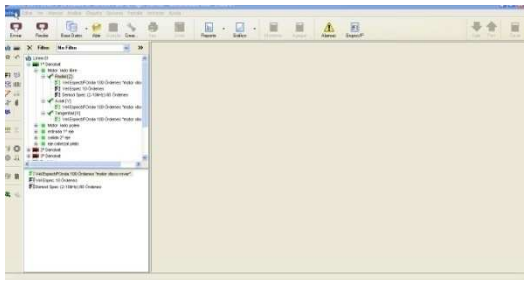
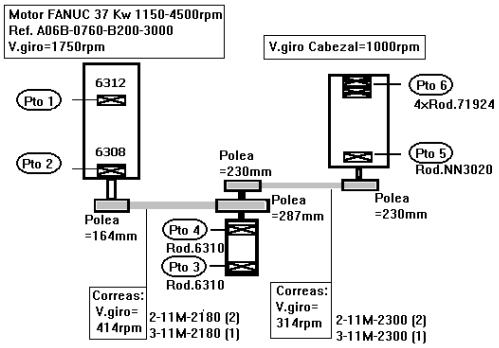


Figura 27

Figura 28



En la figura 28 se pueden ver mejor los distintos puntos de parametrización de la cadena cinemática de un Torno en el programa de gestión de Mantenimiento Predictivo, también presentamos un esquema de la mencionada cadena cinemática. Estos datos de la cadena cinemática son los que, una vez introducidos en el sistema, serán la base sobre la que el programa de análisis desarrolle su trabajo de detección de anomalías.

Tanto en la equilibradora como en el grupo hidráulico se parametrizan el motor y la reductora o bomba según el caso.

Presentamos el Torno como ejemplo ilustrativo debido a que es mucho más complejo.

Podemos observar como en la parametrización de la Línea aparecen los Grupos Hidráulicos (GH), a los que se les aplica la técnica predictiva de Análisis de aceite.

A los armarios eléctricos y a los motores de los activos no principales se les aplica la técnica predictiva de la Termografía.

⇒ Como se podrá deducir la parametrización está realizada con intencionalidad porque a cada activo de la Línea se le puede aplicar unos parámetros de On Condition o Según Estado específico y se puede tener una visión rápida del conjunto tanto para su seguimiento como para la descarga de rutas.

La optimización de las rutas es una labor importante y ello requiere un trabajo previo antes de la parametrización definitiva de la planta. Por ejemplo en el presente caso sabemos de manera fácil que tenemos que analizar:

- Por Análisis de Vibraciones la cadena cinemática de los 3 Tornos
- Por Termografía los armarios eléctricos de los Tornos, Equilibradora, Centro de Taladrado.
- Los Grupos Hidráulicos mediante análisis de aceite.

Una vez parametrizada la Línea, si se trata de una prueba piloto, o la planta si ya estamos en pleno desarrollo, lo que tenemos que hacer es proceder a la toma de datos. Previamente en la parametrización habremos utilizado la Carta de Rathbone, los criterios de severidad de la vibración por tipo de máquina de la noema ISO 2372, y el conocimiento que hoy los proveedores de equipamiento ya tienen y habremos marcado unos niveles de alarma. En el Anexo Análisis de Vibraciones tenemos las tablas en el artículo de la Universidad de Navarra.

Con los actuales colectores de datos con los que está trabajando la Planta podemos recoger la señal de vibración y guardar los espectros desde 10 veces la velocidad de giro hasta 100 o más. Esto no quiere decir que debamos tomar todos los registros con 100 veces la velocidad de giro y guardarlos, puesto que lo que conseguiremos es una elevada ocupación de memoria sin aportar nada. Hay que tener en consideración que con otras marcas es posible que existe alguna pequeña diferencia, pero la base de funcionamiento es la misma.

Por lo tanto lo habitual es recoger los datos a 10 veces la velocidad de giro y cuando nos avise el nivel de alarma cambiar de rango para su seguimiento. Presentamos la figura 28 con un espectro normal, es decir sin nivel de alarma, que está tomado a 10 veces la velocidad de giro.

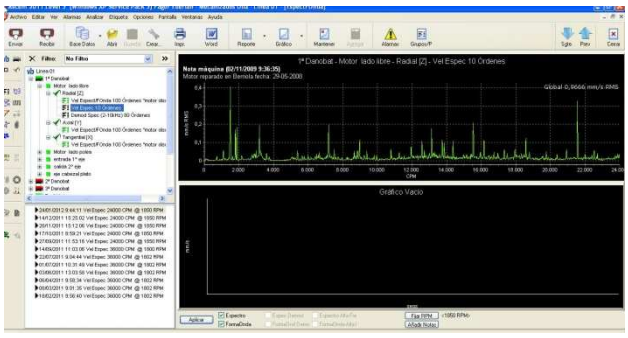


Figura 29

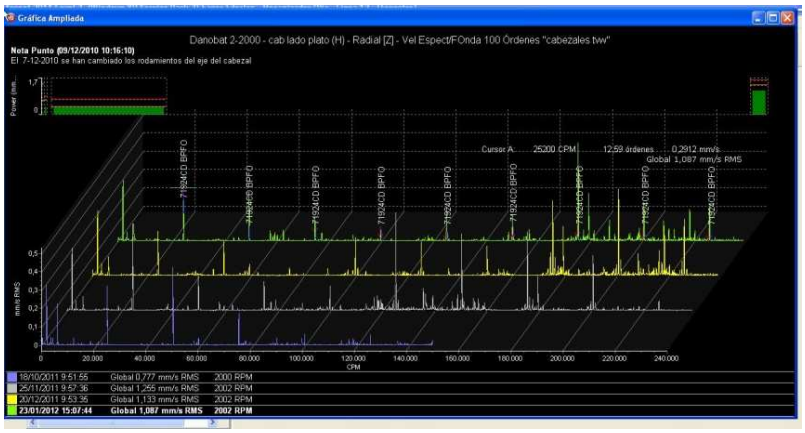


Figura 30

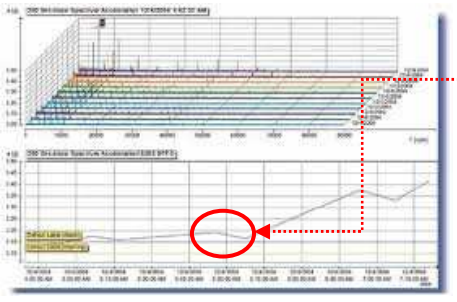
Por otra parte, como ejemplo de seguimiento una vez superado el nivel de alarma, presentamos la figura 30 en la que aparece el seguimiento del problema, con la toma del espectro a 100 veces la velocidad de giro. La razón es que en los fallos incipientes de los rodamientos aparecen armónicos o sub-armónicos a altas frecuencias.

Como ejemplo de análisis y apoyo del programa, sobre el último espectro guardado se han indicado las distintas frecuencias de los armónicos, en este caso se trata del rodamiento 71924CD del eje del cabezal (punto 6) y se trata de un problema en BPFO, que es la pista exterior del rodamiento, podemos comprobar las nomenclaturas habituales también en la pag.1 de la *referencia 12*.

En la figura 30 se puede ver la potencia de análisis y presentación de un Software de Análisis de Vibraciones.

- En primer término tenemos el espectro de vibración con la máquina en buen estado con un valor rms de velocidad de vibración de 0,777, que para una Máquina Herramienta (Clase I/Clase II de la norma ISO 2372) está bien.
- En las siguientes mediciones el valor rms va evolucionando de 1,255, en la siguiente 1,133, y finalmente de 1,087.

Figura 31



Podríamos pensar que no nos debemos preocupar, sin embrago debemos tener en cuenta el cambio importante del valor de rms entre la primera y segunda medición, si nos fijamos además en la segunda medición van apareciendo armónicos a alta frecuencia que nos van indicando que algún problema en algún rodamiento está apareciendo. Si nos fijamos ahora en la zona de alta frecuencia de los espectros, veremos que se van llenando de armónicos progresivamente en

las sucesivas medidas posteriores. El programa además, permite analizar las frecuencias de los armónicos, en este caso como hemos indicado arriba se trata de un problema en la pista exterior, lo hubiésemos podido determinar de la misma forma en la segunda medición y en el resto de las posteriores mediciones, aunque para la presentación del ejemplo se ha realizado en la última medición.

Lo que la figura 31 representa es un cambio brusco en una zona baja del valor global de la onda, lo cual en principio no nos debe preocupar hasta que llegue a un valor que supere el límite de alarma.

Volviendo al caso práctico, lo que se ha hecho en la segunda medición es ampliar el espectro a 100 veces la velocidad de giro porque se ha detectado un aumento importante del valor global rms de la velocidad de la vibración. Nótese que el valor global de rms estaría en el rango B de satisfactorio según la norma ISO 2372 (Clase II, aunque en la zona alta de la Clase I)). Sin embargo en este caso el cambio ha sido muy importante, ha pasado de 0,777 a 1,255 (61,52% de incremento) y como hemos indicado en los capítulos de Principios y Fundamentos lo importante es la evolución en el tiempo. También hemos indicado con el ejemplo de la presión arterial que debemos conocer al paciente. Si por ejemplo el valor de 0,777 o parecido se diese en más maquinas seria un indicativo de valor estándar.

O también podríamos pensar que nuestra máquina está más cerca de la Clase I que la Clase II. Aunque el valor rms global haya bajado, esto es algo que sucede en la evolución de los fallos, luego comienza a subir bruscamente y se produce el fallo. En todo caso, repetimos, lo importante es el seguimiento de la evolución y en este caso ha empeorado claramente.

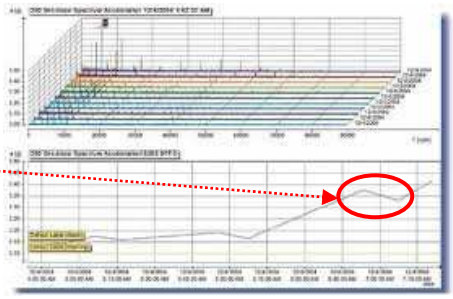


Figura 32

En la figura 32 podemos ver que el valor global vuelve a bajar para en la siguiente medida volver a subir, es posible que se esté cerca del fallo.

Las figuras 31 y 32 que hemos utilizado para ver la evolución del valor global de la vibración no corresponden con las del ejemplo (figura 30). Pero las hemos utilizado porque nos sirven, además de ver las similitudes de los Software de Análisis de Vibraciones, para explicar de manera gráfica el comportamiento real del ejemplo.

Para familiarizarse con la terminología, el Glosario del artículo A-MAQ Análisis de Maquinaria del Anexo Análisis de Vibraciones es muy interesante.

En el articulo Introducción Análisis de Vibraciones (Pequeñas charlas de mantenimiento) hay unas buenas fotos para ver como se instala y mide con un sensor, aunque en las fotos aparece un anclaje mediante imán. Sin embargo nosotros recomendamos si es posible el amarre mecánico por rosca.

En el presente Caso A de ejemplo se creó el puesto de Profesional de Mantenimiento Predictivo, con personal proveniente de la propia estructura de Mantenimiento.

⇒ El equipo de Proyecto estaba formado por 2 Técnicos Mecánicos, 4 Técnicos de Mantenimiento Predictivo, uno por cada planta. En este caso el proveedor estaba ya seleccionado previamente para del Proyecto Eureka, IRD Mechanalisis. Se responsabilizaron de organizar la prueba piloto, optimizar las rutas, hubo problemas con el colector que inicialmente se compró, hubo que hacer re-aprendizajes y seguimientos de funcionamiento de los equipos. Cambiamos algún rodamiento y no veíamos el fallo, hubo que ir ajustando las severidades y aprendiendo de los errores.



Figura 33

Figura 33 Se trata de una prueba en un banco de ensayo. Representa el trabajo inicial en La Prueba Piloto, se podría utilizar algún banco de prueba, etc. para aprender a dominar la técnica.

TERMOGRAFIA

La comprensión de los ejemplos de Termografía es mucho más sencilla, aunque presentamos tres ejemplos de tres problemas diferentes en el fondo es la propia equipo Termográfico el que visualmente nos determina el delta de temperatura que oscila entre los 10-20 ºC y los 80-120 ºC. Dependiendo de la calidad del aparato y por lo tanto lo que hayamos pagado tendrá mayores o menores prestaciones de presentación de informes, precisión de rangos de temperatura, etc.

En la figura 34 presentamos un caso de un motor eléctrico con problemas de refrigeración.

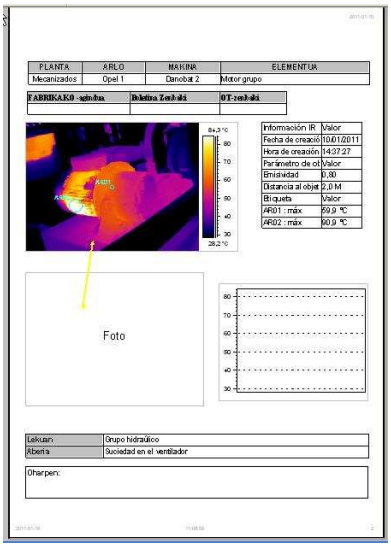


Figura 34

En la figura 35 presentamos un ejemplo de la Central de Transformación de acometida, podemos ver como dos conexiones o bornes de entrada tienen temperaturas entre 139 y 150 ªC, sin embargo la tercera sobrepasa justo los 46ºC.

Sin saber su temperatura, es evidente que los dos bornes tienen un importante problema, previsiblemente de oxidación.

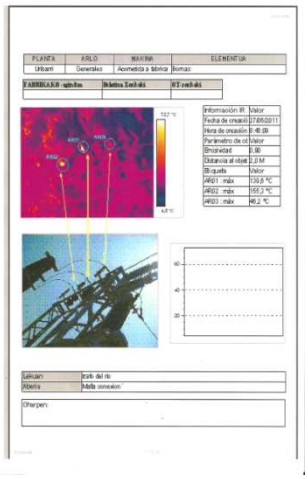


Figura 35

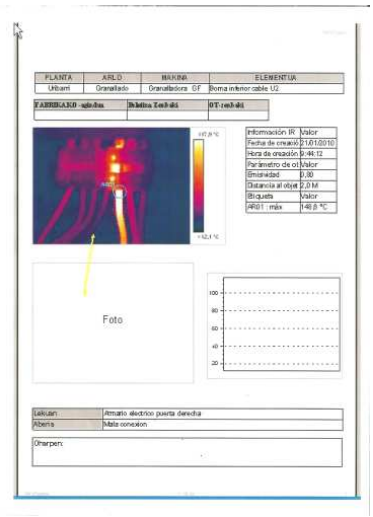


Figura 36

El ejemplo de la figura 36 se trata de un contactor del armario eléctrico de una máquina Granalladora. La temperatura de un lado de uno de los contactos del contactor llega casi a los 120 ºC. La reparación ha consistido en un cambio del contactor, porque el contacto estaba ya muy deteriorado.

En los Principios y Fundamentos de la Técnica hemos presentado otros cuatro ejemplos orientativos.

Queda por tanto suficientemente explicado y aclarado tanto la facilidad del análisis como la eficacia de la Técnica Termográfica.

Vamos a realizar ahora algunas consideraciones prácticas a tener en cuenta a la hora de adquirir un Equipo de Termografia:

- La cámara debe ser adecuada para el uso que se pretende. Conviene elegir un fabricante que ofrezca una amplia gama de posibilidades, a poder ser. Y en función del uso y presupuesto elegir.

- Elegir un sistema que crezca con las necesidades. Si elegimos un fabricante de gama completa podemos empezar con una cámara sencilla y avanzar a medida que adquiramos conocimientos tanto de uso como de detección de problemas.
- Analizar las capacidades del software. Fundamentalmente en los modelos de mayor tecnología.
- Analizar la capacidad del proveedor para la reparación del equipo. Comprobar que el proveedor puede repararlo en un plazo razonable o de que dispone medios para su préstamo durante el tiempo de reparación.
- Formación. Evaluar la capacidad de formación inicial y complementaria en profundidad de los posibles proveedores.

ANÁLISIS DE ACEITES

Presentamos algunos informes de análisis de aceites, se puede observar diferentes tipologías de problemas, contaminación por hierro (Fe), nº de partículas en general. Existe una normativa estandarizada que da un valor de severidad del número de partículas, norma NAS 1638, que es adimensional, es un primer valor que indica el estado del aceite. Si no hay muchas partículas quiere decir que no se han producido muchos desgastes de elementos, por lo tanto estado del aceite es bueno.



Figura 37

En el ejemplo de la figura 37 podemos como existe una elevada contaminación de partículas en los tres primeros análisis, estas partículas son principalmente de Fe y algo de Cu y Si. Lo que se ha hecho en este caso es filtrar el aceite con una máquina específica de filtrado que a los efectos compramos en su día y que se dispone en Planta. En su momento, hicimos además, que en el cuaderno de especificaciones de las máquinas se indicara la colocación de dos tomas de aceite con enchufes rápidos, una a unos 100 mm de la base del

tanque y el otro en el otro extremo en la parte superior, precisamente para conectar la máquina de filtraje que compramos. De esta manera lo que conseguimos es filtrar el aceite mientras la máquina trabaja. Se ahorra aceite, tiempo de parada para el cambio de aceite y se evitan desgastes prematuros.

En este ejemplo podemos ver como la contaminación elevada según la norma NAS. La indicación que se realiza es seguimiento.

Figura 38



Figura 39



Presentamos seguidamente el cuadro de la norma NAS 1638:

	CLASSES NAS 1638													
MICRAGEM	00	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
5 a 15	125	250	500	1.000	2.000	4.000	8.000	16.000	32.000	64.000	128.000	256.000	512.000	1.024.000
15 a 25	22	44	89	178	356	712	1.425	2.850	5.700	11.400	22.800	45.600	91.200	182.400
25 a 50	4	8	16	32	63	126	253	506	1.012	2.025	4.050	8.100	16.200	32.400
50 a 100	1	2	3	6	11	22	45	90	180	360	720	1.440	2.880	5.760
Acima de 100	0	0	1	1	2	4	8	16	32	64	128	256	512	1.024

Figura 40

Hoy en día como norma es difícil que un aceite se degrade en sus aditivos, por la misma razón de conocimiento de los aditivos es interesante en llegar a acuerdos con los proveedores de aceites para que nos realicen este análisis, son los que mejor conocen los aditivos que tienen.

Un problema clásico de contaminación del aceite es la introducción de partículas desde el exterior, cuando se trata de Sílice es muy dañino para todo el sistema hidráulico de la máquina. El contenido de (Si) indica el nivel de esta contaminación.

⇒ El planteamiento inicial de estas dos técnicas sin embargo fue el de la figura 41



Figura 41

En la figura 41 vemos el planteamiento inicial de la Termografía y el Análisis de Vibraciones, podemos ver como al principio pensamos en subcontratar la Termografía y adquirimos un equipo de contaje de partículas. Es evidente que no acertamos en absoluto en estos dos planteamientos iniciales, porque terminamos comprando un Equipo de Termografía y Subcontratando el Análisis de Aceites. ¿Por qué no acertamos?:

- Porque la Termografia aplicada a la industria era una técnica relativamente nueva y muy cara, por ello considerábamos que se requería estuviese al cargo de una sola persona para toda las plantas, etc. Como estábamos inmersos además en muchos proyectos de desarrollo de La Función Mantenimiento se decidió primero subcontratar, pero también salía caro y requería también preparación de los operarios. Finalmente se encontró un equipo no demasiado caro y organizativamente encontramos la persona adecuada para ello.
- Después de haber comprado el equipo, hablando con los proveedores encontramos quien dentro del suministro de los aceites nos hiciera el contaje de partículas. Además realiza el análisis de los diferentes elementos.

Conclusión, debemos estar atentos a la evolución de las tecnologías y el desarrollo de los productos por parte de los fabricantes.

3.- PROYECTO DE ALMACÉN DE MANTENIMIENTO

Se creó el Almacén de Mantenimiento incorporando el puesto de almacenero que salió de la propia estructura de Mantenimiento, incorporándose además el almacén de herramientas de Producción. Funciona de modo autónomo. Esta distribuido de manera mixta en repuestos específicos por maquina y generales o genéricos, para facilitar su búsqueda.



Figura 42

Los Profesionales de Mantenimiento y Los Responsables de los Grupos Autónomos son los que están autorizados para entrar en el almacén de mantenimiento, existe una puerta que está cerrada con llave y tienen una llave personal e intransferible. Hacen los vales de salida de los repuestos y también el inventario rotativo organizado por equipos.

⇒ Equipo de Proyecto estaba formado por: 2 Técnicos Mecánicos, 2 Técnicos Eléctricos, 1 Responsable de Almacén. Fueron los encargados de definir la organización y funcionamiento del Almacén de Mantenimiento.



Figura 43

Figura 42 y 43 Representan las diferentes disposiciones del material en un almacén de mantenimiento, con estanterías pequeñas para tornillería, conectores y piezas pequeñas y baldas grandes para el material de volumen o pesad, normalmente las baldas grandes se distribuyen por Línea o Máquina porque el material es específico.

4.- COMITÉ DE COORDINACIÓN



Figura 44

El equipo de coordinación del Proyecto en Fagor Ederlan estaba formado inicialmente por J.M. Sarasua y los 4 Jefes de Mantenimiento junto al Consultor. Al poco de abordar la implantación J.M. Sarasua se jubiló y yo pase a ser el interlocutor con el consultor. Esto me permitió tener la visión de la implantación y la gestión de la problemática con los distintos niveles, desde Gerencia de las cuatro Plantas de Fagor Ederlan, los diferentes Departamentos implicados y el propio de Mantenimiento. Además fue

doblemente enriquecedor puesto que estuvo solapado con la implantación del TPM.

Lo que la figura 44 representa es el trabajo duro y codo con codo de toda la organización, incluido el comité de organización. Me pase muchas tardes-noches en el Hotel donde se hospedaban los consultores para preparan las jordanas de consultoría. Recuerdo la primera pregunta que contestaba o sin preguntar comentaba al consultor: "dame el feedback-feeling", que es el equivalente a preguntar por los puntos más dificultosos a abordar (negros, problemáticos, etc.).

A continuación presentamos algunas gráficas que resumen el fruto del trabajo de todas las partes activas en el desarrollo e implantación del Proyecto.

- En esta gráfica se puede ver la evolución del número de Profesionales de Mantenimiento comparada con la evolución de las ventas en millones de ptas.

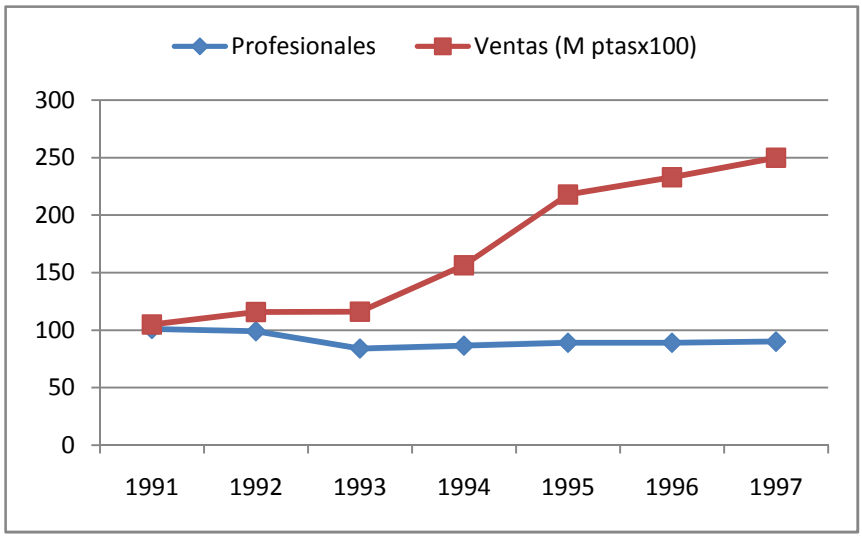


Figura 45

- En la gráfica de la figura 46 se puede ver la evolución del gasto de Mantenimiento respecto a las ventas en porcentaje.

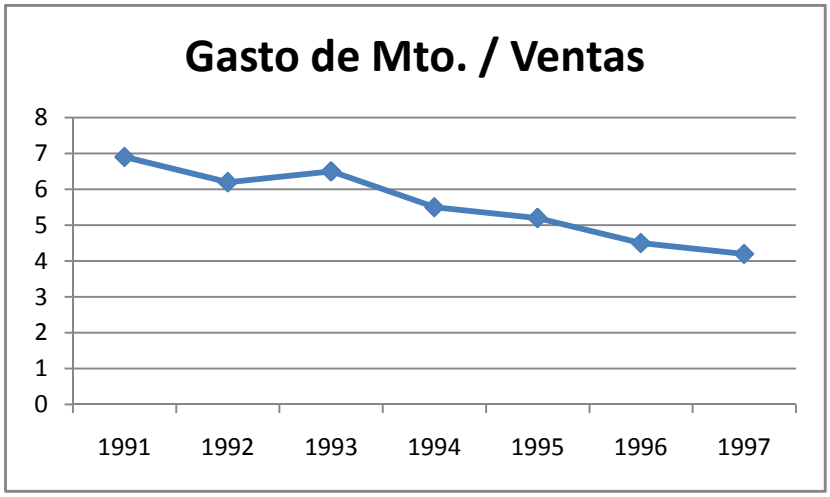


Figura 46

En los Principios y Fundamentos ya hemos comentado que no debe hablarse únicamente del término gasto de Mantenimiento sino que se debe englobar en el concepto de COSTE de Mantenimiento. Sirva el ejemplo también para ilustrar la dificultad de la implantación del mencionado concepto.

Las cifras económicas están en ptas., se ha respetado la moneda por respetar con fidelidad el momento en que se desarrolló.

- En la gráfica de la figura 47 se puede observar la evolución de las OT´s de Mantenimiento Predictivo en el tiempo y relacionadas con el número de puntos de medida preparados para las Gamas de Predictivo.

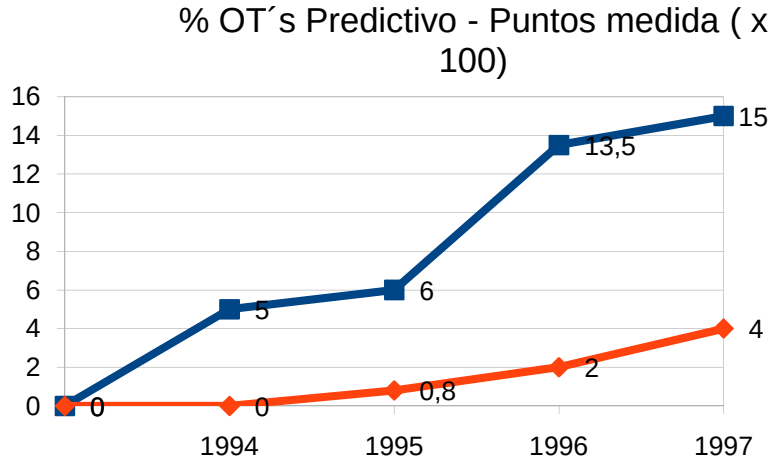


Figura 47

- La grafica en rojo representa la evolución de las OT´s de Mantenimiento Predictivo.
- La grafica azul representa la evolución de los puntos fijos de medida.

Se observa que hay un tiempo necesario para tener registros y conocimiento de las máquinas y se observa también que la curva crece más rápidamente cuanta mayor cantidad de puntos de medida existen. A fecha de hoy podemos decir que el % de OT´s de Mantenimiento Predictivo esta en el 8%, habiéndose duplicado el porcentaje del último año de la gráfica.

Finalmente, faltaría aclarar algunas cuestiones importantes del presente caso (figura 48):

- ¿A que se denomina sensor Fijo (punto fijo de medida)?: Se trata de un sensor (normalmente acelerómetro como ya hemos mencionado con anterioridad) que está instalado de manera permanente.
- ¿Por qué se instalan?: Porque normalmente los puntos de acceso son muy complicados, como es el caso de la Máquina Herramienta, o porque es muy peligroso la toma de datos manual.
- ¿Cómo se instala?: Lo que se hace es colocar el sensor con sobre una base de amarre mecánico (rosca), que está a su vez debidamente anclada en el punto de medición. El sensor tiene un cable de prolongación que saca la toma de conexión del colector hasta un punto accesible.

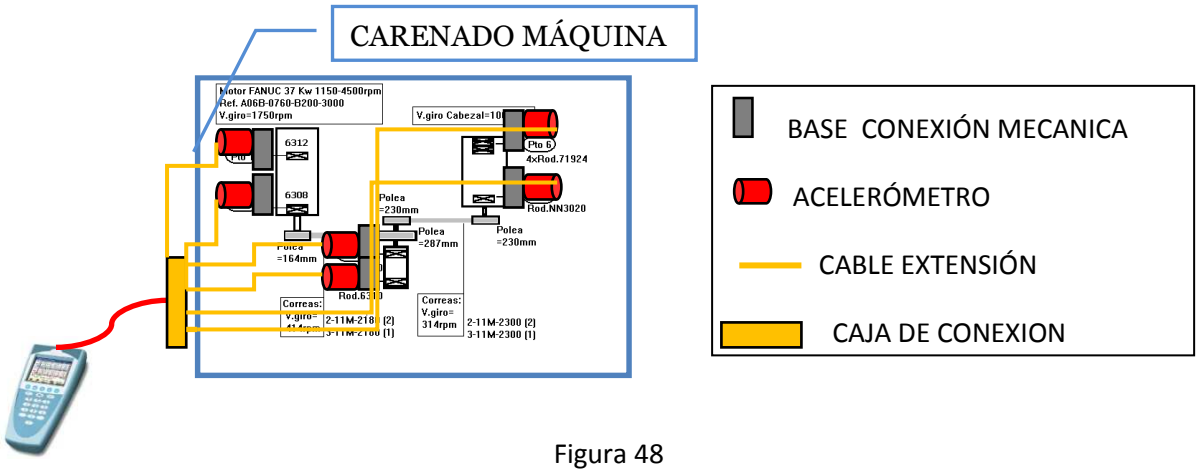


Figura 48

En este caso se fueron colocando sensores fijos (acelerómetros) en tandas de 300 a 500 unidades, hasta llegar a una cantidad total de 1500.

¿Qué conseguimos de esta forma?: Que la toma de datos con el colector sea muy rápida y segura, pudiéndose aprovechar tiempos muertos, etc. Durante el proceso de mecanizado no se pueden tomar datos puesto que la máquina trabaja con continuas variaciones en las velocidades de la cadena cinemática para obtener así el mayor rendimiento en el mecanizado (figura 48).

Este sistema nos facilito enormemente el control de los cabezales de mecanizado en las Transfer, sobre todo en las Lineales, nos hizo ver en muchos casos la poca fiabilidad por falta de rigidez. Realizamos mejoras para rigidizar los cabezales.

La dificultad de la medida en la maquina y herramienta queda reflejada también en el artículo de la *referencia 6*, el cual trata de nuestra experiencia en Fagor Ederlan.

Gracias a la información del GMAO convencimos a Ingeniería para que comprara un centro de mecanizado de una marca en lugar de otra que teníamos en Planta y cuyos datos de fiabilidad eran muy malos, fue un paso importante en la Prevención del Mantenimiento.

Con la implantación del TPM asignamos Profesionales de Mantenimiento a los Grupos Autónomos, conseguimos un paso importante en la Prevención del Mantenimiento en la compra de las nuevas máquinas y en la puesta en marcha rápida de las instalaciones. Tenían la información y estaban motivados, hacían el seguimiento y proponían mejoras.

Recuerdo en una intervención programada de TPM en la que participaba el equipo de Dirección de Fagor Ederlan en la fase inicial de limpieza y eliminación de fugas de la Prueba Piloto, y en la que habíamos previsto el desmontaje de unos carros de unos Tornos Danobat para su reparación en un proveedor exterior cercano, debido al desgaste excesivo detectado en el Mantenimiento Preventivo. Estaban por circunstancias comerciales la dirección de DANOBAT, y estábamos también el Director Técnico de Fagor Ederlan, el Jefe de Planta de Mecanizados, el Jefe de Ingeniería los operarios de la Línea yo realizando las tareas del equipo piloto inicial de TPM. Otra vez la discusión que no se podían desmontar los carros, y yo que sí, con todo el personal citado alrededor, los subcontratistas no sabían qué hacer, seguí en mis trece diciendo que se desmontaban mientras yo fuera Jefe de Mantenimiento. Se decidió revisar al día siguiente junto al Director Técnico de Danobat en las instalaciones de la empresa que iba a hacer la reparación la idoneidad de ella. Al día siguiente sábado, vacaciones de navidad, nos juntamos como estaba previsto en casa del reparador, el Director Técnico de Danobat, los Responsables de la empresa que iba a reparar los carros y yo. El Director Técnico de Danobat confirmó nuestro diagnóstico, la decisión era correcta, para entonces yo no tenía dudas Técnicas (ya lo había aprendido durante el Caso A). Levante el acta de la decisión, la cual firmamos todos los presentes, entregué una copia al Jefe de Planta

otra al Director Técnico de Fagor Ederlan y puse una copia en los tablones de anuncio. Fue la última discusión sobre la necesidad de reparar una máquina.

Todavía hoy las personas de la empresa que hizo la reparación y yo comentamos la anécdota, todos la recordamos como si no hubiese pasado el tiempo. Recordamos lo duro y tenso que fue, lo mal que dormimos todos aquella noche. Pero ayudó mucho a que nos afianzáramos todos en lo que estábamos haciendo.

En este Caso B que nos ocupa cabe señalar también que parte del secreto del éxito estuvo en la implicación de todos los agentes activos incluido el consultor, además del trabajo en equipo.



Figura 49

Lo podemos expresar gráficamente con la figura contigua:

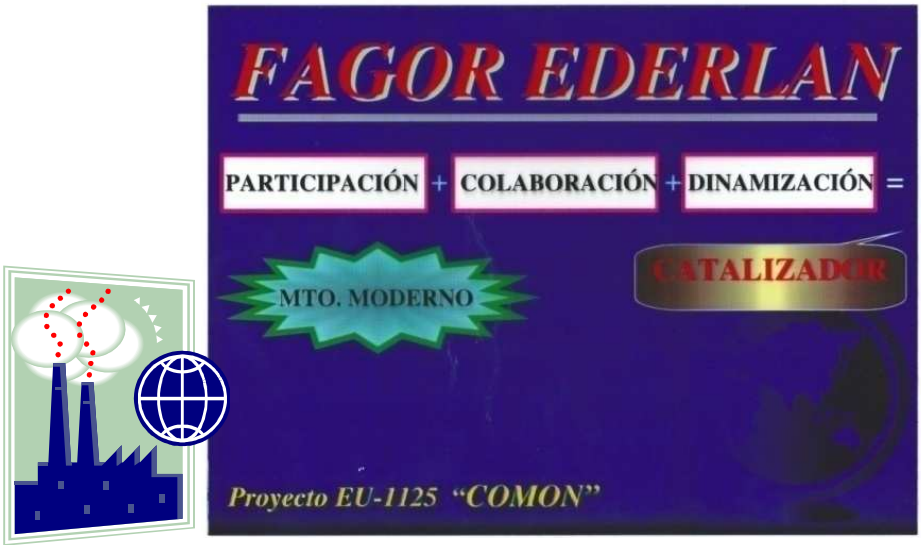


Figura 50

En las figuras 49 y 50 representamos las claves del éxito en el Desarrollo de La Función Mantenimiento en el Caso B: Una amplia participación en los equipos de Proyecto, colaboración de los Partners de Mantenimiento Predictivo y del Proyecto Eureka Maine y como no con un Consultor que actuó como un catalizador de todo el proceso.

3.- TPM

El desarrollo de esta implantación para el desarrollo de la Función Mantenimiento coincidió en el tiempo con la implantación del TPM, que se realizó con la ayuda y supervisión de un Consultor experto del JITPM (Instituto Japonés de TPM), bajo los preceptos del libro de la *referencia 1*.

Para el desarrollo de la PREVENCION DEL MANTENIMIENTO, los Profesionales asignados a los equipos de TPM, junto con los Técnicos y Jefe de Mantenimiento, se encargaron de revisar los nuevos diseños en la compra de máquinas o establecer su criterio para decidir una opción de compra.

Liberamos un profesional de Mantenimiento Eléctrico y otro Mecánico a tiempo parcial para dar formación a los integrantes de los grupos autónomos. Comenzamos a organizar paradas en las que además de la realización del Mantenimiento Correctivo, Preventivo, Predictivo, Autónomo se realizaba formación de los integrantes dl grupo autónomo.

De esta forma se consiguió avanzar en el paso 11 del TPM y también llegar a ese grado superior en la gestión del Mantenimiento que es la Prevención del Mantenimiento (P.M.).

Como colofón al desarrollo de ambos Proyectos Fagor Ederlan obtuvo el Premio TPM que otorga el JITPM.

El desarrollo de ambos proyectos, que en su inicio fue independiente, convergió evidentemente a partir del paso 8 del TPM y su desarrollo fue complementario.

A continuación presentamos unas figuras representativas de las actuaciones de Mantenimiento Preventivo, Predictivo, Autónomo (Limpieza y Lubricación fundamentalmente), Tecnificación de las tareas de los Profesionales de Mantenimiento.









Figura 51

En este Caso B, lo que modernamente se viene llamando TIC´s, han ayudado de manera importante a la evolución de La Función Mantenimiento con un GMAO y un Mantenimiento Predictivo que soportan las actividades del TPM entre las que está incluido el Mantenimiento Autónomo.

Evidentemente todos estos logros no hubiesen sido posibles sin el trabajo de un equipo multidisciplinar, es lo que queremos reflejar con la figura 52. Recuerdo la frase del Consultor Japonés que decía “Cuando los manzanos comienzan a florecer en primavera, no todas las flores salen a la vez, algunas salen antes, las primeras, luego comienzan a florecer más hasta que en un momento el árbol se llena de flores, pero aún así hay algunas flores que no florecen nunca”, se refería a la forma en que los diferentes miembros de una organización van asumiendo los nuevos procedimientos.



Figura 52

La figura 52 representa el esfuerzo del equipo en la Implantación del Desarrollo de La Función Mantenimiento: Profesionales de Mantenimiento, Técnicos de Mantenimiento, Jefes de Mantenimiento, Responsables del Departamento de Informática, Direcciones de Planta, el Promotor del Proyecto, y también como no nuestros Partners de Consultoría y Mantenimiento Predictivo. Todos aprendimos mucho y todos trabajos mucho.

En el camino de la Mejora Continua y búsqueda de la excelencia, desde Fagor Ederlan se promovió el proyecto:

4.- PROYECTO PROGNOSIS

Se trataba de un Proyecto de investigación y desarrollo en el que intervinieron las siguientes empresas:

- FAGOREDERLAN. Como usuario Final y tractor del proyecto
- MONDRAGON SISTEMAS. Como fabricante del GMAO Activity
- FAGOR AUTOMATION. Como fabricante de Controles Numéricos
- IKERLAN. Como centro tecnológico de innovación.

El proyecto comenzó su desarrollo en Octubre de 2007 , con el siguiente objetivo principal para FAGOR EDERLAN:

Aumentar las OT´s de Mantenimiento Predictivo del 4% al 15%.

La base del Proyecto consistía en determinar desde el CNC de Fagor Automation, que gobierna la máquina el momento adecuado para la medición de la vibración, recoger la señal, compararla con los límites establecidos, ver su evolución y enviar al GMAO un OT de intervención en caso de que los limites se hayan sobrepasado.

Esto además abriría una puerta al desarrollo del Mantenimiento Predictivo para determinar el desgaste de herramienta.

El presente desarrollo está reflejado en el trabajo de J.Rayo Peinado que indicamos en las referencias.

Estos son los anagramas de las empresas participantes:

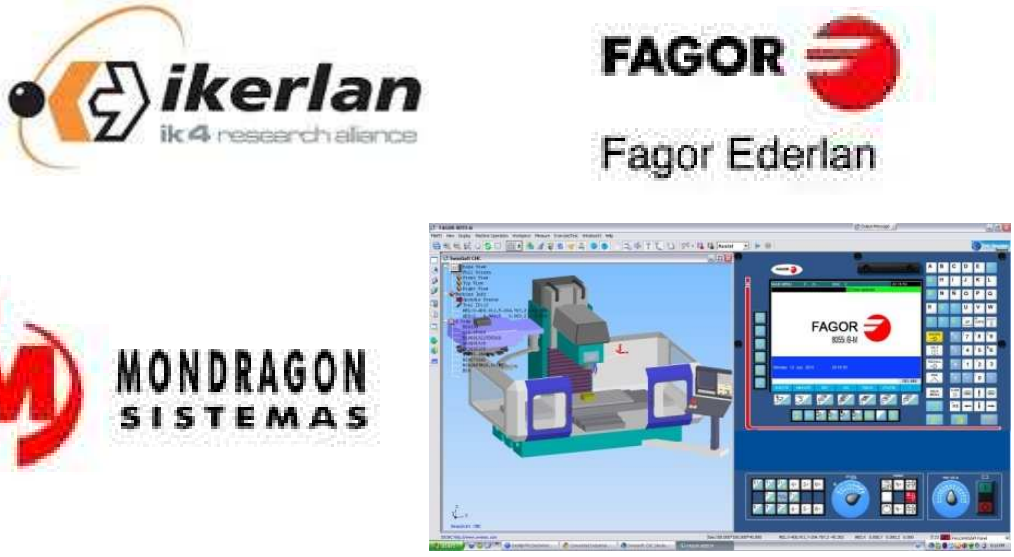


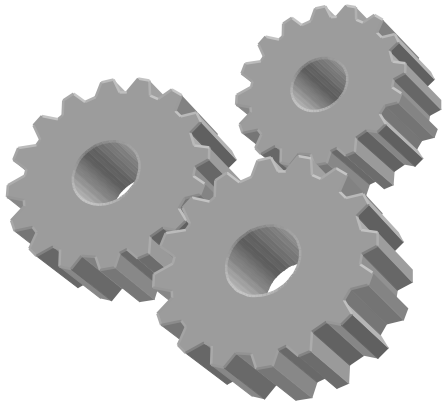
Figura 53

PROYECTO

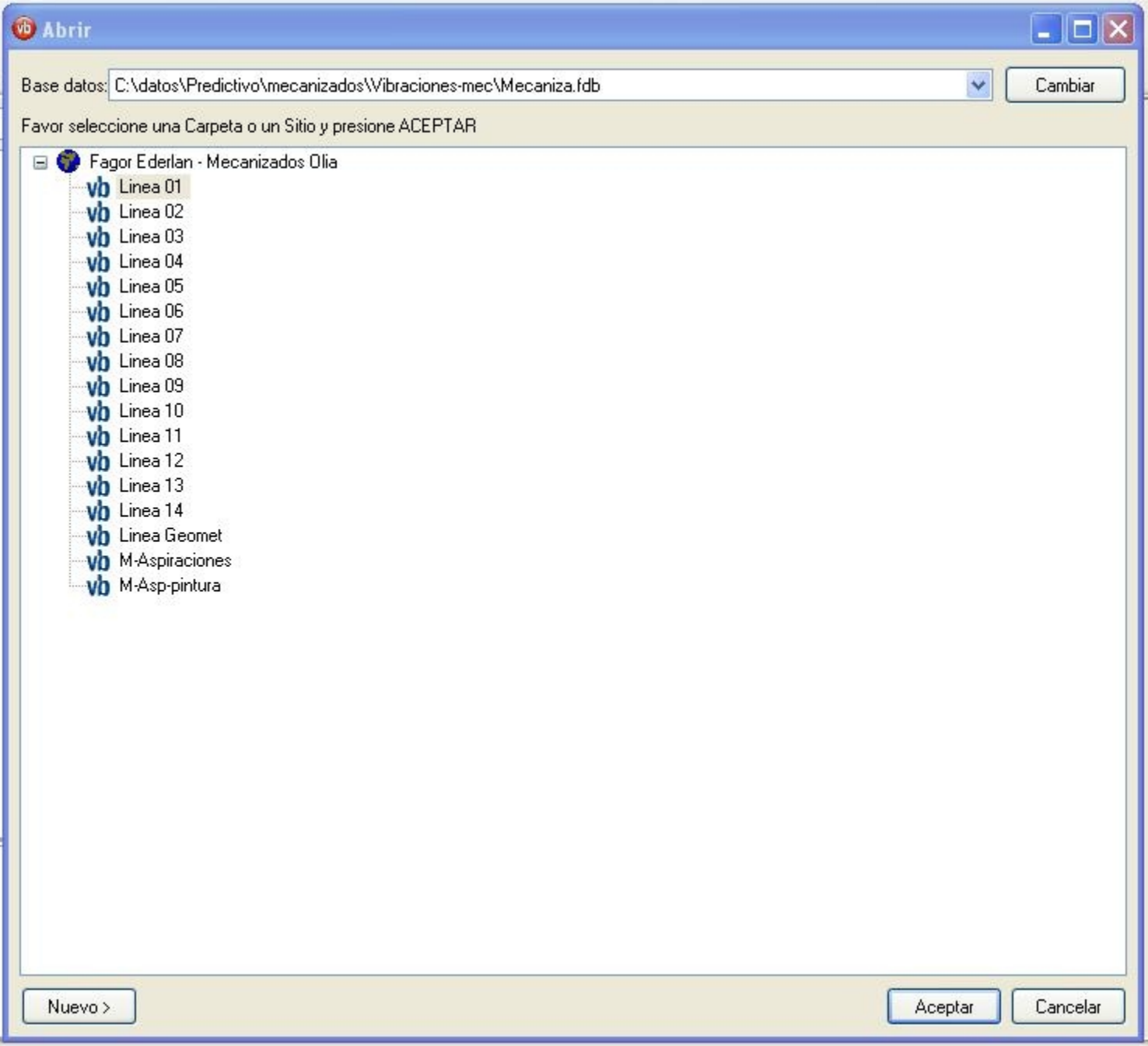
METODOLOGIA DE IMPLANTACION PARA EL DESARROLLO DE LA FUNCION MANTENIMIENTO EN UNA EMPRESA O REINGENIERIA DE MANTENIMIENTO

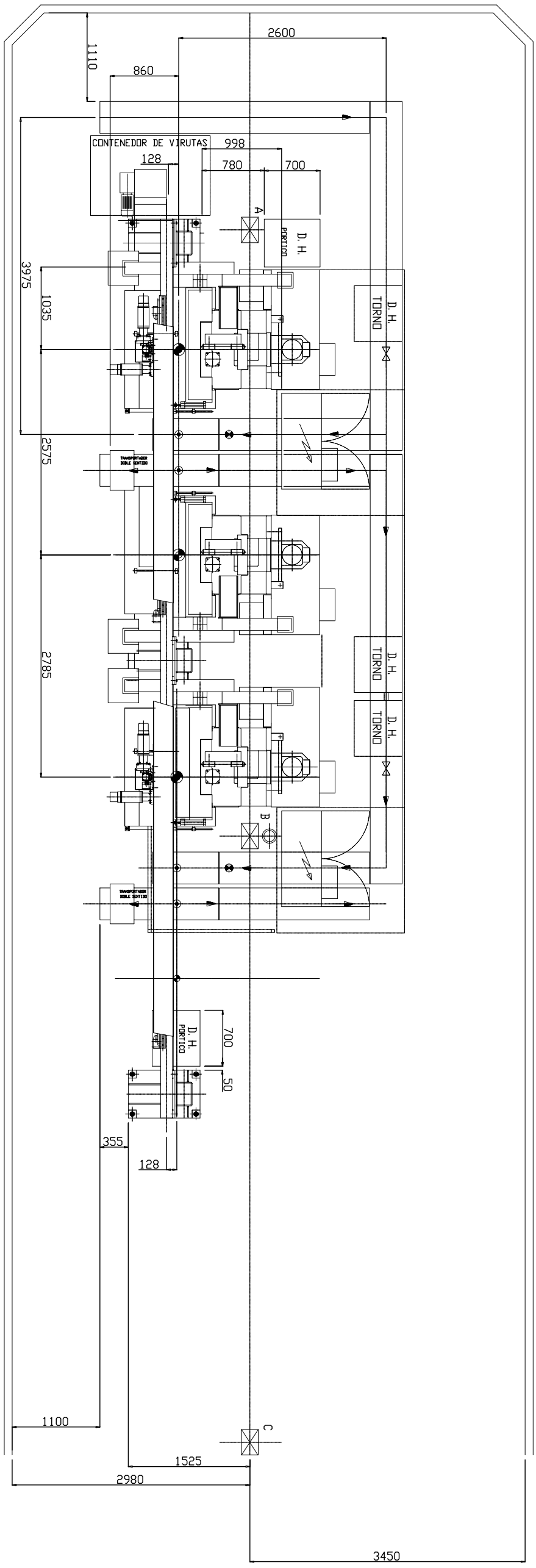
DESARROLLO PRÁCTICO

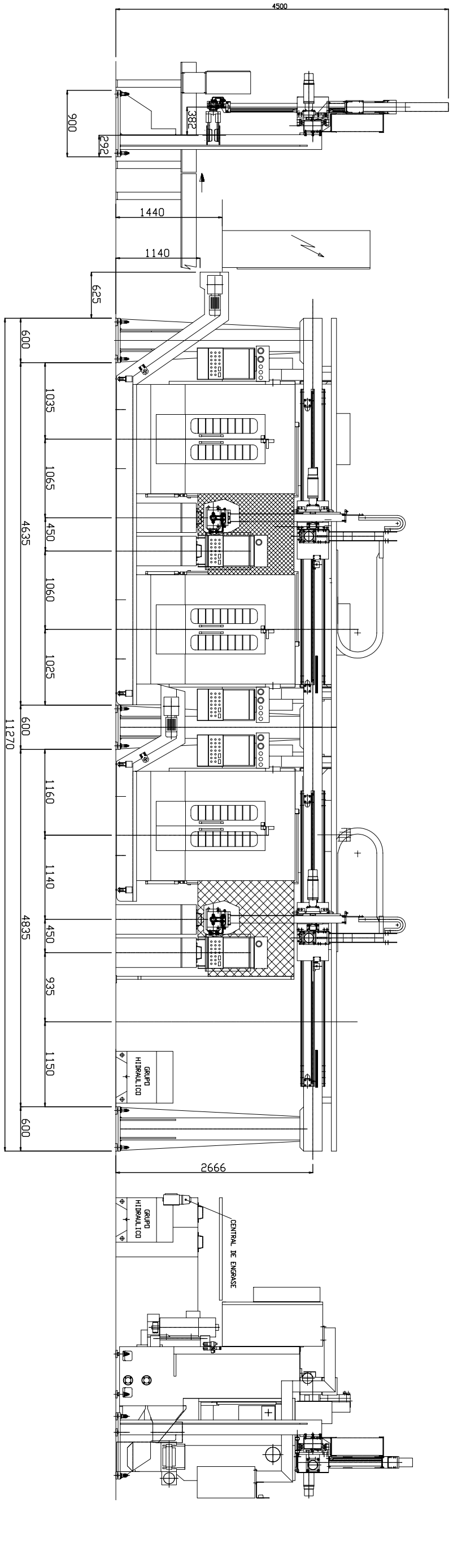
DOCUMENTACIÓN EJEMPLOS



Autor: Ramon Arizaga Arcelus


Abrir
Base datos: C:\datos\Predictivo\mecanizados\Vibraciones-mec\Mecaniza.fdb
Cambiar
Favor seleccione una Carpeta o un Sitio y presione ACEPTAR
Fagor Ederlan - Mecanizados Olia
Linea 01
Linea 02
Linea 03
Linea 04
Linea 05
Linea 06
Linea 07
Linea 08
Linea 09
Linea 10
Linea 11
Linea 12
Linea 13
Linea 14
Linea Geomet
M-Aspiraciones
M-Asp-pintura
Nuevo >
Aceptar
Cancelar


2600
1110
860
CONTENEDOR DE VIRUTAS
998
128
780
700
A
D. H.
PORTICO
3975
1035
D. H.
TORNO
2575
TRANSPORTADOR
DOBLE SINFIN
D. H.
TORNO
2785
D. H.
TORNO
B
TRANSPORTADOR
DOBLE SINFIN
D. H.
PORTICO
700
50
355
128
1100
C
1525
2980
3450


4500
900
382
292
1440
1140
625
600
1035
1065
4635
450
1060
1025
600
11270
1160
1140
4835
450
935
1150
600
GRUPO
HIDRAULICO
2666
GRUPO
HIDRAULICO
CENTRAL DE ENGRASE

Ascent 2011 Level 3 (Windows XP Service Pack 3) Fagor Ederlan - Mecanizados Olia - Linea 01

Archivo Editar Ver Alarmas Analizar Etiqueta Opciones Pantalla Ventanas Ayuda

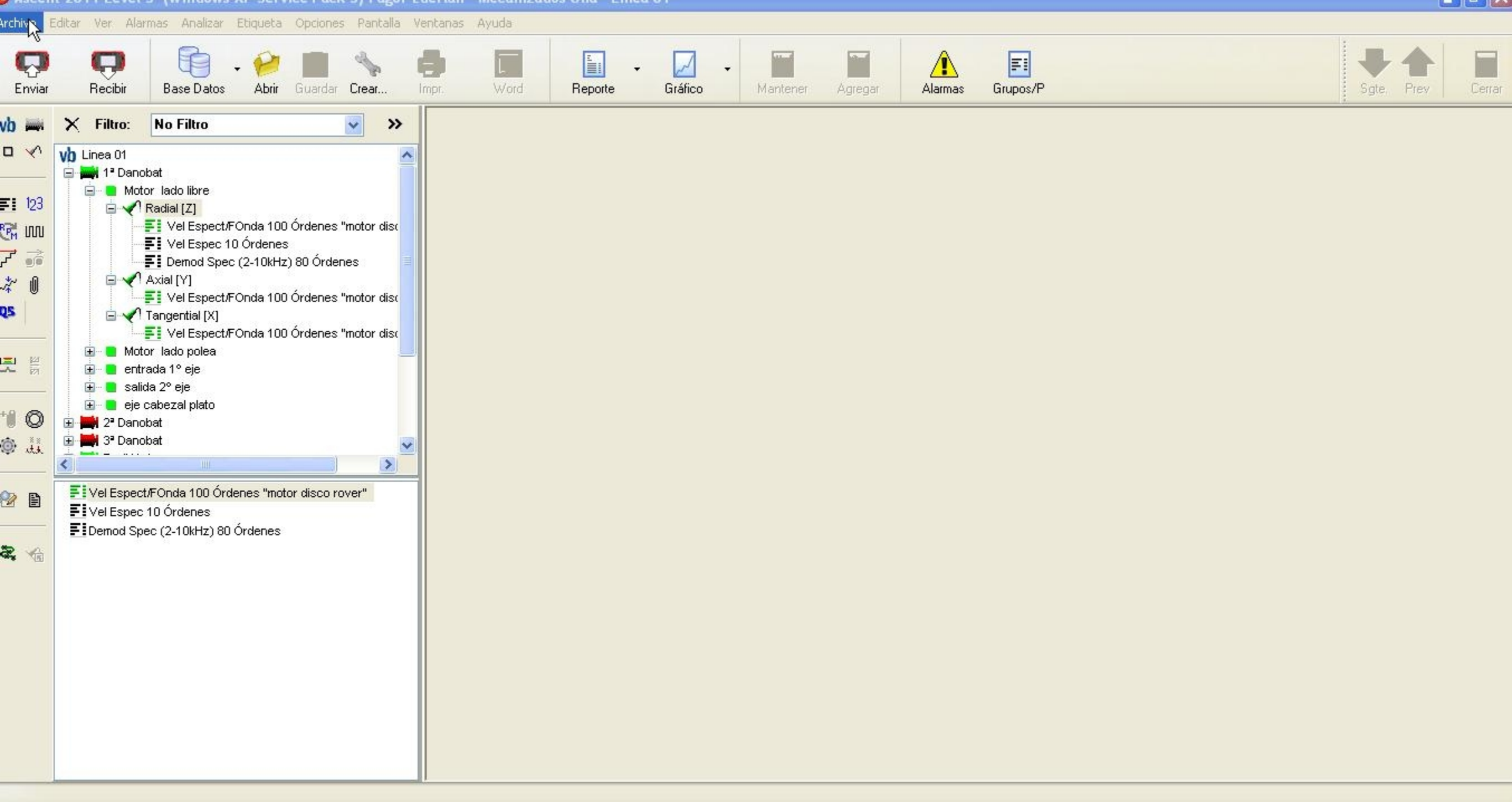
Enviar | Recibir | Base Datos | Abrir | Guardar | Crear... | Impr. | Word | Reporte | Gráfico | Mantener | Agregar | Alarmas | Grupos/P | Sgte. | Prev. | Cerrar

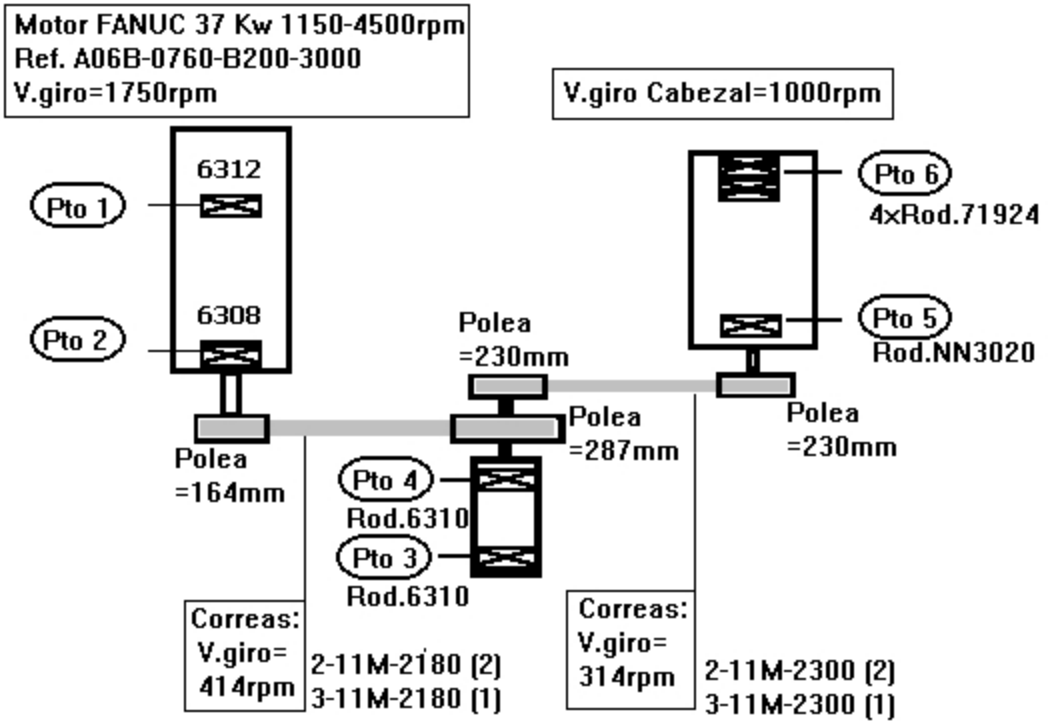
Filtro: No Filtro

- Linea 01
  - 1ª Danobat
    - Motor lado libre
      - Radial [Z]
        - Vel Espect/FOnda 100 Órdenes "motor disco r
        - Vel Espec 10 Órdenes
        - Demod Spec (2-10kHz) 80 Órdenes
      - Axial [Y]
        - Vel Espect/FOnda 100 Órdenes "motor disco r
      - Tangential [X]
        - Vel Espect/FOnda 100 Órdenes "motor disco r
    - Motor lado polea
    - entrada 1° eje
    - salida 2° eje
    - eje cabezal plato
  - 2ª Danobat
  - 3ª Danobat
  - Equil.Hofmann
  - GH-1° danobat
  - GH-2° danobat
  - GH-3° danobat
  - GH-brother
  - GH-rover
  - Rover1500

Vel Espect/FOnda 100 Órdenes "motor disco rover"

Properties...
Capture Folder...
Help
About...


Archivo
Editar
Ver
Alarmas
Analizar
Etiqueta
Opciones
Pantalla
Ventanas
Ayuda
Enviar
Recibir
Base Datos
Abrir
Guardar
Crear...
Impr.
Word
Reporte
Gráfico
Mantener
Agregar
Alarmas
Grupos/P
Sgte.
Prev
Cerrar
Filtro:
No Filtro
Linea 01
1ª Danobat
Motor lado libre
Radial [Z]
Vel Espect/FOnda 100 Órdenes "motor disc
Vel Espec 10 Órdenes
Demod Spec (2-10kHz) 80 Órdenes
Axial [Y]
Vel Espect/FOnda 100 Órdenes "motor disc
Tangential [X]
Vel Espect/FOnda 100 Órdenes "motor disc
Motor lado polea
entrada 1° eje
salida 2° eje
eje cabezal plato
2ª Danobat
3ª Danobat
Vel Espect/FOnda 100 Órdenes "motor disco rover"
Vel Espec 10 Órdenes
Demod Spec (2-10kHz) 80 Órdenes


Motor FANUC 37 Kw 1150-4500rpm
Ref. A06B-0760-B200-3000
V.giro=1750rpm
V.giro Cabezal=1000rpm
6312
Pto 1
6308
Pto 2
Polea
=164mm
Polea
=230mm
Polea
=287mm
Pto 4
Rod.6310
Pto 3
Rod.6310
Pto 6
4xRod.71924
Pto 5
Rod.NN3020
Polea
=230mm
Correas:
V.giro=
414rpm
2-11M-2180 (2)
3-11M-2180 (1)
Correas:
V.giro=
314rpm
2-11M-2300 (2)
3-11M-2300 (1)

Ascent 2011 Level 3 (Windows XP Service Pack 3) Pagor Ederlan - Mecanizados Olla - Linea 01 - [espectFOnda]

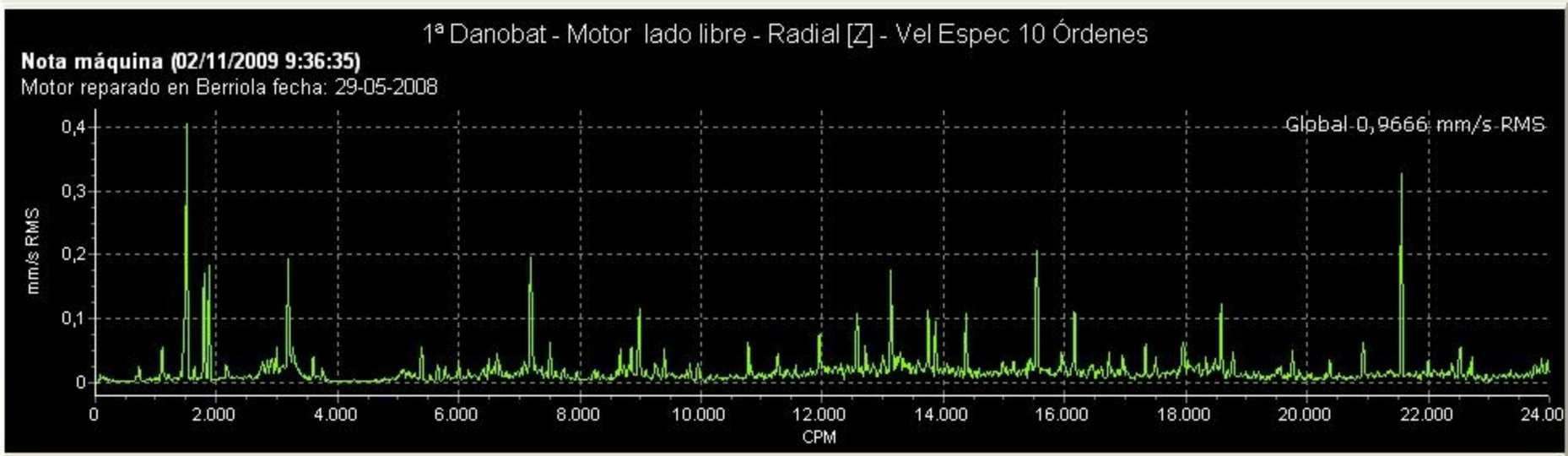
Archivo Editar Ver Alarmas Analizar Etiqueta Opciones Pantalla Ventanas Ayuda

Enviar | Recibir | Base Datos | Abrir | Guardar | Crear... | Impr. | Word | Reporte | Gráfico | Mantener | Agregar | Alarmas | Grupos/P | Sgte. | Prev | Cerrar

Filtro: No Filtro

- Linea 01
  - 1ª Danobat
    - Motor lado libre
      - Radial [Z]
        - Vel Espect/FOnda 100 Órdenes "motor disc
        - Vel Espec 10 Órdenes
        - Demod Spec (2-10kHz) 80 Órdenes
      - Axial [Y]
        - Vel Espect/FOnda 100 Órdenes "motor disc
      - Tangential [X]
        - Vel Espect/FOnda 100 Órdenes "motor disc
    - Motor lado polea
    - entrada 1° eje
    - salida 2° eje
    - eje cabezal plato
  - 2ª Danobat
  - 3ª Danobat

- 24/01/2012 9:44:11 Vel Espec 24000 CPM @ 1850 RPM
- 14/12/2011 15:25:02 Vel Espec 24000 CPM @ 1850 RPM
- 28/11/2011 15:12:06 Vel Espec 24000 CPM @ 1850 RPM
- 17/10/2011 8:59:21 Vel Espec 24000 CPM @ 1850 RPM
- 27/09/2011 11:53:16 Vel Espec 24000 CPM @ 1850 RPM
- 14/09/2011 11:03:06 Vel Espec 36000 CPM @ 1800 RPM
- 22/07/2011 9:04:44 Vel Espec 36000 CPM @ 1802 RPM
- 01/07/2011 10:31:49 Vel Espec 36000 CPM @ 1802 RPM
- 03/06/2011 13:03:58 Vel Espec 36000 CPM @ 1802 RPM
- 06/04/2011 9:58:34 Vel Espec 36000 CPM @ 1802 RPM
- 08/03/2011 9:01:35 Vel Espec 36000 CPM @ 1802 RPM
- 18/02/2011 9:56:40 Vel Espec 36000 CPM @ 1802 RPM





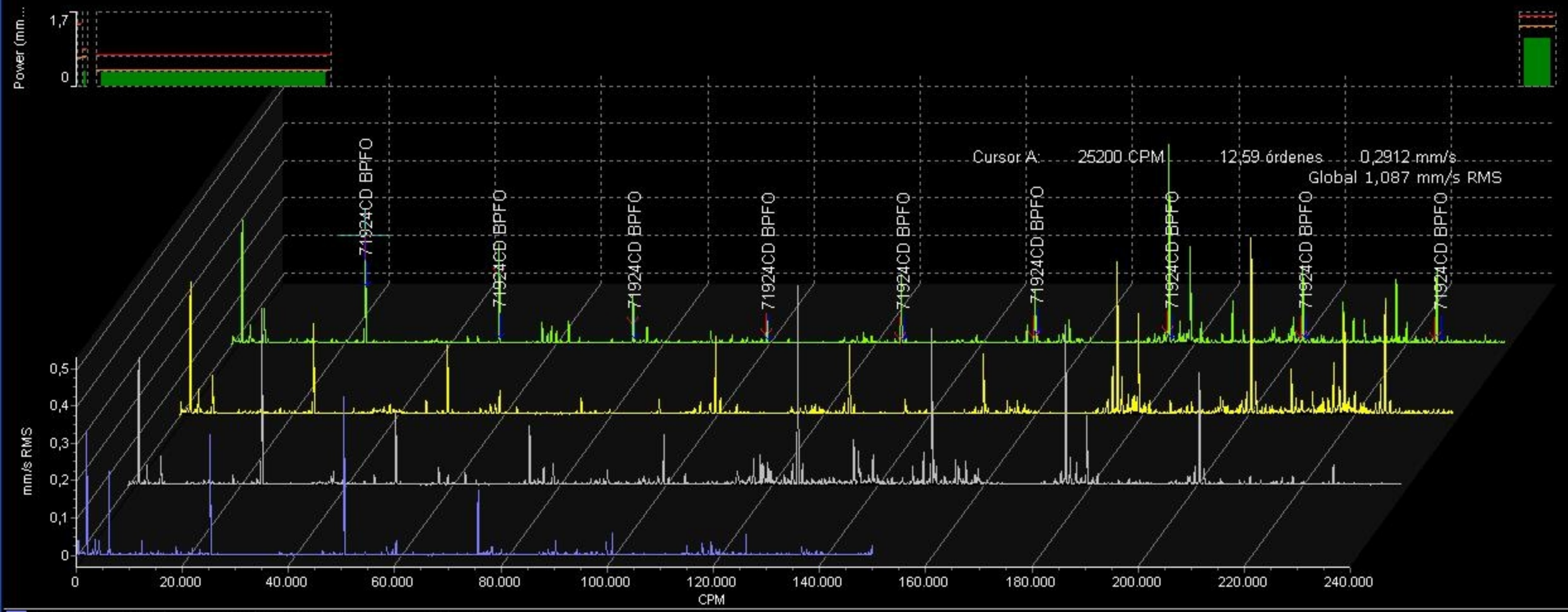
Aplicar | Espectro | FormaOnda | Espec Demod | FormaOnd Demo | Espectro Alta Fre | FormaOnda Alta I | Fijar RPM | <1850 RPM> | Añadir Notas

Gráfica Ampliada

Danobat 2-2000 - cab lado plato (H) - Radial [Z] - Vel Espect/FOnda 100 Órdenes "cabezales tvw"

Nota Punto (09/12/2010 10:16:10)

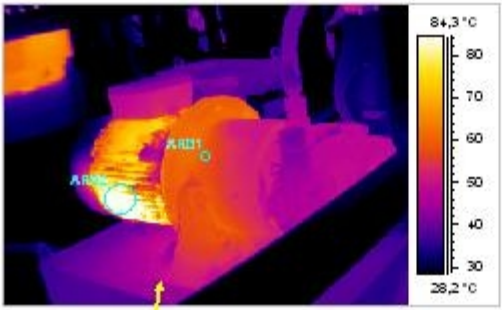
El 7-12-2010 se han cambiado los rodamientos del eje del cabezal



18/10/2011 9:51:55	Global 0,777 mm/s RMS	2000 RPM
25/11/2011 9:57:36	Global 1,255 mm/s RMS	2002 RPM
20/12/2011 9:53:35	Global 1,133 mm/s RMS	2002 RPM
23/01/2012 15:07:44	**Global 1,087 mm/s RMS**	**2002 RPM**

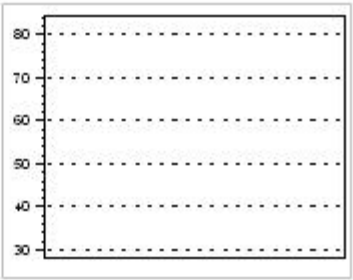
PLANTA	ARLO	MAKINA	ELEMENTUA
Mecanizados	Opel 1	Danobat 2	Motor grupo

FABRIKAKO -aginduа	Boletina Zerbaki	OT-zerbaki



Información IR	Valor
Fecha de creació	10/01/2011
Hora de creación	14:37:27
Parámetro de ot	Valor
Emisividad	0,80
Distancia al objet	2,0 M
Etiqueta	Valor
AR01 : máx	59,9 °C
AR02 : máx	90,9 °C

Foto

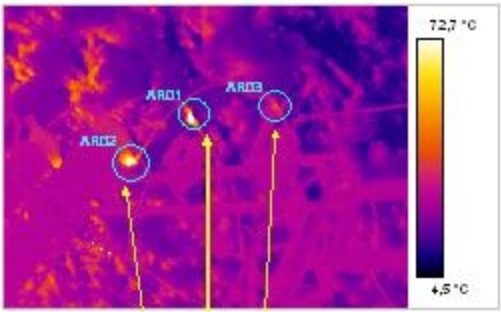


Lekuan	Grupo hidraúlico
Aberia	Suciedad en el ventilador

Oharpen:

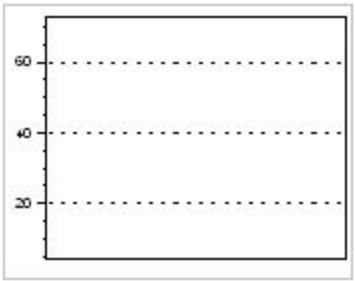
PLANTA	ARLO	MAKINA	ELEMENTUA
Uribarri	Generales	Acometida a fabrica	Bornas

FABRIKAKO -agindua	Boletina Zerbaki	OT-zerbaki



Información IR	Valor
Fecha de creació	27/06/2011
Hora de creación	8:48:09
Parámetro de ot	Valor
Emisividad	0,90
Distancia al objet	2,0 M
Etiqueta	Valor
AR01 : máx	139,6 °C
AR02 : máx	155,3 °C
AR03 : máx	46,2 °C



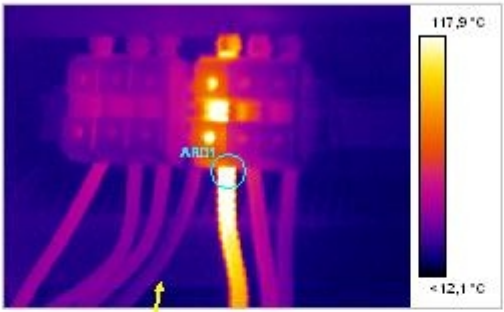


Lekuan	trafo del rio
Aberia	Malla conexion

Oharpen:

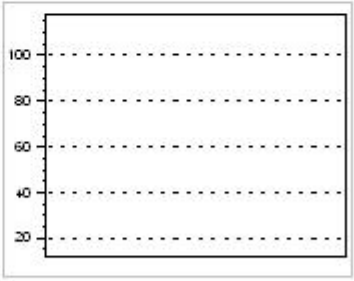
PLANTA	ARLO	MAKINA	ELEMENTUA
Uribarri	Granallado	Granalladora GF	Borna inferior cable U2

FABRIKAKO -aginduа	Boletina Zenbaki	OT-zenbaki



Información IR	Valor
Fecha de creació	21/01/2010
Hora de creación	9:44:12
Parámetro de ot	Valor
Emisividad	0,80
Distancia al objet	2,0 M
Etiqueta	Valor
AR01 : máx	148,6 °C

Foto



Lekuan	Armario electrico puerta derecha
Aberia	Mala conexion

Oharpen:

Verkol Lubricantes

Mantenimiento preventivo a través del análisis del aceite

DATOS DEL CLIENTE

FAGOR EDERLAN S.COOP

DATOS DE LA MUESTRA

Ref.:186-KJ-S90.1

Descrip.: Grupo Hidráulico -

Marca: 1ªEMAG **Modelo:** LINEA 10 **N. Serie:**

Ref. Muestra: 12/21/2011-688256 **Etiqueta aceite:** 22666 **Fecha toma:** 20/12/2011

Aceite: VESTA HLP46 SF **S/Ref. :** **Fecha recepción:**20/12/2011

Serv. Máquina: **Serv. aceite:** **Añadidos (l):** **Capac. (l):**

DIAGNÓSTICO ÚLTIMA MUESTRA

El aceite presenta un alto contenido en partículas. Revisar sistema de filtración.
Contenido en hierro elevado.
Se recomienda cambiar el aceite en uso y en su defecto, filtrarlo.

RESULTADOS

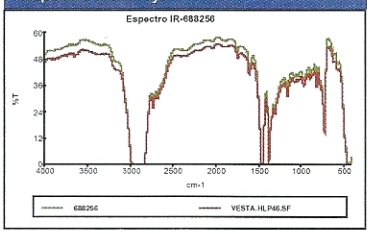
		21/12/2011
Ref. Muestra:		**688256**
Serv. Máquina:		
Serv. aceite:		
Estado		
Aspecto (Adim)	(PE-TA.096)	Negro
Contenido en agua (%)	(PE-TA.071)	< 0.1
Indice Viscosidad (Adim)	(ASTM D 2270-10)	108
Nitracion (ABS/cm)	(PE-TA.071)	1
Oxidacion (ABS/cm)	(PE-TA.071)	< 1
TAN (mgr KOH/gr)	(ASTM D 974-11)	0.14
Viscosidad a 100ºC (cst)	(ASTM D 445-11a)	7.1
Viscosidad a 40ºC (cst)	(ASTM D 445-11a)	47.4
Contaje de partículas		
Metodo NAS 1638 (Adim)	(PE-5083-AI)	12
Part entre 5 y 15 micras (en 100ml)		672750
Part entre 15 y 25 micras (en 100ml)		148680
Part entre 25 y 50 micras (en 100ml)		13460
Part entre 50 y 100 micras (en 100ml)		1470
Part > 100 micras (en 100ml)		410
Aditivos		
Contenido en B (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	0
Contenido en Ba (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	7
Contenido en Ca (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	3
Contenido en Mg (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	2
Contenido en P (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	116
Contenido en Zn (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	27
Metales de desgaste y contaminación		
Contenido en Al (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	3
Contenido en Cr (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	1
Contenido en Cu (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	4
Contenido en Fe (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	57
Contenido en Mo (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	0
Contenido en Na (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	3
Contenido en Ni (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	0
Contenido en Pb (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	2
Contenido en Si (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	17
Contenido en Sn (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	1
Partículas		
PQ Index (Adim)	(PE-5024-AI)	80

Leyenda: Norma Vigilar Peligro

Muestra:



Espectro Infrarrojo



Realizado por: Ana Perugorria

22/12/2011

Verkol Lubricantes

Mantenimiento preventivo a través del análisis del aceite

DATOS DEL CLIENTE

FAGOR EDERLAN S.COOP

DATOS DE LA MUESTRA

Ref.: 186-IW-S90.1

Descrip.: Grupo Hidráulico -

Marca: 1ºEMAG CRV **Modelo:** **N. Serie:**

Ref. Muestra: 12/21/2011-688260 **Etiqueta aceite:** 22670 **Fecha toma:** 20/12/2011

Aceite: VESTA HLP46 SF **S/Ref. :** **Fecha recepción:** 20/12/2011

Serv. Máquina: **Serv. aceite:** **Añadidos (l):** **Capac. (l):**

DIAGNÓSTICO ÚLTIMA MUESTRA

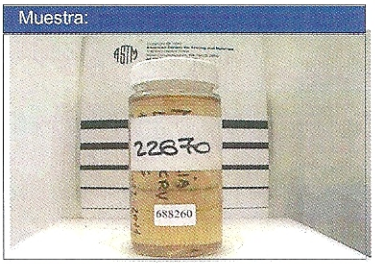
El estado del aceite y el nivel de trazas de metales de desgaste son normales. Vigilar la evolución.

RESULTADOS

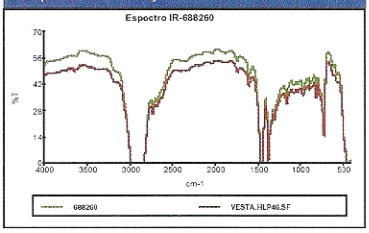
		21/12/2011	27/10/2011	22/06/2011	22/01/2010
Ref. Muestra:		**688260**	678924	657202	525081
Serv. Máquina:					
Serv. aceite:					
Estado					
Aspecto (Adim)	(PE-TA.096)	Transp. Claro	Transp. Oscuro	Transp. Claro	Oscuro
Contenido en agua (%)	(PE-TA.071)	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Indice Viscosidad (Adim)	(ASTM D 2270-10)	108	108	105	107
Nitracion (ABS/cm)	(PE-TA.071)	< 1	< 1	< 1	< 1
Oxidacion (ABS/cm)	(PE-TA.071)	< 1	< 1	< 1	1
TAN (mgr KOH/gr)	(ASTM D 974-11)	0.15	0.15	0.12	0.2
Viscosidad a 100ºC (cst)	(ASTM D 445-11a)	7.1	7.1	7	7.1
Viscosidad a 40ºC (cst)	(ASTM D 445-11a)	47.4	47.5	47.3	47.6
Contaje de partículas					
Metodo NAS 1638 (Adim)	(PE-5083-AI)	7	8	10	12
Part entre 5 y 15 micras (en 100ml)		16150	59130	159530	689460
Part entre 15 y 25 micras (en 100ml)		4300	4500	43460	81910
Part entre 25 y 50 micras (en 100ml)		790	650	3400	15220
Part entre 50 y 100 micras (en 100ml)		60	50	1390	4730
Part > 100 micras (en 100ml)		30	10	230	770
Aditivos					
Contenido en B (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	1	5	1	1
Contenido en Ba (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	1	4	3	1
Contenido en Ca (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	1	1	1	18
Contenido en Mg (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	1	0	0	1
Contenido en P (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	97	98	93	95
Contenido en Zn (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	7	13	4	24
Metales de desgaste y contaminación					
Contenido en Al (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	0	2	0	0
Contenido en Cr (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	0	0	0	0
Contenido en Cu (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	1	1	1	1
Contenido en Fe (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	10	12	6	22
Contenido en Mo (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	0	0	0	0
Contenido en Na (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	0	0	0	0
Contenido en Ni (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	0	0	0	0
Contenido en Pb (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	0	0	0	1
Contenido en Si (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	0	0	1	5
Contenido en Sn (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	1	0	1	0
Partículas					
PQ Index (Adim)	(PE-5024-AI)	16	18	9	76

Leyenda: Norma Vigilar Peligro

Muestra:



Espectro Infrarrojo



Realizado por: Ana Perugorria

22/12/2011

Verkol Lubricantes

Mantenimiento preventivo a través del análisis del aceite

DATOS DEL CLIENTE

FAGOR EDERLAN S.COOP

DATOS DE LA MUESTRA

Ref.:186-JH-S90.1

Descrip.: Grupo Hidráulico -

Marca: LINEA SOGEDAD **Modelo:** EMAG-1 **N. Serie:**

Ref. Muestra: 12/21/2011-688257 **Etiqueta aceite:** 22667 **Fecha toma:** 20/12/2011

Aceite: VESTA HLP46 SF **S/Ref. :** **Fecha recepción:**20/12/2011

Serv. Máquina: **Serv. aceite:** **Añadidos (l):** **Capac. (l):**

DIAGNÓSTICO ÚLTIMA MUESTRA

El estado del aceite y el nivel de trazas de metales de desgaste son normales. Vigilar la evolución.

RESULTADOS

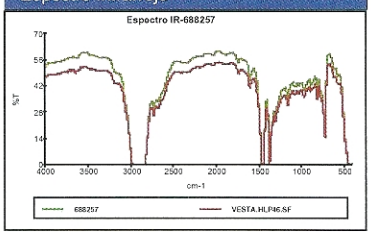
		21/12/2011	27/10/2011	18/03/2011	30/12/2010
Ref. Muestra:		**688257**	678927	639977	626388
Serv. Máquina:					
Serv. aceite:					
Estado					
Aspecto (Adim)	(PE-TA.096)	Transp. Oscuro	Transp. Oscuro	Transp. Oscuro	Transp. Oscuro
Contenido en agua (%)	(PE-TA.071)	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Indice Viscosidad (Adim)	(ASTM D 2270-10)	108	105	105	106
Nitracion (ABS/cm)	(PE-TA.071)	< 1	< 1	1	1
Oxidacion (ABS/cm)	(PE-TA.071)	< 1	1	1	1
TAN (mgr KOH/gr)	(ASTM D 974-11)	0.17	0.16	0.13	0.17
Viscosidad a 100ºC (cst)	(ASTM D 445-11a)	7.1	7.1	7.1	7.1
Viscosidad a 40ºC (cst)	(ASTM D 445-11a)	47.5	48.2	48.2	48.1
Contaje de partículas					
Metodo NAS 1638 (Adim)	(PE-5083-AI)	9	11	8	11
Part entre 5 y 15 micras (en 100ml)		122650	453770	55710	457670
Part entre 15 y 25 micras (en 100ml)		14640	78710	6860	62170
Part entre 25 y 50 micras (en 100ml)		1390	14200	920	8900
Part entre 50 y 100 micras (en 100ml)		100	1650	310	1760
Part > 100 micras (en 100ml)		70	390	30	350
Aditivos					
Contenido en B (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	1	2	1	1
Contenido en Ba (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	2	18	0	0
Contenido en Ca (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	20	4	6	0
Contenido en Mg (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	3	0	0	0
Contenido en P (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	120	100	89	109
Contenido en Zn (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	27	41	42	38
Metales de desgaste y contaminación					
Contenido en Al (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	1	2	0	0
Contenido en Cr (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	0	0	0	0
Contenido en Cu (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	1	3	3	3
Contenido en Fe (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	9	34	24	23
Contenido en Mo (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	0	0	0	0
Contenido en Na (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	2	0	0	1
Contenido en Ni (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	0	1	0	0
Contenido en Pb (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	0	1	0	0
Contenido en Si (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	2	4	1	2
Contenido en Sn (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	0	0	0	0
Partículas					
PQ Index (Adim)	(PE-5024-AI)	8	6	10	20

Leyenda: Norma Vigilar Peligro

Muestra:



Espectro Infrarrojo



Realizado por: Ana Perugorria

22/12/2011

Verkol Lubricantes

Mantenimiento preventivo a través del análisis del aceite

DATOS DEL CLIENTE

FAGOR EDERLAN S.COOP

DATOS DE LA MUESTRA

Ref.:186-JG-S90.1

Descrip.: Grupo Hidráulico -

Marca: LINEA SOGEDAD **Modelo:** EMAG-2 **N. Serie:**

Ref. Muestra: 12/21/2011-688258 **Etiqueta aceite:** 22668 **Fecha toma:** 20/12/2011

Aceite: VESTA HLP46 SF **S/Ref. :** **Fecha recepción:**20/12/2011

Serv. Máquina: **Serv. aceite:** **Añadidos (l):** **Capac. (l):**

DIAGNÓSTICO ÚLTIMA MUESTRA

Se mantiene el contenido en hierro ligeramente elevado. Se recomienda filtrar el aceite en uso.

RESULTADOS

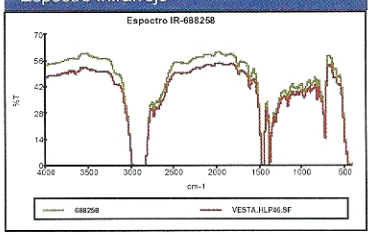
		21/12/2011	27/10/2011	18/03/2011	30/12/2010
Ref. Muestra:		**688258**	678928	639978	626389
Serv. Máquina:					
Serv. aceite:					
Estado					
Aspecto (Adim)	(PE-TA.096)	Transp. Oscuro	Transp. Oscuro	Transp. Oscuro	Transp. Oscuro
Contenido en agua (%)	(PE-TA.071)	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Indice Viscosidad (Adim)	(ASTM D 2270-10)	106	106	105	106
Nitracion (ABS/cm)	(PE-TA.071)	< 1	< 1	1	2
Oxidacion (ABS/cm)	(PE-TA.071)	1	1	1	2
TAN (mgr KOH/gr)	(ASTM D 974-11)	0.14	0.15	0.16	0.19
Viscosidad a 100ºC (cst)	(ASTM D 445-11a)	7.1	7.1	7.1	7.1
Viscosidad a 40ºC (cst)	(ASTM D 445-11a)	48	48.1	48.2	47.9
Contaje de partículas					
Metodo NAS 1638 (Adim)	(PE-5083-AI)	7	8	8	7
Part entre 5 y 15 micras (en 100ml)		16570	46140	32200	16690
Part entre 15 y 25 micras (en 100ml)		3220	9970	4340	3810
Part entre 25 y 50 micras (en 100ml)		900	750	1790	740
Part entre 50 y 100 micras (en 100ml)		180	80	200	170
Part > 100 micras (en 100ml)		30	10	10	10
Aditivos					
Contenido en B (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	1	4	2	2
Contenido en Ba (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	0	0	0	0
Contenido en Ca (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	2	0	0	0
Contenido en Mg (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	1	0	0	0
Contenido en P (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	87	90	86	86
Contenido en Zn (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	66	71	60	82
Metales de desgaste y contaminación					
Contenido en Al (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	0	1	0	0
Contenido en Cr (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	0	0	0	0
Contenido en Cu (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	3	3	3	4
Contenido en Fe (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	26	27	20	30
Contenido en Mo (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	0	0	0	0
Contenido en Na (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	0	3	0	12
Contenido en Ni (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	0	1	0	0
Contenido en Pb (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	1	0	1	0
Contenido en Si (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	1	1	0	1
Contenido en Sn (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	1	0	0	0
Partículas					
PQ Index (Adim)	(PE-5024-AI)	15	16	4	15

Leyenda: Norma Vigilar Peligro

Muestra:



Espectro Infrarrojo



Realizado por: Ana Perugorria

22/12/2011

Verkol Lubricantes

Mantenimiento preventivo a través del análisis del aceite

DATOS DEL CLIENTE

FAGOR EDERLAN S.COOP

DATOS DE LA MUESTRA

Ref.:186-E-S90.1

Descrip.: Grupo Hidráulico -

Marca: 3ºEMAG CRV **Modelo:** **N. Serie:**

Ref. Muestra: 12/21/2011-688262 **Etiqueta aceite:** 22672 **Fecha toma:** 20/12/2011

Aceite: VESTA HLP46 SF **S/Ref. :** **Fecha recepción:**20/12/2011

Serv. Máquina: **Serv. aceite:** **Añadidos (l):** **Capac. (l):**

DIAGNÓSTICO ÚLTIMA MUESTRA

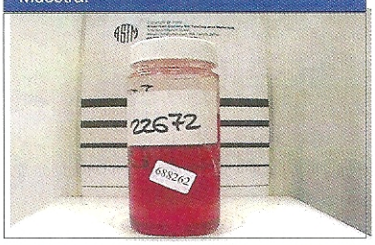
Número de partículas ligeramente elevado.
Se recomienda filtrar el aceite en uso.

RESULTADOS

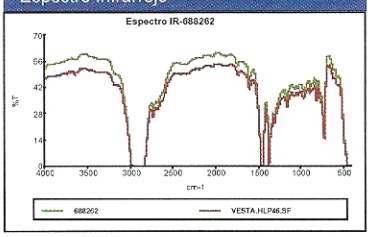
		21/12/2011	27/10/2011	22/06/2011	21/03/2011
Ref. Muestra:		**688262**	678926	657204	639981
Serv. Máquina:					
Serv. aceite:					
Estado					
Aspecto (Adim)	(PE-TA.096)	Transp. Oscuro	Transp. Oscuro	Transp. Oscuro	Transp. Oscuro
Contenido en agua (%)	(PE-TA.071)	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Indice Viscosidad (Adim)	(ASTM D 2270-10)	107	107	103	106
Nitracion (ABS/cm)	(PE-TA.071)	< 1	< 1	< 1	1
Oxidacion (ABS/cm)	(PE-TA.071)	1	< 1	1	< 1
TAN (mgr KOH/gr)	(ASTM D 974-11)	0.17	0.15	0.15	0.17
Viscosidad a 100ºC (cst)	(ASTM D 445-11a)	7.1	7.1	7	7.1
Viscosidad a 40ºC (cst)	(ASTM D 445-11a)	47.8	47.8	47.8	48
Contaje de partículas					
Metodo NAS 1638 (Adim)	(PE-5083-AI)	10	7	7	7
Part entre 5 y 15 micras (en 100ml)		182050	21490	26110	27210
Part entre 15 y 25 micras (en 100ml)		20460	4040	5190	2610
Part entre 25 y 50 micras (en 100ml)		5380	820	420	290
Part entre 50 y 100 micras (en 100ml)		720	100	40	50
Part > 100 micras (en 100ml)		40	10	30	20
Aditivos					
Contenido en B (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	0	2	0	0
Contenido en Ba (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	2	2	0	1
Contenido en Ca (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	0	0	1	0
Contenido en Mg (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	1	0	2	0
Contenido en P (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	107	113	97	109
Contenido en Zn (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	27	28	13	26
Metales de desgaste y contaminación					
Contenido en Al (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	0	1	0	0
Contenido en Cr (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	0	0	0	0
Contenido en Cu (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	0	0	1	0
Contenido en Fe (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	10	9	15	6
Contenido en Mo (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	0	0	0	0
Contenido en Na (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	0	0	0	0
Contenido en Ni (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	0	1	1	0
Contenido en Pb (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	1	1	0	0
Contenido en Si (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	0	0	2	0
Contenido en Sn (ppm)	(ASTM D 5185-09 mod.)	0	0	1	0
Partículas					
PQ Index (Adim)	(PE-5024-AI)	3	2	6	13

Leyenda: Norma Vigilar Peligro

Muestra:



Espectro Infrarrojo



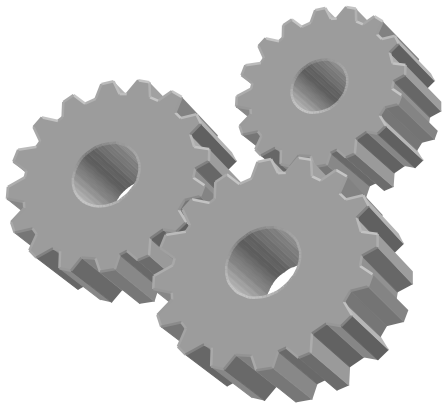
Realizado por: Ana Perugorria

22/12/2011

PROYECTO

METODOLOGIA DE IMPLANTACION PARA EL DESARROLLO DE LA FUNCION MANTENIMIENTO EN UNA EMPRESA O REINGENIERIA DE MANTENIMIENTO

COSTES DE IMPLANTACIÓN



Autor: Ramon Arizaga Arcelus

9.-COSTES DE IMPLANTACIÓN.

1.- COSTOS GENERALES DE DESARROLLO

- INTRODUCCIÓN

Existe un amplio mercado en continua evolución, con equipos y programas de muy variado nivel y por lo tanto precio.

Es necesario un análisis más profundo de necesidades y presupuesto disponible en cada caso.

En cualquier caso he aquí unas referencias de equipos y programas de primer nivel.

- PROVEEDORES

- Auditoria y Consulting:

  SISTEPLANT, TOBALINA CONSULTING GROUP,

  E.CARRERA (ecarrera@fideslan.com), otros.

- Programas de GMAO.
  - Integrado en Sistema MES (Manufacturing Execution System)
    MONDRAGON SISTEMAS, SISTEPLANT, MAPEX, otros.
  - Independiente

    MAXIMO, PRISMA3, LINX, PRIMAVERA, CARL, otros.

- Vibraciones
  - Colector de datos ,Vibrometros y aparatos manuales

    PREDYCSA, PREDITEC-IRM, FLUKE, BRÜER&KJAER, SHAEFFLER, otros.
  - Para rodamientos

    SKF, INA.

- Termografía

  FLIR, TESTO, FLUKE, PCE, CHAUVINARNOUX, otros.

- Detección Fugas Ultrasónico

  HAINGOR SL (SMC, WHISPER, LEAKSHOOTER)

A título orientativo indicamos a continuación algunas cifras de costos. Hay que tener en cuenta lo que hemos comentado al principio con las necesidades y presupuesto.

- CONSULTORIA

Auditoría Externa.

Consultoría Externa Implantación.

SUBTOTAL 9.000 - 30.000 €

- GESTION MANTENIMIENTO ASISTIDO POR ORDENADOR

Programa de GMAO 6.000-35000 €

Estos costos son orientativos para una PYME entre 60-100 operarios

- MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Programa análisis señal	8000-15000€
Colector de datos.	1500- 10000-15000€
Acelerómetros uniaxial.	150 – 200€
Acelerometro triaxial	1000€
Cámara Termográfica.	1000 –3000 – 6000 – 9000- 15000€
Vibrómetros	700 - 1300 – 3000 €
Detección Fugas Ultrasónico	500 - 1000 - 3000

Si se instalan puntos fijos de medidas lo cual es recomendable técnicamente y por ahorro de tiempo de medición, habría que multiplicar por el número de puntos fijos a instalar, conviene hacer una previsión para negociar el precio.

	SUBTOTAL
Para 500 puntos fijos	75.000 - 100.000€

Si no se desea la inversión y el tiempo medición así como la seguridad en la medición lo permite se puede instalar únicamente la base con amarre roscado para el acelerómetro.

Para 500 puntos fijos	10.000€

- FORMACION

Cursos análisis de vibraciones.

Varios niveles y Técnicas	1000 - 1500€/curso

Existen mejoras de precio por asistir a más de uno o varias personas al mismo.

- HORAS DEDICACION RECURSOS PROPIOS

Hay que considerar unas 100 horas del personal propio para una industria de unos 120 trabajadores. Se suelen incluir para los diferentes Proyectos de desarrollo: Personal del departamento informático, Técnico Mecánico, Técnico Eléctrico, Jefe de Mantenimiento y alguna charla para los Profesionales fundamentalmente para motivar y concienciar en la necesidad de una OT con información veraz y para la puesta en marcha del Almacén autónomo. La valoración de estas horas no siempre se hace de la misma forma, es necesario hacerlo en cada caso de la manera que se convenga.

- SUBENCIONES

El CDTI convoca ayudas bajo la denominación de Proyectos Individuales de Investigación y Desarrollo (PID), Programa de innovación y Competitividad, etc.

En las Comunidades Autónomas es posible que también exista algún Programa de ayuda a la innovación industrial. En la Comunidad Autónoma Vasca existen los programas del SPRI o de Euskadi INNOVA por ejemplo.

2.- COSTOS DE DESARROLLO CASO PRÁCTICO

Los costes de implantación del Caso B que hemos explicado fueron muy aproximadamente los que se citan en la figura 1. Los costes que hemos presentado arriba están en euros (€) porque son costos de implantación actuales, sin embargo los costos del Cado B que presentamos están en ptas. La razón es bien sencilla, pretendemos diferenciar la distancia en el tiempo de ambos costes de implantación. Los costos del Caso B son del año 1995/7, de esta forma por una parte hacemos constar la diferencia del coste de vida, evidente puesto que los costes están en ptas. Evitamos además las posibles dudas de la fecha a la que corresponden los costos del Caso B si los presentásemos en euros (€).

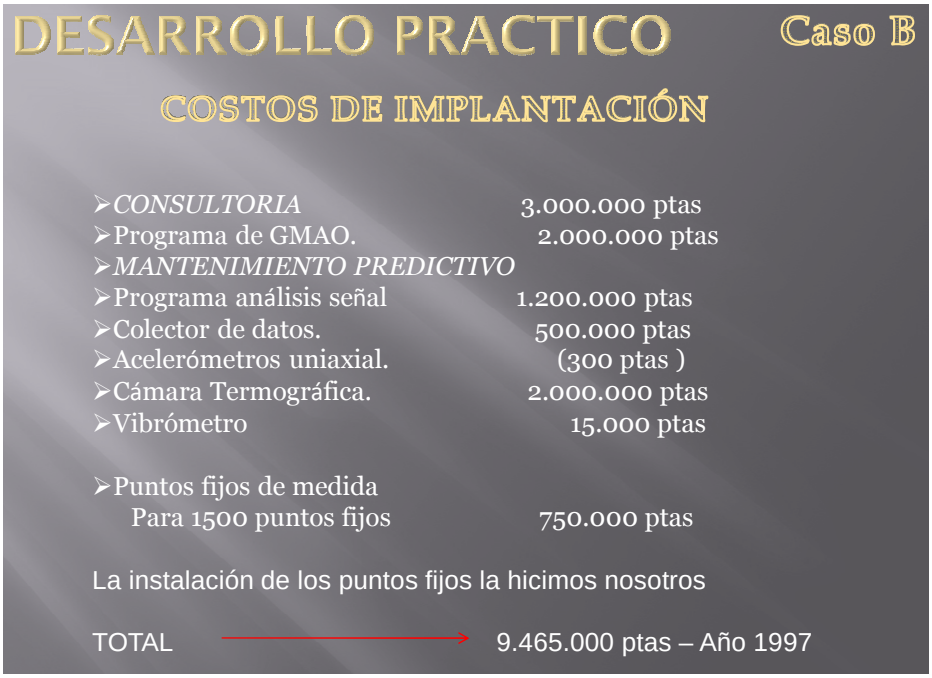


Figura 1

Figura 1 Representa una tabla de costos de desarrollo del caso B del Desarrollo Práctico

En los costos de la figura 1 no aparece el coste de la mano de obra.

En el proyecto participamos tres niveles de cualificación profesional: Profesional de Mantenimiento con una tasa horaria de 2500 ptas/h, Técnico de Mantenimiento e Informático con una tasa horaria de 3000 ptas/h y Jefe de Mantenimiento con una tasa horaria de 3500ptas/h.

Las horas invertidas por cualificación fueron las siguientes:

- Profesionales de Mantenimiento (100 Profesionales):
  - Charlas concienciación cumplimentación OT´s: 1h charla + 1h desplazamiento
    - Se formaron 4 grupos en los que participaron mezclados los Profesionales de Mantenimiento de las 4 Plantas, al objeto de poder abarcar los diferentes turnos de trabajo etc.
    - 200 h
  - Formación sobre los vibrómetros: 50h

- Técnicos de Mantenimiento (8+ 2 Informáticos)
  - Proyectos GMAO; ALMACEN, PREDICTIVO; MANUAL DE MANTENIMIENTO
  - 160h

- Jefes de Mantenimiento:
  - Supervisión Proyectos GMAO; ALMACEN, PREDICTIVO; MANUAL DE MANTENIMIENTO
  - 80h

- Coordinación Proyecto (la realicé yo)
  - 20h

El coste total de las horas invertidas a la tasa horaria es:

Profesionales de Mantenimiento:	500.000 ptas.
Técnicos de Mantenimiento	560.000 ptas.
Jefes de Mantenimiento	280.000 ptas.
Coordinación	70.000 ptas.
TOTAL	1.410.000 ptas.

Establecimos los costes de la tasa horaria porque podíamos englobarlos en los costes del desarrollo del Proyecto Eureka Maine 1125, Proyecto COMON.

Los costos de Consultoría que aparecen en la figura 1 son para las 4 Plantas de Fagor Ederlan, al igual que el de la cámara termográfica. Por lo que para un ajuste proporcional habría que dividirlos por 4.

Con los costes de las horas invertidas se debería hacer lo mismo.

Si ahora a los costes que aparecen en la figura 1 le aplicamos los ajustes que hemos mencionado, salvo el de la tasa horaria, tenemos que el coste de implantación es:

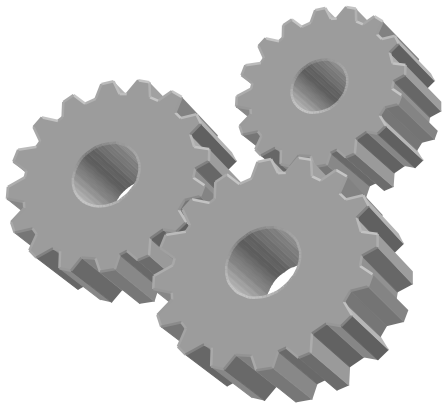
Coste Implantación Caso B: 5.715.000 ptas.

No hemos sumado directamente el coste de la tasa horaria, porque este es el costo total de un trabajador para la empresa y entendemos que los costos no se aplican de la misma forma cuando son para consumo propio que para un proyecto exterior.

PROYECTO

METODOLOGIA DE IMPLANTACION PARA EL DESARROLLO DE LA FUNCION MANTENIMIENTO EN UNA EMPRESA O REINGENIERIA DE MANTENIMIENTO

FINAL



Autor: Ramon Arizaga Arcelus

FINAL

10. CONSULTORÍA INTEGRAL

11. CONCLUSIONES

12. REFERENCIAS

10.- CONSULTORIA INTEGRAL

1.- PRESENTACIÓN DE LA CONSULTORIA DE MANTENIMIENTO

INTRODUCCIÓN

En la Introducción del presente Proyecto hemos indicado que estábamos capacitados para desarrollar la consultoría para la Implantación del Desarrollo de La Función Mantenimiento o Proyecto de Reingeniería de La Función Mantenimiento en una empresa.

Hasta el momento hemos dado al presente Proyecto un enfoque lo más didáctico posible en su desarrollo de presentación, con el cual hemos tratado de entrelazar el conocimiento por una parte, el método de implantación por otra, y la necesidad de gestionar el conjunto, tarea nada fácil.

Como última enseñanza didáctica nos quedaría el ejercicio de hacer una presentación comercial de lo que podría ser una propuesta de consultoría, que podría ser la nuestra. Para ello partimos de la base de algunas cuestiones que hemos indicado en el desarrollo del presente Proyecto:

- El auditor que normalmente deba realizar la Auditoria de Mantenimiento debe ser un Técnico (experto) que sea parte integrante de una Consultora.

- Las Consultoras pueden ser más o menos grandes en función del mercado que pretendan abarcar, muchas veces más amplio que la Propia Función de Mantenimiento.

- Que disponemos de Consultores Expertos en modelos de Gestión

Nuestra propuesta de Consultoría para La Implantación del Desarrollo de la Función Mantenimiento la realizaríamos desde la perspectiva del EFQM, para que el proyecto quedara bien engarzado en la metodología de dicho sistema de gestión.

DESARROLLO DE LA PRESENTACIÓN

Para la presentación de nuestra propia Consultoría necesitaríamos poner en valor las particularidades diferenciadores de nuestra propuesta de Consultoría. Y para ello necesitamos elaborar una presentación.

Si con el presente proyecto fuésemos a hacer una presentación de nuestra propuesta de Consultoría, obviamente la presentación tendría un enfoque distinto, el punto de partida probablemente también. El grueso de la presentación seria La Metodología de Implantación

(CORE), en el desarrollo de la mencionada Metodología de Implantación que hemos realizado en el Presente Proyecto hemos incidido en los aspectos diferenciadores de lo que vendría a ser nuestra propuesta de Consultoría. Este sería el documento principal realizado en un formato más comercial.

DESARROLLO PRÁCTICO

El desarrollo práctico no existiría, pues en realidad sería el objetivo que se persigue, es el ***leit motiv***.

ESTUDIO DE COSTES DE IMPLANTACIÓN

Evidentemente es imposible a priori establecer unos costos previos globales sin realizar la auditoria y establecer el contacto con el cliente. Los costos de la auditoria también se establecen en función del tamaño de la empresa, previo análisis *in situ*. Nuestra ventaja competitiva residiría en la reducida estructura.

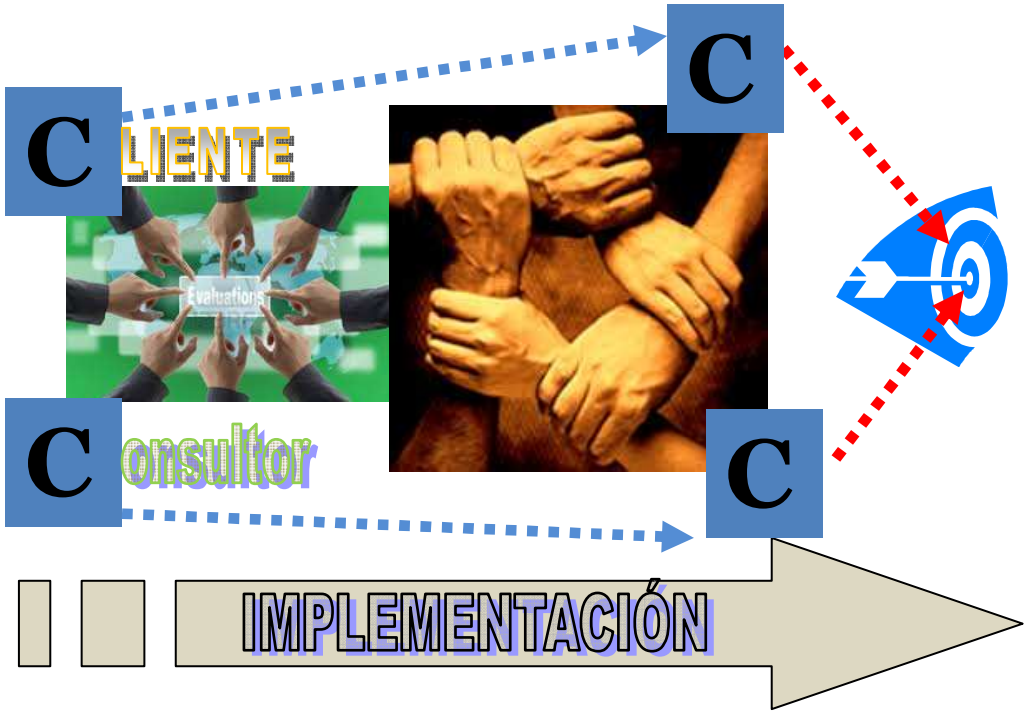
ESTUDIO DE MERCADO

La situación de la Función Mantenimiento en España no deja de ser en el fondo un estudio de mercado para valorar las posibilidades de negocio y su estudio detallado nos ofrece un interesante panorama. Este sería un documento básico y fundamental para cualquier planteamiento empresarial.

Del análisis de las encuestas resulta evidente que tenemos mercado y por supuesto tenemos conocimiento, luego tendríamos posibilidades de negocio.

Partiendo de los factores que intervienen en la Implantación: Consultor, Cliente, Trabajo en equipo y Objetivo, nuestro lema gráfico quedaría definido con el siguiente esquema, que reflejaría lo que hemos venido explicando tanto en la Metodología de Implantación como en el Desarrollo Práctico, sería nuestra Marca:

CONSULTORIA DE MANTENIMIENTO



¡ENTRE TODOS ACERTAREMOS EN LA DIANA¡

ANALISIS DE LA CONSULTORIA COMO EMPRESA

En la puesta en marcha de cualquier proyecto empresarial es muy habitual realizar un análisis de debilidades y fortalezas (DAFO).

Para ver las fortalezas y debilidades con el método DAFO:



Análisis DAFO

Somos un grupo pequeño.	No somos conocidos. Existen grupos consultores importantes.
Tenemos mucha experiencia en consultoría. Tenemos mucha experiencia en Mantenimiento. Tenemos una experiencia propia común	Las empresas necesitan mejorar la OEE. La Función Mantenimiento tiene campo de desarrollo en las empresas Españolas. Podemos ser competitivos.

Las Referencias, que como en cualquier trabajo didáctico, en el presente Proyecto de *METODOLOGÍA DE IMPLANTACÍON PARA EL DESARROLLO DE LA FUNCIÓN MANTENIMIENTO EN UNA EMPRESA O REINGENIERIA DE LA FUNCIÓN MANTENIMIENTO* son los diferentes artículos, cursos, libros, y publicaciones de las que o bien se ha obtenido información o bien sirven para completar el trabajo. En una Consultora deben ser las referencias de los trabajos realizados, enfatizando a poder ser las empresas de referencia.

Nos parece muy importante presentar documentación asociada a diferentes productos por varias cuestiones:

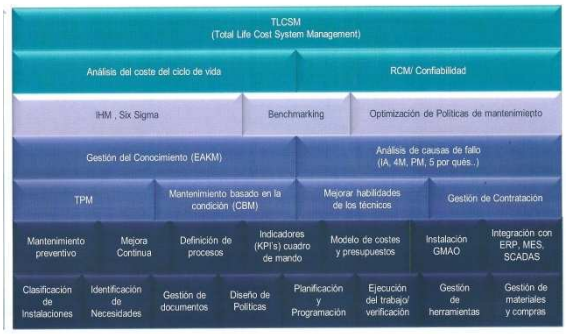
- La primera establecer con el cliente una primera toma de contacto respecto a los equipos y soluciones.
- Expresar por otra parte el conocimiento y la independencia de la Consultoría.

Hace falta también compararse con la competencia para:

- Tener una mejor valoración de la propuesta propia.
- Porque es necesario conocer a los competidores, y compararse normalmente con el competidor de referencia. Disponemos de la documentación suficiente para compararnos y realizar un Benchmarking.

BENCHMARKING

NUESTRA COMPETENCIA	***NUESTRA PROPUESTA***
Transformando el Mantenimiento. Del TPM al TIM, Tecnología, Innovación y Mantenimiento	Durante el presente Proyecto hemos estado todo en todo momento hablando de ello.
Costes de Mantenimiento y su desglose.	Hemos incidido en ello con profundidad. Lo tenemos perfectamente estructurado

Plan Director Organización Avanzada Mantenimiento. Mejora de la eficiencia. TPM, RCM, Análisis PM.	Básicamente elaboración del Manual de Mantenimiento, sabemos hacerlo y organizarlo. Sabemos implantar TPM, EFQM, 6 SIGMA, 5S, etc.
Concepto de OEE y GMAO.	Lo hemos desarrollado con amplitud, tenemos conocimiento contrastado en ello.
Explicación Propuesta diferenciadora 	Hemos desarrollado todos los conceptos, Coste ciclo de vida, TPM, RCM, MBC, Preventivo, Mejoras, Indicadores, GMAO, Planificación, Estructuración y Modelización Planta, Auditoria con evaluación de 8 niveles, etc. Introduciríamos referencias al EFQM
Políticas de Mantenimiento: LCC, Fiabilidad, Eficiencia energética.	Están desarrollados en el Presente Proyecto, son la base de nuestro Desarrollo. Podemos realizar la auditorias de eficiencia energética. Conocemos sistemas dinámicos de mejora de potencia reactiva, sistemas de ahorro consumo de gas, etc.
Políticas Proactivas 	Nuestro modelo de Implantación es 100% Proactivo. Porque en nuestro desarrollo la Proactividad es intrínseca.

2.- SUBCONTRATACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Para aquellos casos que no deseen por la razón que sea embarcarse en inversiones, da igual que sea por temor-desconocimiento, falta de financiación para inversiones, falta de personal cualificado, etc., existe en el mercado la posibilidad de subcontratar el Mantenimiento Predictivo.

Para estos casos estamos en condiciones de indicarles, debido a nuestro conocimiento del mercado, que existen empresas las cuales pueden permitir la implementación del Mantenimiento Predictivo en régimen Externalizado 100% o Mixto. Es decir se instalan puntos de medida con el soporte técnico del especialista que a su vez enseña a tomar los datos y es el personal de la empresa la que toma los datos y tanto el almacenamiento de datos como el análisis es realizado por los expertos Externos o todo el trabajo lo realiza personal externo.

Conocemos empresas de garantía por su experiencia y solvencia que desarrollan estas posibilidades por lo que también estamos en disposición de dar este servicio de outsourcing.

En este caso la experiencia y el tiempo dirían la evolución final.



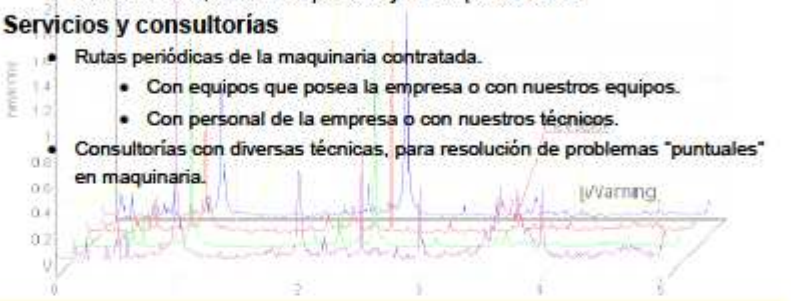


Mantenimiento Predictivo



- **Análisis de Vibraciones:**
  - **Suministro de Equipos y Accesorios**
    - Equipos Portátiles de valor global (RMS).
    - Equipos Portátiles y Software para análisis espectral.
    - Sistemas de Monitorizado en Continuo (RMS, Espectro, Temperaturas, etc.).
    - Acelerómetros, sondas de proceso y de desplazamiento.
  - **Servicios y consultorías**
    - Rutas periódicas de la maquinaria contratada.
      - Con equipos que posea la empresa o con nuestros equipos.
      - Con personal de la empresa o con nuestros técnicos.
    - Consultorías con diversas técnicas, para resolución de problemas "puntuales" en maquinaria.





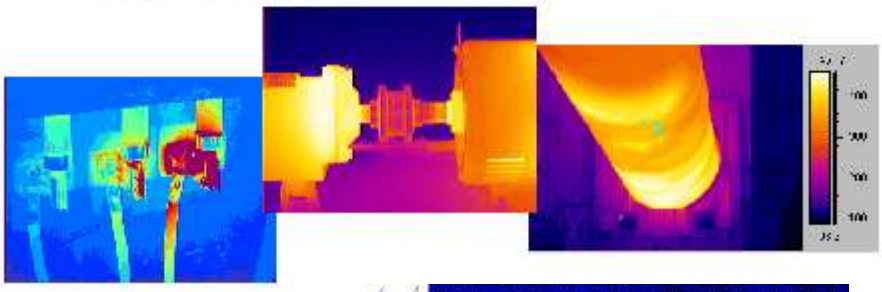
- **Formación en planta a todos los niveles**

- **Análisis de Aceites y <u>Ferrografia</u>:**
  - **Suministro de Equipos.**
  - **Servicio**
    - Rutas periódicas para recoger las muestras de aceites en la maquinaria contratada.
    - Servicio mediante **<u>ultrasonidos</u>** para realizar periódicamente el engrase "OPTIMO" en la maquinaria contratada .

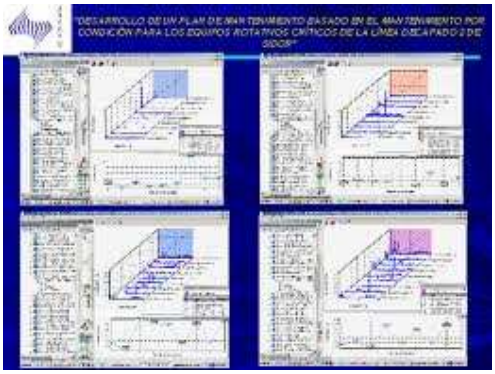




- **Termografia**
  - **Equipos y Servicios**







3.- AUDITORIA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

Hoy día cada vez más se mira al coste de la energía en su doble vertiente económica y asociada al medio ambiente, los ahorros de consumo debe de ser referenciados respecto al ahorro en la emisión de CO_2 a la atmósfera.

Además de los activos de producción hay otros activos que consumen energía en cantidad nada desdeñable: compresores, iluminación, hornos, aire acondicionado, etc.

Estamos también en disposición de realizar una auditoría de eficiencia energética según la norma UNE 216501 y valorar las posibles mejoras o las diferentes técnicas para el control del consumo energético ofreciendo alternativas. Podríamos incluso monitorizar el consumo.

En la vigilancia y control del consumo energético la Función Mantenimiento puede hacer una importante labor para reducir el consumo y producir así de manera más eficiente.

La Energía eléctrica, Aire, Agua, Gas, son las principales fuentes de consumo. Existe numerosa tecnología relacionada con las mencionadas áreas para medir, controlar y de reducir el consumo en cada una de ellas.

4.- REFERENCIAS DE LOS CONSULTORES

Consultor	Eduardo Carrera Díaz	
Fecha de nacimiento	05/02/1946	
Domicilio	Paseo de Urquizu nº 9 20600 EIBAR	
Móvil:	610 25 83 64	
Formación	Ingeniero Industrial - Escuela de Ingenieros de Bilbao	
Complementaria	Calidad Total - Dirección Estratégica	1995
	Formación y Autoevaluación E.F.Q.M	1996
	Formación de Consultores	1997
	Integración Sist. Calidad, Mediomb.y Segur.	1999
Historial Profesional	Director de Area en:	
	. *Aceros de Llodio*	*1976*
	. *Alfa*	*1980*
	. *Lambretta*	*1983*
	. *Fagor Ederlan*	*1992*
Profesor	Eskola Politeknikoa - Mondragon 1984-1989:	
	• *Diseño de Especialidad de Producción en Ingeniería Técnica*	
	• *Especialidad de Producción Ingeniería Técnica*	
	• *Especialidad Calidad*	
Consultor:	Gain y Fideslan consultores (actual)	1993 - .....

Sistemas de Calidad: implantación ISO 9001, EN9100, OHSAS 18001 e ISO 14001

Tevesa	Icaza	Incomimex
Icasa	B-Lux	Palets Txorierri
Estampaciones Elgeta	Wolco	Benito y Cia
CMC Canal	Guria	Enlapren
Uribesalgo - Mondragon	Plásticos Ormazabal	Beitxi
Tratamientos Térmicos Iurreta	Teclapalst	Mecanizados Galindo II
Utillajes Uribesalgo - Vitoria	Talleres Ermua	Alfred Night España
Euskontrol	Meydeco	HIB
Gepro	Himecaero	

CURSOS DE FORMACIÓN IMPARTIDOS en ADECCO Bizkaia, IMH Elgoibar, CEI San Sebastián, ……..	
Control Estadístico de Procesos CEP	*Sistema de cambio rápido SMED*
Cusum, suma acumulada. Control para series medias	*Mejora de métodos de cambio de utillaje*
AMFE de proceso	*Gestión de producción (todas las áreas)*
AMFE de diseño	*Gestión de stock*
AMFE de Mantenimiento	*Lean Manufacturing*
Análisis de problemas, toma de decisiones	*Kanban*
Metodología de resolución de problemas para la mejora de productos y procesos	*Despliegue de Objetivos "Indicadores". Sensibilización*
Metodología de resolución de problemas para la mejora de productos y procesos 8D´s.	*Sensibilización y orientación a la producción*

Diseño de experimentos	*Control de costes análisis de oferta*
Calidad de Gestión – EFQM (Calidad Total)	*Gestión de procesos*
Normas ISO 9000	*TPM. Mantenimiento productivo total*
Calibración. Control de los dispositivos de seguimiento y medición	*Estudio de tiempos. Tiempos predeterminados*
	5Ss

Por regla general me contratan entidades dedicadas a la formación, hay cursos que se imparten en estas entidades en régimen abierto, y cerrado, en empresas que las subcontratan, y en las que siempre estoy sujeto a evaluación. Estas entidades son:

- ADECCO
- ESDEN: Escuela superior de negocios y tecnología
- CEI: Formación y asesoramiento empresarial s.l.
- Colegio de Ingenieros de Guipúzcoa
- EUSKALIT: Fundación vasca para el fomento de la calidad
- HUEZI : Escuela de humanidades de Eskoriaza (MCC, Mondragon)
- IMH: Instituto de máquina herramienta de Elgoibar

La formación siempre se imparte a empleados de empresas.

A través de estas entidades (aunque veces la contratación es directa) y en régimen cerrado he impartido formación en las empresas (formación impartida entre los años 2002 y 2013):

V.LUZURIAGA (Fagor),	Automoción. Fundición
EDERLAN (FAGOR),	Automoción. Fundición, mecanización
JEGAN	Inyección de aluminio
LOIRE SAFE	Máquina herramienta: Prensas
BETAPAC	Inyección plástico
TECNOPEC	Inyección plástico
WOCO	Automoción. Inyección goma
LIKALE	Revestimiento de cilindros
NORMA	Automoción. Componentes
ACICAE	Automoción
MARIA BRIZARD	Bebidas
LANIK	Diseño y construcción de estructuras metálicas
TAJO	Automoción. Inyección plástico
REINER	Automoción. Inyección plástico
BOCHS	Automoción. Componentes de frenos
MONDRAGON SISTEMAS, S.COOP.	Sistemas de organización
LIKALE	Caucho Industrial Revestimientos
LARZEP	Gatos
IBERCONTA	Contadores
PRODEMA	Productos de madera
FOREM	Formación
EDSCHA	Automoción
LEA ARTIBAI IKASTXEA: Escuela de formación profesional	
BETSAIDE	Fundición
FOURNIER	Barajas
STADLER	Sinterizado
ACORDE	Telecomunicación
AL-KO	Automoción
ALFA	Fundición
GOROSTIDI	Maquinas para industria de papel

FAYMESA	Ascensores
TENNECO AUTOMOTIVE	Automoción
COMPONENTES Y CONJUNTOS	Automoción
CEMOSA	Celulosas moldeadas
MESA	Manufacturas Eléctricas
IMEN	Grupos de ascensores
SAMMIC	Equipos para hostelería
TTT EJES, S.A.	Automoción
INTECTADOS GABI	Fundición inyectada de aluminio
MESA	Manufacturas eléctricas
DURR	Ingeniería
JAURE S.A.	Transmisiones
HISBALIT	Revestimientos

En la actualidad estoy aplicando la norma EN 9100 (serie aeroespacial) 5Ss y OHSAS 18001.

EDUARDO CARRERA DIAZ 13/03/2013

****

RAMON ARIZAGA ARCELUS. e-mail: ramonarizaga@ingenieros.com. Movil: 683 18 91 87

Experiencia Profesional

1982-1984 Troquemetal-Arin
Cargo: Operario de almacén.
Función: Preparación de los pedidos para envío a los clientes

Asunción de las funciones de encargado en ausencia de éste por baja de larga duración.

1986-1991 Orbea S.coop
Cargo: Responsable seccion de acabados
Función: Control de los baños de niquel y cromo así como de la organización de la producción.
A lo largo de este periodo también asumo las funciones de encargado de la sección de montaje y pintura

Reducción de los costes de niquelado y cromado mejorando la calidad de los mismos.
Selección de máquinas para el montaje ruedas.
Reducción de los rechazos en la sección de pintura

1992-1998 Fagor Ederlan S.Coop
Cargo: Jefe de Mantenimiento Planta de Mecanizados
Función: Dirección y coordinación de las diferentes actividades y profesionales de mantenimiento

Aumentar la disponibilidad de las lineas del 58 al 80%.
Implantación de GMAO y Tecnicas de Mantenimiento Predictivo (vibraciones, termografia, analisis de particulas en aceites,etc..)
Implantación del TPM con la coordinacion del IJTPM (Instituto Japonés TPM)

1998-2001 Fagor Ederlan S.Coop
Cargo: Ingenieria de Producción Planta de Mecanizados
Función: Analisis de incidencias y mejora de procesos

Homologación linea producción Honda con defensa en su central de Inglaterra.

	Defensa de proyecto linea producción en marcha para ITT en su central de Alemania y ejecución de estudio de capacidad bajo supervisión técnicos ITT.
2001-2011 La Industrial Cerrajera SA Cargo: Director de Producción Función: Direccción y coordinación de las diferentes actividades asociadas a la producción para conseguir la cumplimentación de los objetivos. A lo largo de este periodo asumo las funciones de responsable de Compras y también responsable de Medio Ambiente	Aumento de la subcontratación del montaje de cerraduras inviertiendo el ratio montaje externo/interno. Modificación Lay-out sección de Prensas. Compra de máquinas especiales para diferentes mecanizados, Prensa de 250 Tn., etc.. Realización de modificaciones en máquinas para mejorar la ergonomia, productividad, calidad, ahorro energía, etc. Diseño de máquinas para pulido remachado, etc.. Compra de máquinas y selecciones de los primeros proveedores para la planta montada en China.
2013 HAINGOR SL. Distribuidor SMC Cargo: Tecnico Comercial	Labores propias del puesto, mantenimiento de la cartera de clientes, prospección de mercado. Busqueda y negociación para la ditribución de nuevos productos

Formación académica

1977-1980 Ingenieria Tecnica Industrial
Universidad Laboral Huesca
Ingenieria enfocada al control de los procesos e instalaciones químicas

1985 Curso Electricista de Mantenimiento Industrial
INEM de Lasarte
Formación en automatismos eléctricos industriales

2º Curso Ingenieria Industrial Electrónica
Universidad Laboral Eibar

Cursos

Tecnologia
Hidráulica para máquinas, Captadores Industriales, Mantenimiento Predictivo (IRM, MANTECNOLOGIA), Mecanizado en Fresadora, etc..

Gestion Medioambiental
Programa eIKS gestión Medioambiental Gobierno Vasco.

Marketing

Ventas **y** Marketing de 340 horas LANBIDE

Auditoria

Auditorias Energéticas de Calidad según la Norma UNE 216501. AENOR

RAMON ARIZAGA ARCELUS

20-9-2013

****

EXPERIENCIA COMUN

ASUNTO: Eduardo Carrera describe la participación de Ramón Arizaga en el proyecto que el mismo define como "El Milagro".

En el año 1992 se me encomendó la dirección de una empresa de automoción (ver mi currículo) con de resultados económicos muy negativos, en una planta de mecanizados que se dedicada a la producción de discos de freno en primer equipo. Después de dos meses de observación de los problemas de la planta procedimos a la incorporación como Jefe de Mantenimiento a Ramón Arizaga.

Con dificultades cumplíamos con los programas que solicitaban los clientes, dándose la circunstancia de que todo lo que fuésemos capaces de fabricar estaba vendido (Oportunidad).

Fue conocido por toda la planta, que el incremento del rendimiento de los Equipos y la rentabilidad tenían una relación lineal, luego el problema estaba en el Mantenimiento de los Equipos.

Ramón se encontró con un Mto. Reactivo en estado puro, sin asomo de Gestión de Mantenimiento. El proyecto de mejora comenzó con la implantación del sistema de mejora llamado en el TPM, Mto. Productivo, cuya misión es: *"si aparece una avería, que voy hacer para que no suceda más"*. En este sistema era preciso la captura del dato a pié de máquina, realizado por el maquinista cuando éste no lograba el rendimiento óptimo, para al día siguiente tratar la avería con Encargados, Rble. de Calidad, Rble. de MTO electrónico, Rble. de Fabricación y el mismo, donde establecían la Causa, Acción, Responsable y Plazo, además del seguimiento del estado de implantación de las acciones anteriores.

La implantación del Mto. Productivo supuso la creación de una política de Gestión de Recambios, el establecimiento de un MTO. Preventivo e incluso un Mto. Predictivo en el cambio de rodamientos de los portaherramientas (la holgura afectaba a la calidad). La propuesta de Mto. Preventivo realizada por Ramón de sustituir durante los fines de semana los microinterruptores y contactores deteriorados supuso una mejora de un 12% global, prácticamente desaparecieron las averías eléctricas. También implantó un sistema de recogida de datos que supuso nuestro primer histórico de averías, que mitigó el Tiempo de Reparación.

Por último Ramón describió el sistema implantado, el cual acabó siendo similar a los esquemas del TPM.

El proyecto en el que Ramón fue parte principal de la mejora de rendimiento se debió fundamentalmente a:

1. Un Indicador no económico, el rendimiento, con relación directa con lo económico. Con Rendimiento = 54% perdíamos 20.000.000 pts/mes, y con un Rendimiento = 80% ganábamos 26.000.000 pts/mes. El rendimiento se sabía en tiempo real y era conocido por todos así como su relación con los resultados en pts.
2. Un sistema de captura de problemas el Mto. Productivo en la que todos participaban.
3. Una planta de mecanizados motivada por lo dicho en los puntos 1º y 2º.

Eduardo Carrera

09/09/2013

FIDESLAN

Javier Saizar · Fideslan · Avda. Tolosa, 5-3º oficina 6 · 20018 Donostia
T. 943 42 96 09 / F. 943 429 515 · jsaizar@fideslan.com · www.fideslan.com

11.-RESUMEN FINAL Y CONCLUSIONES

A continuación extraeremos nuestras conclusiones sobre las ventajas de la aplicación del Presente Proyecto de Metodología de Implantación para el Desarrollo de La Función Mantenimiento o Reingeniería de Mantenimiento. Los haremos desde tres ópticas o puntos de vista diferentes:

1. Metodología de Implantación
2. Desarrollo Práctico del Proyecto
3. Desarrollo Personal y Profesional

Para terminar estableceremos un Corolario Final.

1.- METODOLOGIA DE IMPLANTACIÓN.

Recomendamos la Consultoría Externa con un experto en Mantenimiento que actúe como catalizador de los recursos propios, con el objetivo fundamental y básico de la transferencia del Now How del consultor para que se quede en la propia empresa.

Recomendamos así mismo la independencia del Consultor con cualquier firma de equipamiento.

Existen variedad de Consultorías, cada uno deberá valorar las verdaderas virtudes y experiencia de cada Consultor. Los Consultores de experiencia y poca estructura tienen un coste económico muy inferior.

2.- DESARROLLO PROYECTO

INTRODUCCION

Como ejemplos de toda la Teoría y Metodología expuesta en el presente Proyecto de Desarrollo de la Función Mantenimiento, se han presentado dos casos reales significativos.

Con los ejemplos presentados queda demostrado que el camino a la Mejora es una cuestión de Actitud, definida como Manifiesta disposición del Ánimo. Esta idea la hemos venido planteando en las diferentes fases del Proyecto.

Evidentemente la Técnica es un apoyo fundamental que ayuda a afianzarse en el

camino hacia el éxito.

1.-VISIÓN DEL PROYECTO A TRAVES DE LA CURVA DE BAÑERA

En general, con la implantación del presente Proyecto de desarrollo de la Función Mantenimiento, habremos conseguido modificar la forma de trabajo. Visualizándolo a través de las curvas de Bañera que se generan a través de un histograma real de fallos:

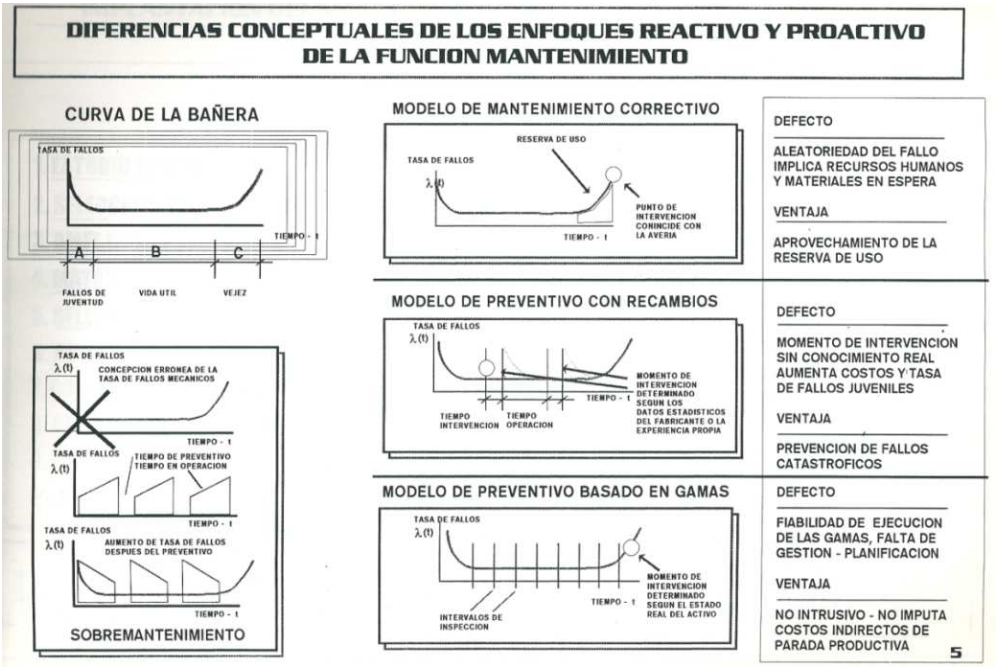


Figura 1

Es decir, con el desarrollo del presente Proyecto habremos conseguido estar actuando en la zona C y nuestra experiencia hará que podamos ajustar cada vez más la intervención al punto de Fallo o Avería. Por lo tanto estaremos trabajando en términos económicos óptimos porque conseguiremos alargar al máximo el tiempo de operatividad de la máquina o instalación. Esto es lo que hemos definido como MANTENIMIENTO OPTIMO en el apartado de conceptos y terminología de la sección Estudio del Estado del Arte.

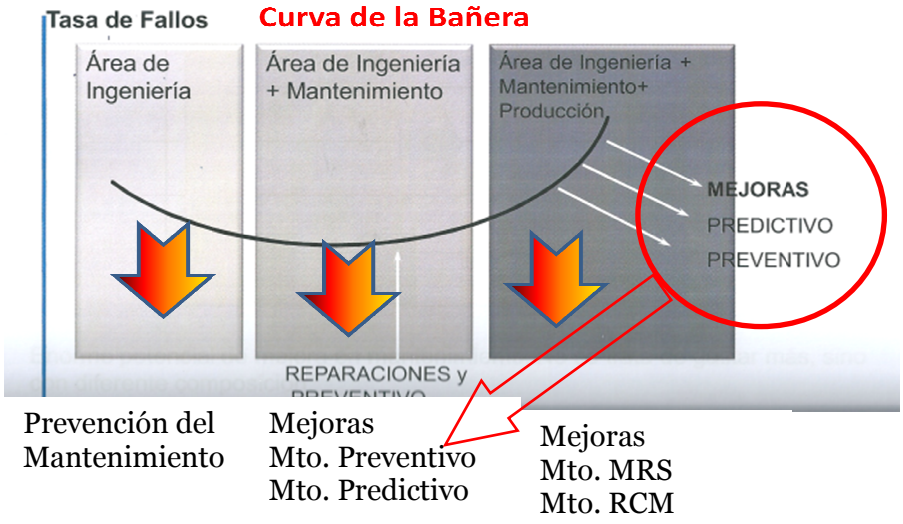


Figura 2

En las figuras 1 y 2 presentamos la relación que existe entre los tipos de Mantenimiento y su efecto en la Curva de la Tasa de Fallos. Hay quien presenta el modelo de la gráfica 2, nosotros preferimos su concepción bajo lo expuesto en la figura 2. Entendemos que las mejoras y los Mantenimientos Preventivo y Predictivo son los que mantienen una tasa de fallos al nivel más bajo posible. Cuando la máquina envejece debemos aplicarle el Mantenimiento de Reacondicionamientos Sistemáticos) y si somos capaces de aplicar las mejoras y el Mantenimiento Basado en la Fiabilidad (RCM) es entonces cuando conseguiremos mantenerme baja la Curva de Tasa de Fallos en esta tercer estadio de la máquina en su LCC.

2.- COMPRENSIÓN DEL PROYECTO DENTRO DE LOS SISTEMAS DE GESTION MÁS EXTENDIDOS

TPM

Partiendo de los 12 pasos del TPM los cuales los tenemos representados en la figura 3:

FASES DE IMPLANTACION DEL MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL

FASE	PASO	DETALLE	FASE	PASO	DETALLE
PREPARACION	1. PLANTEAMIENTO DE LA ALTA DIRECCION	DIFUSION A NIVEL EJECUTIVO	IMPLANTACION DEFINITIVA T.P.M.	7. MEJORA DE LA EFECTIVIDADDE CADA ELEMENTO DE LA INSTALACION	SELECCIONAR INSTALACION PILOTO; FORMAR EQUIPO DE PROYECTO
	2. PROGRAMAS DE FORMACION BASICA Y CONCIENCIACION	DIFUSION A NIVEL DE ESTAMENTOS SUPERIORES, INTERMEDIOS Y OPERATIVOS		8. DESARROLLO DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO AUTONOMO	PROMOCION DE SIETE PASOS; DESARROLLO DE UTILES DE DIAGNOSTICO
	3.CREACION DE ORGANIZACIONES PARA LA PROMOCION DE T.P.M.	OFICINA CENTRAL DEL T.P.M., ASIGNACION STAFF Y COMITES A DISTINTOS NIVELES		9. DESARROLLO DE UN PROGRAMA DE MTO. PARA EL DPTO. DE MTO.	INCLUYE MTO. PLANIFICADO, PREDICTIVO, ALMACEN DE REPUESTOS Y OFNA. TECNICA
	4. ESTABLECIMIENTO DE POLITICAS BASICAS Y METAS DEL T.P.M.	ANALISIS DE LAS CONDICIONES EXISTENTES, ESTABLECIMIENTO DE METAS Y OBJETIVOS		10. DIRECCION DE FORMACION PARA MEJORAR LAS CAPACIDADES DE LA M.O.D.	FORMACION Y ADIESTRAMIENTO DE JEFES DE GRUPO
	5. FORMULACION DEL PLAN MAESTRO PARA EL DESARROLLO DEL T.P.M.	PLANES DETALLADOS PARA LAS ACTIVIDADES BASICAS		11. DESARROLLO DEL PROGRAMA DE PREVENCION DE MTO.	ANALISIS LCC, MEJORAS, RELACIONES CON INGENIERIA
IMPLANTACION PRELIMINAR	6. ORGANIZACION DEL ACTO INAUGURAL DEL MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL	DIFUSION ENTRE LOS CLIENTES, PROVEEDORES Y OTROS SOCIOS COMERCIALES	ESTABILIZACION	12. IMPLANTACION AVANZADA Y ELEVACION DE NIVELES DEL T.P.M.,	EVALUACION PARA EL PREMIO DE PM (T.P.M.) ELEVACION DE OBJETIVOS

Figura 3

Las cuestiones abordadas en los diferentes capítulos del presente Proyecto se corresponden a partir del pasos 8 de las fases de implantación del TPM, como podremos comprobar en la figura 3, en el que el personal de Mantenimiento habiendo adquirido una mayor cualificación debido al conocimiento de las diferentes Técnicas de Mantenimiento Predictivo puede ayudar, además de completar con sus técnicas Predictivas, en la formación del Mantenimiento Autónomo.

En la fase 9 es posible Planificar las paradas de TPM, en las que se puedan abordar:

- Las tareas de Mantenimiento Autónomo que requieran parada de Maquina.
- Las tareas de Mantenimiento Preventivo con sus Gamas y Boletines de Inspección (BI), en las que se pueden incluir los BI de Mantenimiento Predictivo.
- Se incluyen también las OT´s de Mantenimiento Correctivo Planificable y se podrán ir incluyendo las diferentes Mejoras que provengan tanto de las tareas del TPM como del análisis de los informes del GMAO:

En la fase 11 cuando exista una cierta base documental en el GMAO, se podrá desarrollar la Prevención del Mantenimiento, colaborando con el departamento de Ingeniería en la compra de nuevas instalaciones. Se podrán justificar económicamente las mejoras de gran nivel.

EFQM

Siendo el grafico resumen de la figura 4:

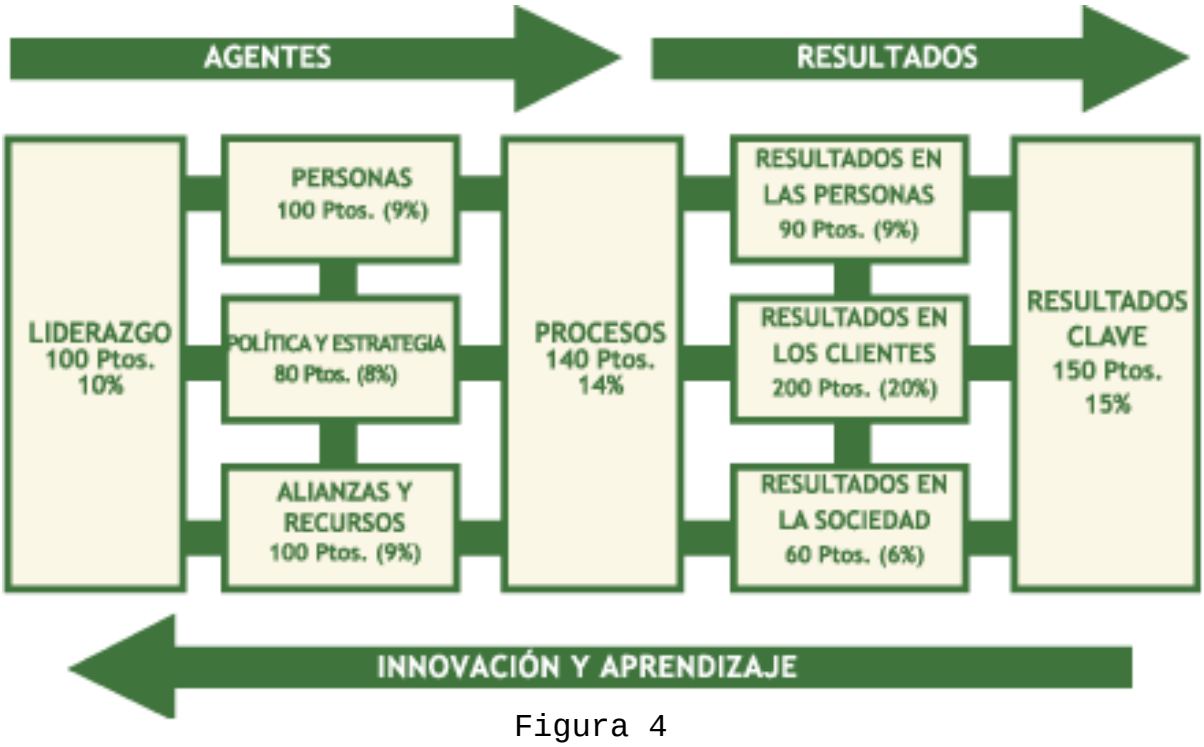


Figura 4

En la figura 4 se puede observar que la definición de los Procesos tiene un importante componente de valor para la obtención del diploma. Por lo que la Implementación de este importante Proceso con el desarrollo del presente Proyecto ayudara considerablemente. Habrá además cuestiones relativas o asociadas a los capítulos de Liderazgo, Personas, Política y Estrategias que estarán parcialmente desarrolladas, o encaminadas.

Respecto a los sistemas de organización 5S o 6SIGMA podríamos concluir que el desarrollo presente Proyecto permitirá avanzar en estos sistemas de gestión de forma similar a los casos anteriores, puesto que en el fondo las similitudes conceptuales son elevadas.

3.-IMPLICACIONES DEL PROYECTO

Explicado de otra manera, enumeraremos las implicaciones del desarrollo del presente Proyecto en las diferentes áreas:

IMPLICACIONES ECONÓMICAS

- ✓ Se inicia un riguroso Sistema de Medición de actividades y recursos de la Función Mantenimiento
- ✓ Es viable, con carácter inmediato, establecer los objetivos cuantitativos concretos, implantar su administración, medir deviaciones y cumplimiento.
- ✓ La gestión analítica de Mantenimiento facilita labores de la gestión económica superior (administración, dirección).
- ✓ Mejora significativa de indicadores económicos a partir de un año después de haberse iniciado el proyecto.
- ✓ Estrecha vinculación de la gestión de activos con la realidad económica de la empresa a partir de los 6 meses.
- ✓ Información económica retroalimentada para Compras, Ingeniería, Nuevos proyectos y Calidad

IMPLICACIONES SOCIALES

- ✓ El modelo participativo de implantación del proyecto es un potente elemento motivador para todo el personal involucrado
- ✓ La parte social, comité de empresa, suele aceptar muy positivamente la tecnificación de la plantilla de mantenimiento.
- ✓ La descripción de funciones y su cumplimiento, contrario a lo que pueda parecer, ayuda a la integración efectiva de los mandos, tanto intermedios como superiores.
- ✓ La potenciación del trabajo en grupo, el enfoque integral de la solución de problemas y el objetivo común "optima economía", ayuda a mejorar las relaciones horizontales de los mandos superiores.
- ✓ La implantación del proyecto tiene efecto en cadena en otras áreas productivas, enfatizando la calidad. La certificación ISO 9000 encuentra un importante aliado en la organización de la función Mantenimiento. Así como los programas de TPM o de EFQM.

IMPLICACIONES TECNOLÓGICAS

- ✓ Elevación del nivel formativo de los oficiales y mandos intermedios, particularmente en diversos aspectos de diagnostico técnico de fallos, análisis de las causas de averías y métodos de corrección.

- ✓ Desarrollo de la Ingeniería de Mantenimiento con incidencia en el aseguramiento de la calidad de intervenciones, impulso al área de mejora de activos productivos, desarrollo de la Oficina Técnica y Almacén.
- ✓ Posibilidad de un control técnico más riguroso de subcontratas, aseguramiento de calidad de los talleres externos, peritaciones internas, defensa de los intereses de la empresa la recepción de nuevas instalaciones.
- ✓ Mayor nivel de conservación y prolongación de la vida útil económica de las instalaciones (LCC)
- ✓ Aumento de nivel de planificabilidad por periodos de predicción y por la implantación del sistema GMAO.

3.- DESARROLLO PERSONAL Y PROFESIONAL

La Implantación del Proyecto de Desarrollo de la Función Mantenimiento en las diferentes plantas de Fagor Ederlan me ha servido para:

- ✓ Ver las dificultades de implantación, técnicas y organizativas, en una planta industrial como Jefe de Mantenimiento y trabajar para solventarlas con éxito.
- ✓ Ver y trabajar en la coordinación y desarrollo del proyecto desde la perspectiva de avance del proyecto que ofrece el punto de vista del Consulting, aplicando una visión por encima del propio departamento de Mantenimiento.
- ✓ Conocer un conjunto de personas únicas por su nivel Técnico y Humano, en diversas áreas Tecnológicas y Organizativas.
- ✓ Aprender que con fe, voluntad y personas involucradas es muy difícil no superar un reto o no alcanzar un objetivo

4.- COROLARIO FINAL

En el prólogo del presente proyecto, METODOLOGIA DE IMPLANTACIÓN PARA EL DESARROLLO DE LA FUNCIÓN MANTENIMIENTO EN UNA EMPRESA O REINGENIERIA DE LA FUNCIÓN MANTENIMIENTO, decíamos que el futuro de las empresas estaría asegurado con la implicación eficiente, eficaz y verdadera de las Personas. En el desarrollo hemos hecho y dado numerosas referencias y ejemplos de necesidad de trabajo en equipo e implicación, finalizamos el presente Proyecto con un corolario final:

Las empresas serán "grandes", independientemente de su tamaño si:

1. Su organización permite el desarrollo profesional y personal de sus miembros.
2. Su Personal tiene Actitud entendida como Manifiesta disposición del ánimo.

⇒ Ambas condiciones son NECESARIAS pero NO SUFICIENTES por sí mismas.

✓ Es la SUMA de ambas lo que permite un desarrollo EXPONENCIAL.

En términos estadísticos podemos afirmar que las empresas que consigan aunar ambas condiciones (CUMPLAN) tendrán muchísimas más probabilidades de éxito que aquellas que sólo cumplan una de ellas y muchas más aún que aquellas que no cumplan ninguna.

Ramon Arizaga Arcelus

12.-REFERENCIAS

- *Referencia 1*: TPM. Introducción al TPM MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL.
  - Autor: Seichi Nakajima.

  Desarrollo Práctico Caso B, página 25

- *Referencia 2:* CURSO MANTENIMIENTO INDUSTRIAL:
  - Centro de Formación Permanente IRAUNKOR.
  - Profesor: D. Eduardo Carrera. Consultor Senior Freelance

- *Referencia 3:* COMO SUCEDIÓ EL MILAGRO. EXPERIENCIA FAGOR EDERLAN.
  - Autor:D. Eduardo Carrera. Consultor Senior Freelance

  Consultoría Integral página 12-13

- *Referencia 4:* CURSO DE REINGENIERIA DE MANTENIMIENTO.
  - Fundación TEKNIKER.
  - Profesor: D. Zoran Juric. Consultor Ejecutivo GRUPO MANTECNOLOGIA

- *Referencia 5:* FAGOR EDERLAN COMON –Proyecto Eureka Maine EU.1125.
  - Conferencia CITA 97 –Bilbao septiembre 1997-
  - Autor: D. Ramon Arizaga Arcelus. Jefe de Mantenimiento Planta de Mecanizados FAGOR EDERLAN

  Introducción Desarrollo Práctico/Desarrollo Práctico Caso A, página 15/ Desarrollo Práctico Figuras 1,2,3,4,5, 12,13,14,15, 19,23,40,44,45,46,49,51

- *Referencia 6:* TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO Y GESTION INFORMATIZADA COMO BASES DE PROGRESO: UNA EXPERIENCIA PRACTICA EN FAGOR EDERLAN.
  - Autor: Jose P. Rayo Peinado. Ingeniería, Reparación, Mantenimiento, SA

    Desarrollo Práctico Caso B, página 25

- *Referencia 7:* REVISTA INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO,
  - nº 116. Articulo Contratación del Mantenimiento. Autor: Manuel Corretger.
  - nº 128. Limpieza de Aceites: La solución centrifuga. Autor : Fernando Arranz.
  - nº 134. Varios artículos y debate sobre el TPM
  - nº 138. Aspectos clave en la implantación del *outsourcing*. Autor : Joan Miró Bedós.

- *Referencia 8:* EL MANTENIMIENTO EN ESPAÑA. ENCUESTAS SOBRE SU SITUACIÓN EN LAS EMPRESAS ESPAÑOLAS. (1997 y 2010)
  - Autor: Asociación Española de Mantenimiento

    Sistemática de Implantación página 1/ Sistemática de Implantación página 3/Estado del Mantenimiento en España páginas 1-4

- *Referencia 9:* ANÁLISIS DE VIBRACIONES E INTERPRETACION DE DATOS.
  - Autores: Jesus A. Royo, Gloria Rabanague, Fernando Torres

    Desarrollo Práctico Caso B, página 20/Medida y Análisis de Vibraciones página 3/ Medida y Análisis de Vibraciones página 8

- *Referencia 10:* INTRODUCCION ANÁLISIS DE VIBRACIONES. Pequeñas charlas de Mantenimiento.

  Desarrollo Práctico Caso B, página 25

- *Referencia 11:* TUTORIAL DE VIBRACIONES PARA MANTENIMIENTO MECÁNICO.
  - Autor: A-MAQSA

    Desarrollo Práctico Caso B, página 25

- *Referencia 12:* ANÁLISIS DE VIBRACIONES APLICADO A LAS MÁQUINAS ROTATORIAS DE BAJA VELOCIDAD.
  - Autores: Edgar A. Estupiñan, Pedro N. Saavedra

    Desarrollo Práctico Caso B, página 23/Medida y Análisis de Vibraciones página 3

- *Referencia 13:* INTRODUCCIÓN AL FENÓMENO DE LAS VIBRACIONES MECANICAS. CURSO DE DOCTORADO TEMA 7
  - Autor: Departamento de Ingeniería Mecánica, Energética y Materiales de la Universidad de Navarra

    Desarrollo Práctico Caso B, página 24/ Sistemática de Implantación página 30/ Medida y Análisis de Vibraciones página 9

- *Referencia 14:* NOCIONES TPM
  - Autor: M. Lefcovich

    Sistemática de Implantación página 1

- *Referencia 15:* PRESENTACION DEL MODELO EFQM
  - Autor: GuiadelaCalidad.com

    Desarrollo Práctico Caso A, página 9,10/ Sistemática de Implantación página 1/ Sistemática de Implantación página 6

- *Referencia 16:* ESTRATEGIA 6 SIGMA EN MANTENIMIENTO.
  - Autor: Fernando Espinosa Fuentes.

    Desarrollo Práctico Caso A, página 6,7 /Sistemática de Implantación página 1

- *Referencia 17:* MANUAL DE LAS 5 S

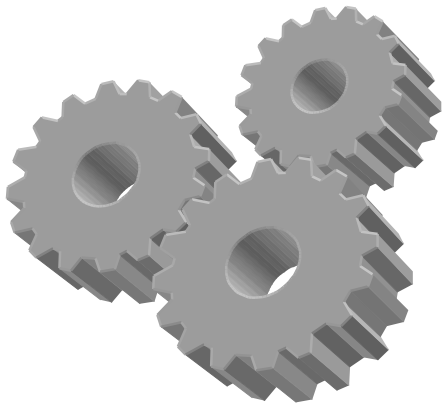
  Sistemática de Implantación página 1

- *Referencia 18:* FUNDAMENTOS PARA EL ANÁLISIS DE WEIBULL
  - Autor: Robert B. Abernethy

PROYECTO

METODOLOGIA DE IMPLANTACION PARA EL DESARROLLO DE LA FUNCION MANTENIMIENTO EN UNA EMPRESA O REINGENIERIA DE MANTENIMIENTO

ANEXO ANALISIS VIBRACIONES



Autor: Ramon Arizaga Arcelus

Normativa sobre Vibraciones

7.1 Introducción

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

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

Así, algunas normas establecen clasificaciones para los equipos indicando cómo han de llevarse a cabo las medidas y cómo han de analizarse los datos obtenidos; definiendo, del mismo modo, las condiciones de operación del equipo durante el procedimiento de ensayo.

En este capítulo, se va a hacer mención principalmente a la normativa relacionada con la vibración en máquinas y sus posibles clasificaciones. En general, no se van a introducir otros posibles campos como podrían ser:

- Normas para la calibración de transductores.
- Normas para el diseño de máquinas de ensayo por impacto.
- Normas asociadas a procedimientos de ensayo para la caracterización de materiales elastómeros empleados en dispositivos de aislamiento de vibraciones e impactos (normas de la ASTM – American Society for Testing and Materials).
- Normas para la evaluación, ensayo y uso de máquinas de equilibrado.
- Normas relativas a los métodos de ensayo y caracterización de materiales de protección para embalajes.
- Normas relativas a los efectos de los impactos y las vibraciones en el hombre.

7.2 Tipos de normas

Atendiendo al ámbito de desarrollo y de aplicación pueden distinguirse los siguientes tipos de normas:

- **Normas Internacionales (ISO – International Standards Organization)**. Se consideran de máxima prioridad en transacciones internacionales, siendo en la práctica el punto de partida para valorar la severidad de vibraciones. El principal inconveniente que presentan dichas normas es su carácter general.
- **Normas Europeas (EN)**. Dentro del ámbito de la Unión Europea, las normas o directrices europeas van constituyendo en los últimos años la referencia a la que adecuar las correspondientes Normas de carácter nacional. Así, es habitual que las mismas incorporen en su preámbulo una afirmación del tipo:

  "*Esta norma europea deberá recibir el carácter de norma nacional, bien por la publicación de un texto idéntico, bien por ratificación lo más tarde en enero de 1998 y las normas Internacionales en contradicción con ella deberán ser retiradas lo más tarde en enero de 1998*".
- **Normas Nacionales (UNE).** Por ejemplo, la norma UNE 20-180-86, que se comentará posteriormente. Esta norma debería ser la más utilizada para determinar la severidad de la vibración en un determinado tipo de máquinas, aunque se considera más como recomendación que como mandato legal.
- **Recomendaciones y guías de los fabricantes**. Son recomendaciones de los fabricantes sobre los niveles de vibración permisibles por sus equipos. En la mayor parte de los casos, se limitan al área de la turbomaquinaria, aunque hay una gran tendencia a exigir este tipo de información al fabricante cada vez que se adquiere un equipo crítico.
- **Normas internas**. Resulta recomendable desarrollar normativas internas propias de vibraciones por ser las que mejor se adaptan a los equipos tipo de cada planta productiva. Esta en una de las tareas más difíciles dentro del Mantenimiento Predictivo, pero se ve recompensada a medio plazo por los excelentes resultados obtenidos.

7.3 Tipos de maquinaria

Desde el punto de vista de la medida y evaluación de la vibración, las máquinas pueden subdividirse básicamente en cuatro categorías:

- **Máquinas de movimiento alternativo con componentes tanto rotativos como alternativos** (motores diesel y ciertos tipos de bombas y compresores). En estos casos, la vibración se mide normalmente en la estructura principal de la máquina a bajas frecuencias.
- **Máquinas rotativas con rotores rígidos** (ciertos tipos de motores eléctricos, bombas monoetapa y bombas de baja velocidad). La vibración habitualmente se mide en la estructura principal de la máquina (tapas de cojinetes o soportes) donde los niveles de vibración resultan indicativos de las fuerzas de excitación generadas en el rotor como consecuencia de desequilibrios, rozamientos, deformaciones térmicas, vórtices y otros tipos de excitación.
- **Máquinas rotativas con rotores flexibles** (grandes generadores de turbina de vapor, bombas multietapa y compresores). La máquina puede vibrar de acuerdo con más de un modo de vibración según pasa por una o más de sus velocidades críticas hasta alcanzar la velocidad correspondiente al régimen de servicio. En este tipo de máquinas, la medida de la amplitud de vibración en un elemento de la estructura puede no ser indicativa del estado vibracional del rotor. Por ejemplo, un rotor flexible puede experimentar desplazamientos en vibración de gran amplitud que den lugar a un rápido fallo de la máquinas, aunque el nivel de vibración medido en la tapa del cojinete resulte ser muy pequeño. En estos caso, por tanto, puede resultar esencial medir directamente la vibración en el eje.
- **Máquinas rotativas con rotores semirígidos** (turbinas de vapor de baja presión, compresores de flujo axial y ventiladores). En este tipo de máquinas, el tipo de rotor flexible que les caracteriza permite que la medida de amplitud de vibración en la tapa del cojinete resulte indicativa de la vibración del eje.

7.4 Normas sobre la instrumentación y sistemas de medida

Estas normas se refieren a las características de los equipos y sistemas de medida y adquisición, analizadores de vibraciones y sensores, empleados en la medida y análisis de vibraciones. Engloban aspectos muy diversos como calibración, pruebas de seguridad, agitación y temperatura, etc. Al mismo tiempo, es importante destacar el hecho de como hay que cuidar particularmente el aspecto de los sensores, si se piensa utilizar el aparato en zonas potencialmente explosivas (es decir, en estos casos, tanto el aparato como el sensor han de ser intrínsecamente seguros). Algunas de las normas más habituales que suelen cumplir los aparatos y sensores de medida pueden ser las denominadas como: IEC, MIL y CISPR.

Entre las normas nacionales (**UNE**) que hacen referencia a estos aspectos, se pueden destacar las siguientes:

- **UNE 21 328 75 (1) "*Características relativas a los transductores electromecánicos destinados a la medida de choques y vibraciones*".**
- **UNE 21 328 75 (2) "*Clases de captadores de vibraciones y elementos sensibles empleados en estos captadores*".**
- **UNE 95 010 86 "*Vibraciones y choques, terminología*".**

A su vez, entre las normas ISO cabe mencionar la **ISO 2954 "Vibración mecánica en maquinaria rotativa y alternativa – Requerimientos para los instrumentos de medida de la severidad de vibración"**.

No obstante, es importante constatar como un número importante de aparatos de medida de vibraciones no cumple, en general, ninguna norma internacional. En la mayor parte de los casos, se confía en el renombre de ciertas marcas como garantía suficiente. Sin embargo, el cumplimiento de las normas de aparatos puede ser punto de conflicto en los peritajes.

7.5 Normas y guías sobre la severidad de las vibraciones

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

- El análisis del estado vibracional de una máquina en el rango de 10 a 1.000 Hz, se suele llevar a cabo a menudo en función de la velocidad de vibración, al resultar un parámetro prácticamente independiente de la frecuencia en este rango, lo que facilita el llevar a cabo una medida sencilla de la severidad de las vibraciones en una máquina.
- Cuando se trata de analizar un movimiento armónico simple, puede llevarse a cabo el estudio midiendo valores pico a pico, o valores rms, del desplazamiento en vibración. Sin embargo, para máquinas cuyo movimiento es más complejo, el uso de estos dos índices da lugar a resultados claramente diferentes debido al distinto peso aportado por los armónicos de más alta frecuencia.
- En máquinas rotativas con velocidad de giro dentro del rango de 600 a 12.000 RPM, el valor rms de las amplitudes de la velocidad de vibración suele corresponderse bastante bien con el nivel de severidad de la vibración. Así, la International Standards Organization (**ISO**) define como "**severidad de la vibración**" el mayor valor rms de la amplitud de velocidad de vibración obtenido en la banda de frecuencia 10 – 1.000 Hz y medido en unos puntos preestablecidos de la estructura (normalmente medidas triaxiales en la tapa de los cojinetes o en los soportes).

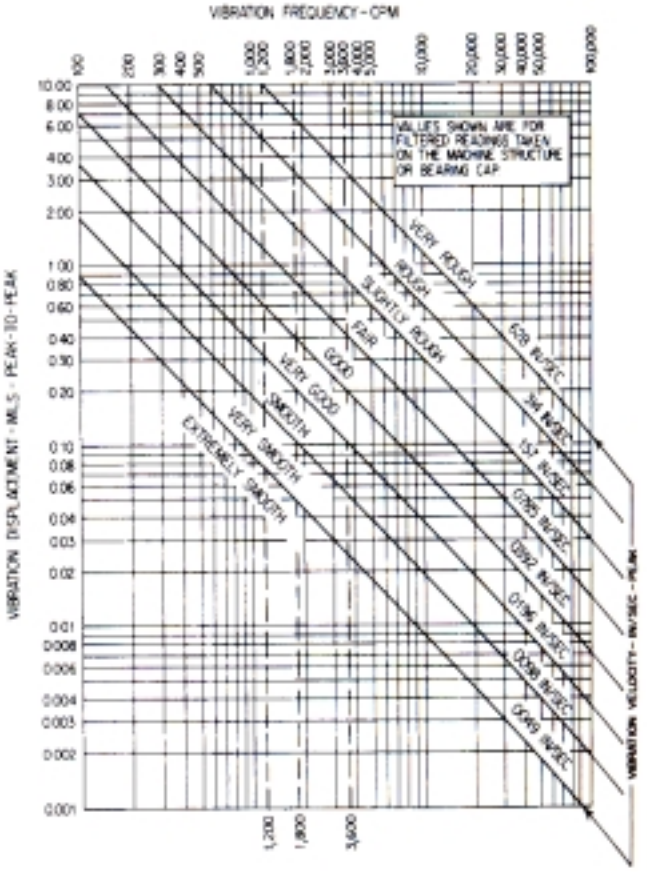
Por lo tanto, por regla general, las normas de severidad de vibraciones de maquinaria se basan en dos parámetros de la vibración: amplitud y frecuencia. A continuación, se van a comentar algunas de ellas y su aplicación a los diferentes tipos de maquinaria establecidos anteriormente.

CARTA DE RATHBONE

Es la primera guía (no norma) de amplia aceptación en el ámbito industrial. Fue desarrollada en los años treinta y perfeccionada posteriormente. La Carta dispone de dos escalas logarítmicas: frecuencial en hercios (Hz) y amplitudes en desplazamiento (Pico), mediante las que se podrá determinar directamente la severidad de la vibración.

Las principales limitaciones de dicha carta son las siguientes:

- No tiene en cuenta el tipo de máquina, la potencia y la rigidez de los anclajes.
- La carta es aplicable solamente a los equipos rotativos y no a los alternativos o a otros sistemas industriales.



Carta Rathbone

- Cuanto mayor es la frecuencia, la amplitud de vibración en desplazamiento tiene que ser menor para que se conserve la misma severidad. Es decir, si un equipo vibra a 300 RPM con 100 micras P-P, la severidad es “buena”, pero si la misma amplitud corresponde a una frecuencia de 4.000 CPM, entonces la severidad es “muy severa”. La vibración a baja frecuencia es menos peligrosa, que la vibración a alta frecuencia, de ahí que las averías de engranajes y rodamientos, que se producen generalmente a alta frecuencia, sean muy peligrosas. Este es el motivo por el que las amplitudes de baja frecuencia se miden en desplazamientos y las de alta frecuencia, en velocidad o aceleración. La carta de Rathbone fue creada para máquinas de bajas RPM y hoy se considera obsoleta.

NORMAS ISO

La normalización internacional (INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION) sobre la severidad de vibraciones de máquinas tiene una extensa gama de normas, entre las cuales pueden citarse:

- **ISO 2372-1974. "Vibración mecánica de máquinas con velocidades de operación entre 10 y 200 rev/s. Bases para la especificación de estándares de evaluación".**

  Es aplicable a máquinas rotativas con rotores rígidos y a máquinas rotativas con rotores flexibles en los que la medida de vibración en la tapa del cojinete resulta indicativa del comportamiento vibracional de eje.

  Sólo estudia vibración global, sin bandas de frecuencias.

  Los datos que se requieren para su aplicación son el **nivel global de vibración en velocidad** - **valor eficaz RMS**, en un rango de frecuencia entre 10 y 1.000 Hz (severidad de la vibración, según ISO). Por ello, cuando se trabaja en mantenimiento predictivo haciendo análisis por bandas, puede resultar muy útil definir siempre una **banda ISO de 10 Hz a 1KHz**, de cara a tener una referencia para posibles informes o reclamaciones.

  El análisis de este rango de frecuencias permite incluir, para estas velocidades de operación, las acusas más comunes de vibración en máquinas rotativas:

  - Excitaciones de carácter asíncrono debidas a rozamientos.
  - Desequilibrio del rotor.
  - Excitaciones de carácter eléctrico y sus armónicos.
  - Armónicos de excitaciones asíncronas del rotor.

  De cara al establecimiento de la **severidad de vibración admisible**, se distinguen varias clases de máquinas rotativas:

  - **CLASE I** – Componentes individuales, totalmente conectados al conjunto de la máquina en condiciones normales de operación. Por ejemplo, pequeños motores eléctricos hasta 15 Kw.
  - **CLASE II** – Máquinas de tamaño medio. Por ejemplo, motores eléctricos de 15 a 75 Kw o hasta 300 Kw en motores con cimentación especial.
  - **CLASE III** – Motores principales grandes, con cimentación rígida y pesada.
  - **CLASE IV** - Motores principales grandes montados sobre cimentación blanda y ligera. Por ejemplo, Turbomaquinaria (equipos con RPM > velocidad crítica).

El criterio de severidad en vibración admisible para cada una de las CLASES de máquinas mencionadas, es el reflejado en la Tabla:

RMS velocity ranges of vibration severity		Vibration severity* for separate classes of machines			
mm/sec	in./sec	Class I	Class II	Class III	Class IV
0.28	0.01				
0.45	0.02	A			
0.71	0.03		A		
1.12	0.04	B		A	
1.8	0.07		B		A
2.8	0.11	C		B	
4.5	0.18		C		B
7.1	0.28	D		C	
11.2	0.44		D		C
18	0.71			D	
28	1.10				D
45	1.77				

* The letters A, B, C, and D represent machine vibration quality grades, ranging from good (A) to unacceptable (D).

Como puede observarse en al tabla, la **severidad de vibración** se divide en cuatro rangos: A-Buena, B-Satisfactoria, C-Insatisfactoria o D-Inaceptable. Para utilizar la norma **ISO 2372**, basta con clasificar la máquina en estudio dentro de la clase correspondiente y, una vez obtenido el valor global (RMS) de vibración entre 600 y 60.000 CPM, localizar en la tabla la zona en la que se encuentra. La clasificación de la máquina se llevará a cabo en base a una serie de consideraciones:

- El tipo y tamaño de la máquina.
- El tipo de servicio que la misma va a proporcionar o proporciona.
- El sistema de soporte de la máquina.
- El efecto de la vibración en la máquina sobre el entorno de la misma (instrumentación, equipos adyacentes, personas, ...)

En general, se suele considerar que la severidad de vibración de la máquina se mantiene invariable si presenta siempre el mismo valor RMS de amplitud de velocidad de vibración en el rango de frecuencias 10 – 1.000 Hz.

- **ISO 3945. "Medida y evaluación de la severidad de vibración en grandes máquinas rotativas , in situ; velocidades de operación entre 10 y 200 rev/s":**

  Esta norma, como su mismo título indica, permite clasificar la severidad de vibración de grandes máquinas rotativas "in situ", para velocidades de operación también entre 600 y 1.200 RPM, mediante la Tabla de la página siguiente. Se aplica a los grandes motores principales, Clases III y IV definidas arriba.

rms velocity vibration severity		Support classification	
mm/sec	in./sec	Rigid supports	Flexible supports
0.46	0.018	Good	Good
0.71	0.028		
1.12	0.044		
1.8	0.071		
2.8	0.11	Satisfactory	Satisfactory
4.6	0.18		
7.1	0.28	Unsatisfactory	Unsatisfactory
11.2	0.44		
18.0	0.71	Unacceptable	Unacceptable
28.0	1.10		
46.0	1.80		
71.0	2.80		

En este caso, la clasificación de la severidad de vibración depende de las características de flexibilidad o rigidez del sistema soporte que presenta la máquina:

- Se dice que los soportes son flexibles si la frecuencia fundamental de la máquina sobre dichos soportes es menor que la principal frecuencia de excitación.
- Los soportes se dicen rígidos si la frecuencia fundamental de la máquina sobre los mismos es menor que la principal frecuencia de excitación.

- **ISO 10816. "Vibración mecánica. – Evaluación de la vibración en una máquina mediante medidas en partes no rotativas".**

  Es una normativa más reciente que las anteriores (de los 90). Recoge una serie de normas, incluidas en la Tabla siguiente, que describen los procedimientos para la evaluación de la vibración en máquinas en base a medidas realizadas en partes no rotativas de las mismas.

Standard	Guidelines for
Part 1[4]	General procedures for various classes of machines, based on measurements made on nonrotating parts
Part 2[5]	Land-based steam-turbine sets in excess of 50 megawatts
Part 3[6]	Coupled industrial machines with nominal power above 30 kilowatts; speeds between 120 and 15,000 rpm
Part 4[7]	Gas turbine-driven sets excluding aircraft derivative
Part 5[8]	Hydraulic machines with nominal power above 1 megawatt; speeds between 120 and 1800 rpm

  Cada una de las partes de esta norma proporciona un estándar individual para una serie de máquinas y define información específica y criterios aplicables únicamente a esas máquinas.

El criterio general relaciona el monitorizado en condiciones de operación y el ensayo de aceptación de la máquina; y se expresa tanto en términos de magnitud de vibración como de variación en dicha magnitud. Es decir, no hace referencia sólo a valores absolutos, sino también a valores relativos, a variaciones y tendencias.

No sólo habla de velocidad, sino también de aceleración y desplazamiento.

- **ISO 7919. "Vibración mecánica de máquinas no alternativas – Medidas en ejes rotativos y evaluación"**

  Una máquina rotativa que tiene una carcasa relativamente rígida y/o pesada en comparación con su masa rotativa, a menudo puede llegar a considerarse como que tiene un eje rotor flexible.

  En tal caso, las condiciones de vibración han de ser evaluadas con un mayor grado de sensibilidad si las medidas son llevadas a cabo sobre los elementos rotativos y no sobre los componentes estáticos de la máquina.

  Para este tipo de máquinas resulta preferible aplicar la normativa recogida en la serie de normas englobada por esta ISO 7919 y que se reflejan en la Tabla siguiente, antes que considerar la ISO 2372 o la ISO 3945. Estas dos últimas pueden no caracterizar adecuadamente las condiciones de funcionamiento de la máquina; aunque la realización de las medidas de acuerdo con lo establecido en estas dos normas sí pueden resultar útiles.

Standard	Guidelines for
Part 1[9]	General procedures for various classes of machines
Part 2[10]	Large land-based steam, turbine-generating sets
Part 3[11]	Coupled industrial machines with fluid bearings
Part 4[12]	Industrial gas turbines with power outputs greater than 3 megawatts
Part 5[13]	Hydraulic machine sets with fluid-film bearings with power outputs above 1 megawatt

- **ISO 10817-1. "Sistemas de medida de vibración en ejes rotativos, Parte 1: Señal relativa y absoluta de la vibración radial de ejes rotativos".**

  En el caso de motores eléctricos y generadores, las normas de la **ISO**, la **ANSI** (American National Standards Institute) la **NEMA** (National Electrical Manufacturers Association y la **API** (Americal Petroleum Institute) establecer una serie de criterios de clasificación para los niveles de vibración admisibles en motores eléctricos.

  Estos sistemas de clasificación no son iguales en todos los casos. Algunos están basados en el desplazamiento en vibración del eje PICO a PICO, mientras que otros utilizan bien el valor RMS o el valor PICO de la amplitud de vibración en

velocidad medida sobre la estructura (sobre los alojamientos de los cojinetes o los soportes), como es el caso de esta norma ISO 10817-1.

En cualquier caso, en cada norma se especifica las condiciones de ensayo y el procedimiento a seguir, incluido el montaje para el soporte de la máquina, la instrumentación y el método de ensayo.

- **ISO 2373. "Vibración mecánica en cierta maquinaria eléctrica rotativa con alturas de eje entre 80 y 400 mm – Medida y evaluación de la severidad de vibración".**

  Esta norma constituye una adaptación especial de la ISO 2372 para motores eléctricos, y se aplica a motores de corriente alterna trifásica y a motores de corriente continua con alturas de eje (distancia vertical entre la base del motor y la línea central del eje) entre 80 y 400 mm.

  En este caso, el criterio de severidad de vibración (el mismo que el de la ISO 2372) se toma en términos del valor RMS de amplitud de vibración en velocidad, en el rango de 10 a 1.000 Hz, cuando la medida se lleva a cabo con una instrumentación que cumple los requerimientos establecidos por la ISO 2954.

  Las medidas se realizan con la máquina suspendida libre (por ejemplo, suspendida o montada sobre un soporte elástico de muelles o material elastomérico). El motor opera a la frecuencia nominal (para los motores AC) y a su velocidad nominal. Cuando se trata de máquinas que disponen de varias velocidades o velocidades variables, los ensayos son llevados a cabo a diferentes velocidades de operación.

  Salvo que se diga lo contrario, las medidas de la severidad de vibración deben de realizarse sin carga de operación y a la temperatura alcanzada por el motor después de un periodo suficiente de operación en situación de no carga.

  La tabla siguiente establece los límites recomendados de la severidad en vibración para varios tamaños de motor.

		Velocity amplitude (maximum rms values) for the following shaft heights h, in mm*					
		$80 < h < 132$		$132 < h < 225$		$225 < h < 400$	
Quality grade	Speed, rpm	mm/s	in./sec	mm/s	in./sec	mm/s	in./sec
N (normal)	600 to 3,600	1.8	0.071	2.8	0.110	4.5	0.177
R (reduced)	600 to 1,800	0.71	0.028	1.12	0.044	1.8	0.071
	>1,800 to 3,600	1.12	0.044	1.8	0.071	2.8	0.110
S (special)	600 to 1,800	0.45	0.018	0.71	0.028	1.12	0.044
	>1,800 to 3,600	0.71	0.028	1.12	0.044	1.8	0.071

* A single set of values, such as those applicable to the 132- to 225-mm shaft height, may be used if shown by experience to be required. The shaft height is the vertical distance from the base of the motor to the centerline of the shaft.

7.6 Normativa de carácter nacional

Además de las normas internacionales mencionadas en el apartado anterior, hay que volver a recordar la existencia de normas españolas como la **UNE 20-180-86** "*Vibraciones Mecánicas de determinadas Máquinas Eléctricas Rotativas de Altura de Eje Igual o Superior a 56 mm*", basada en la norma **ISO 2372**, antes comentada.

En aquellos casos en los que se dispongan de sistemas de motorizado en continuo de maquinaria rotativa con sensores de proximidad (sin contacto), es conveniente consultar también otras normas como la **API** (Americam Petroleum Institute), en particular la norma **API 670** y la norma **VDI 2056**.

También hay que hacer obligada mención a toda aquella normativa que está surgiendo en los últimos años en base a la obligada adecuación de carácter nacional de las sucesivas Normas y Directivas Europeas que van siendo desarrolladas por el **Comité Europeo de Normalización** (**CEN**); ya que, de acuerdo con las Reglas internas del **CEN,** los siguientes países están obligados a adoptar estas normas europeas: Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Grecia, Irlanda, Islandia, Italia, Luxemburgo, Noruega, Países Bajos, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suecia y Suiza.

Se recogen a continuación de forma resumida algunos de los aspectos más importantes de tres recientes normas UNE surgidas de las normas europeas elaboradas por el **Comité Técnico CEN/TC 231 "Vibraciones y choques mecánicos"**, cuya Secretaría desempeña DIN y por el **Comité Técnico AEN/CTN 81 "Prevención y Medios de Protección Personal y Colectiva en el Trabajo"**, cuya Secretaría desempeña AMYS-INSHT:

- **UNE–EN 12096** (1997). Vibraciones mecánicas. Declaración y verificación de los valores de Emisión vibratoria.
- **UNE–EN 1299** (1997). Vibraciones y choques mecánicos. Aislamiento de las vibraciones de las máquinas. Información para la aplicación del aislamiento en la fuente.
- **UNE–CR 1030-1** (1995). Vibraciones mano-brazo. Directrices para la reducción de los riesgos por vibraciones. Parte 1: Métodos de ingeniería para el diseño de máquinas.

UNE–EN 12096

Los descriptores que encabezan esta norma son: Máquina, seguridad, vibración, medida, intensidad vibratoria, valor máximo, verificación, análisis estadístico, ergonomía, cuerpo humano. Constituye la versión española de la Norma Europea aprobada por CEN el 03-07-1997 y lleva por título: **Vibraciones mecánicas. Declaración y verificación de los valores de emisión vibratoria**.

En la **INTRODUCCIÓN** a la norma, se destaca el hecho de como los usuarios, diseñadores, constructores y autoridades tienen la necesidad de tener información sobre la emisión de vibraciones generadas por las máquinas, por ejemplo para cumplir con las obligaciones descritas en las Directivas Europeas 89/392/CEE y 91/368/CEE sobre máquinas. Esta información es necesaria para comparar las emisiones de vibraciones de diferentes productos y para evaluar las vibraciones frente a los requisitos de vibraciones.

Para que los valores de emisión de vibraciones sean útiles, son necesarios métodos uniformes que permitan conseguir los **OBJETIVOS** siguientes:

- La medida de los valores de vibración.
- La determinación del valor declarado de emisión de vibración.
- La presentación del valor declarado de emisión de vibración.
- La verificación del valor declarado de emisión de vibración.

En este sentido, esta norma establece los requisitos para la declaración y la verificación de los valores de emisión de vibraciones:

- Proporciona indicaciones sobre la declaración de los valores de emisión de vibración.
- Describe la información sobre las vibraciones y el producto a incluir en los documentos técnicos suministrados por el fabricante a los usuarios.
- Especifica el método para verificar los valores declarados de emisión de vibraciones, establecidos por el fabricante.

Los valores a utilizar para la declaración de emisión de vibraciones son valores eficaces (rms) de aceleración ponderada, medidos, preferentemente, según un código de ensayo de vibraciones. Los métodos estadísticos utilizados para la declaración y la verificación son equivalentes a los dados en acústica (Norma EN 27574).

La norma incorpora, a su vez, disposiciones de **OTRAS REGLAMENTACIONES**.

- **ENV 25349** - Vibraciones mecánicas. Directrices para la medida y evaluación de la exposición humana a las vibraciones transmitidas por la mano**.** (ISO 5349: 1986)

- **ENV 28041** - Respuesta humana a las vibraciones. Instrumentos de medida**.** (ISO 8041:1990 + corrigendum 1:1993)
- **ISO 2631-1** - Vibraciones y choques mecánicos. Evaluación de la exposición humana a las vibraciones de cuerpo completo. Parte 1: Requisitos generales.

Para los fines de la norma se aplican una serie de **DEFINICIONES** agrupadas en dos categorías: definiciones generales y definiciones ligadas a las vibraciones.

- Definiciones generales:

  Máquina: Conjunto de piezas u órganos unidos entre ellos, de los cuales uno por lo menos habrá de ser móvil y, en su caso, de órganos de accionamiento, circuitos de mando y de potencia, etc., asociados de forma solidaria para una aplicación determinada, en particular para la transformación, tratamiento, desplazamiento y acondicionamiento de un material. También se considerará como máquina a un conjunto de máquinas que, para llegar a un mismo resultado, están dispuestas y accionadas para funcionar solidariamente.

  Familia de máquinas: Máquinas de tipo o diseño similar, destinadas a cumplir las mismas funciones.

  Conjunto (lote) de máquinas: Grupo de máquinas de una misma familia destinadas a cumplir la misma función, producido en cantidad, fabricado según las mismas especificaciones técnicas y caracterizado por el mismo valor declarado de emisión de vibraciones. El lote puede ser, bien una producción en serie completa, o bien una de sus fracciones.

  Modo de funcionamiento: Condición bajo la cual la máquina cumple la función para la que ha sido concebida, pudiendo ser simulada artificialmente, como se especifica en una norma correspondiente.

  Código de ensayo de vibraciones: Norma relativa a una familia, subfamilia o tipo específico de máquinas. Proporciona toda la información necesaria para efectuar de una manera eficaz la determinación de las características de emisión de vibraciones, precisa para la declaración y la verificación según esta norma europea. Asegura la compatibilidad y permite la comparación de los resultados del ensayo.

- Definiciones ligadas a las vibraciones:

  Aceleración: Valor eficaz (rms) de la aceleración de la vibración.

  Aceleración ponderada mano-brazo, $a_{h,w}$: Aceleración en el punto de medida determinada por medidas utilizando un filtro de ponderación conforme a la Norma ENV 25349. Se expresa en m/s^2.

Aceleración ponderada de cuerpo completo, a_{wx}, a_{wy}, a_{wz} y a_w : Aceleración en el punto de medida determinada por medidas utilizando filtros de ponderación conformes a las Normas ENV 28041 e ISO 2631-1. Se expresa en m/s^2.

Valor medio de emisión de vibraciones, a: Valor que representa el valor medido de emisión de vibraciones de una sola máquina o el valor medio obtenido de una muestra razonablemente grande de un lote de máquinas**.** Se expresa en m/s^2. El valor medido de emisión de vibraciones no se redondea.

Incertidumbre, K: Valor que representa la incertidumbre de la medida del valor medido de emisión de vibraciones, **a,** y también, en el caso de lotes, las variaciones en la producción de las máquinas. Se expresa en m/s^2.

Valor declarado de emisión de vibraciones, a y K: Valor medido de emisión de vibraciones, **a**, y su incertidumbre asociada, **K**. La suma de **a** y **K** indica el límite por debajo del que se encuentra el valor de vibraciones de una sola máquina y/o una amplia proporción especificada de valores de vibraciones de un lote de máquinas, cuando éstas son nuevas.

Declaración de emisión de vibraciones: Información sobre la emisión de vibraciones generadas por una máquina, dada por el fabricante o el suministrador en los documentos técnicos o en cualquier otro documento, relativa a los valores de emisión de vibraciones. La declaración de emisión de vibraciones se presenta como un valor con dos números.

La **DECLARACIÓN DEL VALOR DE EMISIÓN DE VIBRACIONES**, **a** y **K,** de las máquinas es responsabilidad única del fabricante. Los valores declarados de emisión de vibraciones de una máquina debe determinarse según el modo de funcionamiento descrito en el código de ensayo de vibraciones correspondiente. En ausencia de código de ensayo de vibraciones**,** se deberá utilizar el modo de funcionamiento más representativo.

En el caso de que los datos requeridos para la determinación de **K** no estén disponibles en otras normas aplicables a la máquina en particular, puede utilizarse como directriz para estimar la incertidumbre **K** la tabla siguiente.

Valor medido, a		Incertidumbre, K
Vibraciones mano-brazo	Vibraciones cuerpo completo	
$2.5\ m/s^2 < a \leq 5\ m/s^2$	$0.5\ m/s^2 < a \leq 1\ m/s^2$	0.5 a
$a > 5\ m/s^2$	$a > 1\ m/s^2$	0.4 a

Las **DIRECTRICES PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DECLARATIVOS DE EMISIÓN DE VIBRACIONES** de máquinas permiten que los valores declarados puedan verificarse conforme a los procedimientos establecidos en la norma. En este sentido, los valores de emisión de vibraciones, **a**, se miden para cada modo de funcionamiento especificado en el código de ensayo de vibraciones para cada tipo de

máquina, o, si no existe tal código, el modo de funcionamiento seleccionado a partir del método básico, por ejemplo de las Normas EN 28662-1 ó EN 1033 para las vibraciones mano-brazo o de la Norma EN 1032 para las vibraciones de cuerpo completo.

El fabricante declara el valor de emisión de vibraciones, **a** y **K** de una sola máquina o el de una producción en serie de máquinas, basado en las medidas y en el conocimiento de la precisión con que pueden efectuarse las medidas. Para una producción en serie de máquinas, el fabricante debería tener en cuenta la desviación típica de producción.

- **Determinación del valor declarado de emisión de vibraciones para una sola máquina:**

  Se determina el valor declarado de emisión de vibraciones, **a** y **K**, para una máquina a partir del valor medido de emisión de vibraciones, **a**, y con la relación siguiente:

  - **a** es el valor medido de emisión de vibraciones para la máquina
  - $K = 1.65\sigma_R$

    donde $\boldsymbol{\sigma_R}$ es la desviación típica de reproducibilidad como se especifica en el código de ensayo de vibraciones. Si no hay código de ensayo de vibraciones o si el código de ensayo de vibraciones no especifica $\boldsymbol{\sigma_R}$, entonces se utiliza como estimación:

    $$\sigma_R = \sqrt{\sigma_{op}^2 + \sigma_{rec}^2}$$

    donde σ_{rec} y σ_{op} son las desviaciones típicas de los valores registrados a partir del mismo operador y de los diferentes operadores, respectivamente.

- **Determinación del valor declarado de emisión de vibraciones para un lote de máquinas:**

  Se determina el valor declarado de emisión de vibraciones, **a** y **K** para el lote de máquinas, donde **a** es la estimación del valor medio y **K** es igual a 1,5 veces la desviación típica total:

  $$K = 1.5\sigma_t$$

  Este valor de **K** se basa en la Norma EN 27574-4 y resulta de aceptar un riesgo de rechazo del 5% para una muestra de tres máquinas.

  La desviación típica total se compone de la desviación típica de reproducibilidad ($\boldsymbol{\sigma_R}$) y de la desviación típica de producción ($\boldsymbol{\sigma_p}$). La primera viene dada por el código de ensayo de vibraciones correspondiente. La determinación de la desviación típica de producción debe efectuarse por el fabricante, en función de su experiencia de la variación de producción, o bien puede estimarse, cuando se dispone de una muestra razonablemente grande de tres o más máquinas:

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(a_i - \bar{a})^2}$$

donde "a_i" es el valor medido de emisión de vibraciones de cada máquina en la muestra y "$\bar{a}$" es el valor medio de la muestra.

A partir de aquí, se calcula la desviación típica total, σ_t:

$$\sigma_t = \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_p^2}$$

A partir de aquí, y de acuerdo con lo establecido en esta norma europea, la **PRESENTACIÓN DE LOS VALORES DECLARADOS DE EMISIÓN DE VIBRACIONES** de máquinas que deben darse en los documentos técnicos contiene la información siguiente:

- La identificación del producto con suficiente detalle como para determinar la aplicabilidad de los valores declarados de emisión de vibraciones.
- Las palabras "Valor declarado de emisión de vibraciones en conformidad a la Norma EN 12096" seguido del valor de emisión de vibraciones **a**, y de la incertidumbre, **K**, ambos expresados en m/s^2, para el modo de funcionamiento descrito en el código de ensayo de vibraciones correspondiente.

La magnitud del valor medido de emisión de vibraciones, **a**, se expresa en m/s^2 y se presenta con dos cifras y media significativas para los números que comienzan por 1 (por ejemplo 1,20 m/s^2, 1,45 m/s^2); para los otros, es suficiente con dos cifras significativas (por ejemplo 0,9 m/s^2, 8,9 m/s^2).

La magnitud de la incertidumbre, **K**, debe representar el mismo numero de decimales que **a**. Se recogen a continuación dos ejemplos de cómo llevar a cabo la declaración de emisión de vibraciones:

- Declaración cuando existe un código de ensayo de vibraciones específico (por ejemplo para los martillos buriladores)

Número del modelo de la máquina, condiciones de funcionamiento y otra información que identifique
Tipo 990, Modelo 12-UH, 0.6 MPa
Valor declarado de emisión de vibraciones conforme a la Norma EN 12096
Valor medido de emisión de vibraciones **a** 8.0 m/s^2 Incertidumbre **K** 2.3 m/s^2
Valores determinados conforme a la Norma EN 28662-2

- Declaración cuando no existe un código de ensayo de vibraciones específico.

Nº del modelo de la máquina, condiciones de funcionamiento y otra información que identifique
Tipo 991, Modelo 14-UF, 0.6 MPa
Valor declarado de emisión de vibraciones conforme a la Norma EN 12096
Valor medido de emisión de vibraciones **a** 3.4 m/s^2 Incertidumbre **K** 1.7 m/s^2
Especificación del modo de funcionamiento utilizado:
(Por ejemplo: valores determinados cuando la máquina ha sido utilizada para eliminar restos de la soldadura con la ayuda de un útil insertado Z normalizado).

Por otro lado, la **VERIFICACIÓN DE LOS VALORES DECLARADOS DE EMISIÓN DE VIBRACIONES** puede requerirse por dos razones diferentes:

- Verificar el valor declarado de una máquina particular.
- Verificar el valor declarado de un lote o producción en serie de máquinas.

La verificación debe efectuarse por medio de las medidas de las vibraciones según el mismo código de ensayo de vibraciones o por el método básico de medida, y bajo el mismo modo de funcionamiento de la máquina al que se refieren los valores declarados de emisión de vibraciones. Los procedimientos descritos a continuación deben utilizarse para una verificación en condiciones de reproducibilidad (cuando las medidas pueden repetirse con resultados similares en el laboratorio de control y cuando no hay desviaciones sistemáticas entre el laboratorio de ensayo y los laboratorios que ensayan el mismo objeto). Cuando la declaración contiene un solo valor, pueden utilizarse las directrices descritas anteriormente para estimar la incertidumbre, K.

- **Verificación para una sola máquina:**

  Si se evalúa una sola máquina, el valor declarado de emisión de vibraciones se verifica cuando el valor resultante de emisión de vibraciones resultante es $\leq$ al declarado por el fabricante **+K** (este procedimiento es conforme con el que se describe en la Norma EN 27574-2 para ruido).

- **Verificación para un lote de máquinas:**

  Este procedimiento debe utilizarse para verificar el valor declarado de emisión de vibraciones para un lote (o una producción en serie) de máquinas cuando está disponible más de una máquina del lote. En concreto, es necesario un tamaño de muestra de hasta tres máquinas (el procedimiento es conforme con el que se describe en la Norma EN 27574-4 para ruido).

  Se determinan los valores **A, B** y **C** del valor declarado a partir de **a** y **K,** según:

$$A = a + 0.20K \qquad B = a + 1.13K \qquad C = a + 0.65K$$

Se mide una máquina elegida aleatoriamente en el lote. El valor resultante de las vibraciones $\mathbf{a_1}$, se compara con los valores **A** y **B**.

- si $\mathbf{a_1} \leq \mathbf{A}$, el valor declarado se verifica para el lote,
- si $\mathbf{a_1} > \mathbf{B}$, el valor declarado no se verifica para el lote; el lote se rechaza,
- si $\mathbf{A} < \mathbf{a_1} \leq \mathbf{B}$, se miden dos máquinas más, elegidas aleatoriamente del lote.

El valor medio de los tres valores resultantes de vibraciones, $\mathbf{a}_3$, se compara con C:

- si $\mathbf{a}_3 \leq \mathbf{C}$, el valor declarado se verifica para el lote,
- si $\mathbf{a_3} > \mathbf{C}$, el valor declarado no se verifica para el lote, el lote se rechaza.

Sin embargo, las máquinas individuales de este lote, sobre las que se han hecho las medidas, se verifican como para una sola máquina cuando cumplen los requisitos del apartado anterior (verificación para una sola máquina).

NOTA - Las constantes utilizadas para la determinación de ***A, B*** y ***C*** se obtienen a partir del procedimiento de verificación del valor declarado según se describe en los métodos estadísticos para la verificación de niveles de potencia acústica utilizando el método del muestreo doble dado en la norma EN 275764-4.

Posteriormente, la norma UNE-EN 12096 incluye una serie de **ANEXOS** de carácter informativo dedicados a recoger específicamente: definiciones de términos estadísticos, directrices para la declaración de los valores de emisión de vibraciones (ya resumidas anteriormente), ejemplos de declaraciones de emisiones de vibraciones (ídem), directrices para la verificación cuando el valor de emisión de las vibraciones se declara sin la incertidumbre, K (ídem) y **BIBLIOGRAFÍA**:

- **EN 1032** - Vibraciones mecánicas. Ensayo de maquinaria móvil a fin de determinar los valores de emisión de vibraciones de cuerpo completo. Generalidades.
- **EN 1033** - Vibraciones mano-brazo. Medida en laboratorio de las vibraciones en la superficie de las empuñaduras de las máquinas guiadas manualmente. Generalidades.
- **EN 27574-2** - Acústica. Métodos estadísticos para la determinación y la verificación de los valores de emisión acústica establecidos para maquinaria y equipos. Parte 2: Métodos para valores establecidos para máquinas individuales. (**ISO 7574-2:1985**)
- **EN 27574-4** - Acústica. Métodos estadísticos para la determinación y la verificación de los valores de emisión acústica establecidos para las máquinas y equipos. Parte 4: Métodos para valores establecidos para lotes de máquinas. (**ISO 7574-4: 1985**)
- **EN 28662-1** - Herramientas mecánicas portátiles de mano. Medida de las vibraciones en la empuñadura. Parte 1: Generalidades. (**ISO 8662-1:1988**)

- **EN 28662-2** - Herramientas a motor portátiles. Medida de las vibraciones en la empuñadura. Parte 2: Martillos buriladores y remachadores. (**ISO 8662-2: 1992**)

La norma concluye con un **ANEXO NACIONAL** en el que se informa de como las normas europeas EN citadas al hablar de "Otras reglamentaciones" y en el anexo de "Bibliografía", están admitidas como UNE en las fechas que se indican en la tabla siguiente:

Norma EN	Título	Norma UNE
ENV 25349:1992	Vibraciones mecánicas. Directrices para la medida y evaluación de la exposición humana a las vibraciones transmitidas por la mano.	**UNE-ENV 25349:1996**
ENV 28041:1993	Respuesta humana a las vibraciones. Instrumentos de medida.	**UNE-ENV 28041:1994**
EN 1033:1995	Vibraciones mano-brazo. Medida en laboratorio de las vibraciones en la superficie de las empuñaduras de las máquinas guiadas manualmente. Generalidades.	**UNE-EN 1033:1996**
EN 27574-2:1988	Acústica. Métodos estadísticos para la determinación y la verificación de los valores de emisión acústica establecidos para maquinaria y equipos. Parte 2: Métodos establecidos para máquinas individuales.	**UNE 74105-2:1991**
EN 27574-4:1988	Acústica. Métodos estadísticos para la determinación y la verificación de los valores de emisión acústica establecidos para las máquinas y equipos. Parte 4_ métodos para valores establecidos para lotes de máquinas.	**UNE 74105-4:1992**
EN 28662-1:1992	Herramientas mecánicas portátiles de mano. Medida de las vibraciones en la empuñadura. Parte 1: generalidades.	**UNE-EN 28662-1:1994**
EN 28662-2:1994	Herramientas a motor portátiles. Medida de las vibraciones en la empuñadura. Parte 2: martillos buriladores y martillos remachadores.	**UNE-EN 28662-2:1996**

UNE–EN 1299

Los descriptores que encabezan esta norma son: Vibración, choque mecánico, aislamiento, aislador de vibraciones, máquina, información, dato, especificación, categoría de calidad, relación cliente-proveedor. Constituye la versión española de la Norma Europea aprobada por el CEN el 29-12-1996 y lleva por título: **Vibraciones y choques mecánicos. Aislamiento de las vibraciones de las máquinas. Información para la aplicación del aislamiento en la fuente**.

Recuerda la **INTRODUCCIÓN** de la norma que el aislamiento de las vibraciones es una medida que permite bien reducir significativamente cualquier transmisión de fuerzas periódicas, aleatorias o de choques entre una máquina y las estructuras de su alrededor, o bien proteger a las personas y máquinas, instrumentos, edificios sensibles de las

vibraciones transmitidas por sus alrededores. En ambos casos, el uso de aisladores crea un sistema masa-muelle cuya respuesta dinámica está influenciada por las características de la fuente de vibraciones, las características dinámicas de la máquina, la estructura en la que está montada y las características de los elementos elásticos y de amortiguamiento.

Con objeto de responder a los requisitos de protección contra vibraciones, la optimización del sistema requiere un conocimiento detallado de todos los factores que influyen en el diseño y en la aplicación eficaz del aislamiento de las vibraciones para una máquina o instalación determinada. Dentro de este contexto, es de primordial importancia el intercambio de información entre el fabricante de la máquina, el suministrador del aislamiento y el usuario.

El **OBJETIVO** de esta norma es proporcionar directrices para asegurar que los fabricantes de las máquinas ofrecen una adecuada información sobre la aplicación del aislamiento vibratorio, con el fin de reducir los riesgos derivados de las vibraciones generadas por sus máquinas. Estas directrices igualmente aseguran que los usuarios proporcionan a los fabricantes de máquinas o, cuando sea necesario, a los suministradores del sistema de aislamiento una información suficiente sobre sus aplicaciones para seleccionar y diseñar de forma óptima el aislamiento vibratorio.

En cuanto a su **CAMPO DE APLICACIÓN**, la norma sólo se refiere al aislamiento de la fuente y, aunque se aplica principalmente a máquinas nuevas, puede también aplicarse a la instalación de máquinas usadas estando dirigida a los fabricantes e instaladores de una máquina como una guía para definir los parámetros necesarios en la selección e instalación del sistema de aislamiento vibratorio a utilizar con la máquina. Puede también ser aplicada por usuarios de máquinas ya instaladas que usen o deseen usar un sistema de aislamiento para solucionar un problema de vibraciones causado por la máquina.

En cualquier caso, no debe considerarse esta norma como un manual para el diseño o instalación de un sistema de aislamiento.

La norma incorpora también disposiciones de **OTRAS REGLAMENTACIONES**:

- **ISO 2041:1990** - Vibraciones y choques. Vocabulario**.**
- **ISO 7626-1 :1986** - Vibraciones y choques. Determinación experimental de la movilidad mecánica. Parte I.- Definiciones básicas y transductores**.**

El **OBJETIVO DEL AISLAMIENTO DE LA FUENTE** es proteger la estructura de alrededor de las vibraciones, actuando sobre la instalación de la misma fuente. Un sistema de aislamiento de la fuente puede ser necesario:

- Para la seguridad de los operarios de las máquinas vibrantes.
- Para la seguridad de las personas próximas a las máquinas vibrantes.

- Para la seguridad de las estructuras o edificios donde están los equipos vibrantes.
- Para la seguridad de las personas que se encuentran en los edificios susceptibles de estar sometidos a una intensa excitación vibratoria.
- Cuando se sobrepasan los valores límites de las vibraciones legislados.

Además de las medidas de diseño que permiten reducir los efectos de las vibraciones, debe utilizarse un sistema de aislamiento de la fuente. No obstante, en cuanto a la **APLICABILIDAD DEL AISLAMIENTO DE LAS VIBRACIONES**, ha de tenerse siempre en cuenta que este sistema no debe sustituir a tales medidas. Puede aplicarse:

- Cuando se diseñan o instalan las máquinas vibrantes.
- Cuando se diseñan o modifican los edificios donde están las máquinas vibrantes.

Es necesario realizar un análisis previo del fenómeno vibratorio y de las vibraciones de fondo del entorno. Es importante registrar la variación de las vibraciones en función del tiempo y analizar las frecuencias características durante un tiempo suficiente del ciclo de trabajo de la máquina. El análisis de la respuesta en frecuencia de las estructuras que transmiten y reciben las vibraciones facilitará la elección óptima de las estructuras y evitará la coincidencia entre las frecuencias dominantes de la fuente y las frecuencias propias de estas estructuras.

Deben determinarse las vibraciones de fondo del entorno con el fin de conocer el nivel de vibración intrínseco por debajo del cual normalmente no es necesario ningún aislamiento. Las medidas deben hacerse en condiciones ambientales representativas de la localización de la máquina. Las medidas y el análisis deben ayudar a comprender el origen del problema y a proporcionar, en la medida de lo posible, indicaciones sobre las posibles soluciones. Las medidas se deberían realizar conforme a una norma adecuada, y ésta debería ser identificada.

Con el fin de seleccionar aisladores adecuados e instalar correctamente el aislamiento de la fuente, es necesario un intercambio de información entre el fabricante de la máquina, el suministrador del aislador y el usuario de la máquina. En este sentido, la norma recoge en uno de sus capítulos la **INFORMACIÓN NECESARIA PARA LA SELECCIÓN ÓPTIMA DEL SISTEMA DE AISLAMIENTO PARA UNA MÁQUINA**. Si el fabricante de la máquina resulta ser también el suministrador del sistema de aislamiento, puede que no toda la información contenida en dicho capítulo sea aplicable; sin embargo, alguna de esta información puede seguir siendo útil cuando se reemplacen algunos de los elementos de la máquina y deberían formar parte del manual de instrucciones.

En este sentido, la selección del sistema de aislamiento deberá considerar no sólo las características estáticas de la máquina sino también sus características dinámicas y las características dinámicas de la estructura de su alrededor (y de otras fuentes).

Información que debe suministrar el fabricante de la máquina

El fabricante debe proporcionar al usuario el máximo de la siguiente información para garantizar una correcta instalación; recurriendo, si es necesario, al suministrador de aislamiento vibratorio. Habrá de proporcionarse información relativa a la máquina y al aislamiento. Por lo que se refiere a los **DATOS FÍSICOS DE LA MÁQUINA** han incluirse:

- **Un plano de la máquina** que incluya:
  - La configuración y la instalación de la máquina y, si es conveniente, la fundación intermedia indicada por el fabricante de la misma.
  - Las dimensiones globales.
  - El peso total, la localización del centro de gravedad y la inercia rotacional.
  - Especificaciones relativas al tamaño de los pernos de anclaje y a las conexiones especiales que sirvan para fijar la máquina. Debe indicarse en el plano, las localizaciones de las fijaciones, taladros roscados, tolerancias y cualquier consideración particular del material.
  - La identificación y dirección de los tres ejes ortogonales con origen en el centro de gravedad de la máquina a aislar, colocada según la orientación elegida.
  - La orientación normal de la máquina con respecto a la vertical. Debe indicarse la dirección de los choques y vibraciones principales y los posibles puntos de montaje de la estructura. Estos puntos frecuentemente determinan el sistema de aislamiento en relación con la orientación, centro de gravedad, etc.
- **Excitación de la vibración**. Para asegurar una instalación y utilización segura de la máquina, debe describirse la excitación en vibración que genera, caracterizada por la fuerza y pares de excitación en función de la frecuencia o del tiempo:
  - Fuerzas y pares inherentes en función de la frecuencia de rotación.
  - Fuerzas y pares residuales en función de la frecuencia de rotación después del equilibrado.
  - Fuerzas y pares originados por las masas alternativas.
  - Acoplamientos del par de reacción.
  - Amplitudes y/o frecuencias del fenómeno de variaciones de presión del gas.
  - Frecuencias de los fenómenos aerodinámicos (por ejemplo en ventiladores).
  - Fuerzas y frecuencias electromagnéticas asociadas con las máquinas rotativas eléctricas o los transformadores.

- **Especificaciones particulares**. Las características particulares de los equipos deben figurar en la descripción de la máquina y en los planos. Entre tales especificaciones particulares están:
  - Las conexiones eléctricas, conductos, canalizaciones o tuberías que puedan modificar la respuesta mecánica del sistema de montaje (tipo, tamaño, rigidez...).
  - Las fuerzas y los momentos aplicados externamente.
  - Las zonas de acceso requeridas.
  - La tolerancia mínima necesaria para la circulación del aire de refrigeración. Debe indicarse en el plano cualquier gradiente de temperatura que podría afectar al funcionamiento del aislador y debe darse el rango de temperatura esperado.
  - Cuando sea necesario, la tolerancia máxima entre el equipo y la fundación.
- **Características eléctricas**. Deben figurar en el plano, en forma de nota, las disposiciones previstas para la puesta a tierra y sus especificaciones aplicables.
- **Especificaciones particulares para la estabilidad mecánica.** Deben darse las especificaciones particulares para la estabilidad mecánica. Por ejemplo, es necesario prestar especial atención a los equipos que posean un centro de gravedad elevado o variable y que estén soportados por aisladores colocados debajo del centro de gravedad o que estén sometidos a empujes laterales no compensados.

Por otro lado, será preciso también incluir la información correspondiente a los **DATOS FÍSICOS DEL SISTEMA DE AISLAMIENTO**, donde cabe diferenciar:

- **Datos de carácter general.** El suministrador del sistema de aislamiento debe proporcionar información detallada de las características del mismo: el tipo de sistema, sus materiales, su peso, sus características de nivelación, la rigidez estática de los aisladores, el peso máximo y mínimo (Newtons) en las condiciones de funcionamiento de la máquina, las dimensiones y localización del aislamiento (por ejemplo un dibujo) y el envejecimiento de los aisladores debido a la carga y al tiempo.
- **Comportamiento dinámico.** El suministrador debe describir el comportamiento dinámico longitudinal y rotacional del sistema de aislamiento, en términos de rigidez dinámica. Deben describirse las condiciones ambientales y el valor de la carga bajo las cuales fueron obtenidos los datos de deformación bajo carga y deben darse las tolerancias. Sin embargo, cuando sea necesario, como alternativa, el suministrador puede describir el comportamiento dinámico mediante las características de

transmisibilidad medidas bajo una configuración de ensayo descrita de forma detallada.

El comportamiento dinámico puede relacionarse con las variaciones de los siguientes parámetros de entrada: frecuencia de resonancia en función de la carga, amplitud, temperatura y amortiguamiento.

En cualquier caso, el suministrador debe describir la eficacia del aislamiento en las tres direcciones principales, indicando las frecuencias aplicables.

- **Durabilidad.** El suministrador debe dar información sobre la durabilidad o mejor sobre el cambio de características físicas como:
  - El límite de duración asociado con las deformaciones y choques repetidos.
  - Cuando sea necesario, los datos de elongación (deformación permanente) y cómo se han obtenido.
  - Los efectos del paso del tiempo debido a un almacenamiento en determinados ambientes, teniendo en cuenta las temperaturas máxima y mínima.
- **Condiciones ambientales**. El suministrador debe proporcionar la siguiente información de los aisladores con el fin de asegurar una utilización correcta:
  - Los límites de temperatura superior e inferior a partir de los cuales el aislador sometido a cargas nominales no ejercerá adecuadamente su función ó sufrirá modificaciones permanentes de sus características.
  - La capacidad del aislador para resistir la corrosión o el deterioro causado por factores como humedad, agua, niebla salina, hongos, ozono, aceites, combustibles, vapores corrosivos, sol, etc.
  - La capacidad para funcionar en condiciones adversas, por ejemplo en una atmósfera cargada de arena o polvo.
  - El ambiente de almacenamiento aceptable.
- **Datos de mantenimiento.** El suministrador debe dar detalles sobre los requisitos de mantenimiento, inspección periódica y servicio.

Información que debe solicitar el fabricante de la máquina al usuario

- **Información técnica sobre la estructura periférica a la máquina.** Debe hacerse una breve descripción para que haya una buena comprensión de las características técnicas de las ubicaciones propuestas. Esta información debería incluir:
  - El tipo de estructura sobre la que debe montarse la máquina (barco, edificio de estructura metálica, edificio de estructura de hormigón, central eléctrica, etc.)

- La localización en la estructura (sala de máquinas, cubierta principal, techo, etc.).
- Los datos de la estructura soporte (naturaleza del suelo, carga permisible de suelo, nivel de la capa freática, frecuencias naturales y movilidad de la estructura soporte, etc.).
- La eficacia del aislamiento o los criterios de aceptación del usuario (el vecindario, por ejemplo un área residencial o áreas industriales, el tipo de máquinas vecinas, por ejemplo máquinas de ensayo, punzonadoras, etc.)

- **Situación de las vibraciones y choques de la estructura periférica**. Antes de instalar la máquina debe describirse la situación de las vibraciones y choques de la estructura periférica en los tres ejes del espacio en base a la amplitud de vibración (desplazamiento, velocidad o aceleración), las frecuencias correspondientes y la duración durante la cual se produjeron. Es necesario el registro en función del tiempo, el análisis espectral y otros parámetros descriptivos.
- **Ambiente climático**. Cuando sea necesario, el usuario debe suministrar la siguiente información sobre el ambiente climático: los límites de temperatura superior e inferior, la humedad, la presencia de agua, arena o polvo, niebla salina, ozono, aceites, disolventes, radiación, etc.

Para terminar, la norma establece una serie de **DIRECTRICES PARA LA VALIDACIÓN DE LA EFICACIA DEL AISLAMIENTO**. Normalmente, el suministrador de máquinas aisladas o de sistemas de aislamiento debe probar la eficacia del aislamiento vibratorio en la estructura de alrededor de la máquina. Esta eficacia debe evaluarse de acuerdo a un método experimental y contractual. Cuando se trata de máquinas fabricadas en serie, tal evaluación debe realizarse bajo condiciones de instalación normalizadas. En este caso, el fabricante debe proporcionar información sobre las condiciones de instalación usadas para la evaluación. Si es posible:

- Debe efectuarse la medida y evaluación de las vibraciones antes de la instalación, como se indicaba anteriormente. Debe hacerse en las posiciones contractuales y en las condiciones ambientales previstas para la futura máquina.
- Debe informarse de las posiciones y de los resultados de la medida.
- Deben comunicarse los valores aceptables al suministrador de la máquina (o al suministrador de la máquina-aislador).
- Deben ser contractuales los valores límites aceptados por el suministrador.
- Después de la instalación, deben efectuarse las medidas en las condiciones y posiciones contractuales de acuerdo al método de medida especificado y al tratamiento y análisis de los resultados definidos.

- Deben compararse los valores medidos con los valores límites contractuales.

En el caso de tratarse de una corrección de una situación ya existente, las medidas se llevan a cabo en las mismas condiciones señaladas arriba para las posiciones determinadas. Estas posiciones deberían ser las correspondientes a los individuos que se encuentran molestos (posición del operador o del trabajador, piso de las oficinas, inmuebles vecinos, etc.). También, como en el caso anterior, deberían definirse contractualmente los valores limites aceptables entre el usuario y el suministrador. Por último, después de realizada la corrección**,** deberían realizarse las medidas como se describe arriba y comparar los nuevos resultados con los valores contractuales.

Posteriormente, la norma UNE-EN 1299 incluye dos **ANEXOS** de carácter informativo dedicados a recoger **ELEMENTOS PARA EL AISLAMIENTO DE LAS VIBRACIONES** y **BIBLIOGRAFÍA**.

Dentro del Anexo relativo a los **ELEMENTOS PARA EL AISLAMIENTO DE LAS VIBRACIONES**, se hace referencia a las características y uso de diferentes tipos de muelles y amortiguadores. Se parte de una serie de consideraciones de carácter genérico en las que se recuerda que los muelles se utilizan como soportes elásticos aislantes de las vibraciones y los choques de las máquinas; es decir, son elementos de construcción que se deforman, predominantemente, de forma elástica. Del mismo modo se señala como los muelles perfectos, en sentido estricto, en la práctica no pueden construirse ya que cada muelle presenta una cierta cantidad de masa y de amortiguamiento. Así, mientras que para el cálculo de las vibraciones en el rango de frecuencias de interés según esta norma puede despreciarse la masa del muelle, el amortiguamiento depende en gran parte del material del mismo.

Con tal motivo, se lleva a cabo una breve descripción de las características, campo de aplicación y comportamiento de:

- **Muelles elastoméricos**:

  Por su deformabilidad elástica y su pequeño módulo de Young, los elastómeros son materiales apropiados para muelles. Comparados con los muelles metálicos, presentan un mayor amortiguamiento.

  Las características como la rigidez y el amortiguamiento dependen de la selección del material básico y de los componentes de la mezcla de materiales, así como de la forma del muelle. También, están afectadas por condiciones ambientales como la temperatura. El envejecimiento a largo plazo depende en gran parte de la composición del material. El material tiene propiedades viscoelásticas.

  En los muelles elastoméricos normalmente son distintas la rigidez estática y la rigidez dinámica, siendo mayor la dinámica que la estática. Sólo deberían calcularse las frecuencias naturales del sistema aislado a partir de la rigidez dinámica. Cuando

se utilizan los muelles elastoméricos, pueden obtenerse frecuencias naturales verticales de 6 Hz a 20 Hz.

En general, la curva de deformación bajo carga de los muelles no es lineal, pero en la práctica puede linealizarse para la carga de servicio.

Los siguientes factores juegan un papel importante en la capacidad de carga y en la durabilidad de los muelles elastoméricos: el material y la mezcla de materiales, el diseño del muelle, la carga estática, la carga dinámica, la amplitud de las vibraciones y la frecuencia del sistema vibrante.

Gracias a su diseño flexible, su fijación a piezas metálicas y a las numerosas combinaciones de posibles materiales, pueden adaptarse estos muelles a un amplio rango de aplicaciones. También pueden utilizarse los muelles elastoméricos como elementos separados, en múltiples placas o mallas.

El diseño preciso de los muelles elastoméricos se determina mediante el tipo de carga (fuerzas de compresión, fuerzas de cortadura, momentos de torsión, momentos de flexión, o combinación de estos factores). Para cargas de compresión grandes y distribuidas, se utilizan habitualmente los muelles elastoméricos en forma de placas o mallas. Normalmente, para estas aplicaciones, las frecuencias naturales verticales son superiores a 12 Hz.

- **Muelles metálicos**:

  Los muelles metálicos no son sensibles a las grandes diferencias de temperatura y son resistentes a la mayoría de las sustancias orgánicas.

  Para el aislamiento de las vibraciones de las máquinas, se utilizan preferentemente los muelles metálicos hechos de aceros de muelles y se presentan en forma de hilos, placas y varillas especialmente previstas para éste propósito. En los muelles de acero no hay diferencia entre la rigidez estática y dinámica. Según el tipo y diseño del muelle, la curva de deformación bajo carga puede ser lineal, ascendente o descendente. Cuando se utilizan muelles metálicos, pueden obtenerse frecuencias naturales verticales de 1.5 a 8 Hz. Los muelles de acero son capaces de almacenar grandes energías de deformación con importantes amplitudes de flexión. Sus características elásticas no varían con el tiempo.

  El muelle helicoidal de compresión es el muelle metálico generalmente utilizado para el aislamiento vibratorio de las máquinas. Debido a sus características de deformación en gran parte lineales (curva de deformación bajo carga) y a la amplia selección de niveles de rigidez disponibles, para todos los ejes, éste tipo de muelle es particularmente útil para su uso en las fijaciones elásticas de la mayoría de las máquinas. Si se elige las dimensiones del muelle, es posible hacer variar, en un

amplio rango, el coeficiente de elasticidad transversal u horizontal de un muelle helicoidal de compresión respecto al coeficiente de elasticidad vertical.

- **Muelles neumáticos**:

  Un muelle neumático está en principio constituido de un volumen lleno de gas con paredes elásticas. Cuando la carga varía, el muelle se deforma al nivel de las paredes elásticas, lo que provoca un cambio de volumen y, por tanto, un cambio de presión. Esto se aplica tanto a los pistones de los cilindros como a los diferentes sistemas de fuelles propuestos por los fabricantes. Las características de deformación de los muelles neumáticos dependen del equilibrio entre la carga externa y la diferencia de presión entre la presión interna y externa (por ejemplo la atmósfera) multiplicado por la superficie útil.

- **Amortiguadores**:

  Los amortiguadores se utilizan para limitar los movimientos de los sistemas soportados elásticamente cuando están sometidos a resonancias, en el caso de excitaciones periódicas, de choques o de excitaciones aleatorias. Se montan en paralelo con los muelles y transforman la energía mecánica en calor.

  Se dividen en amortiguadores que utilizan el amortiguamiento entre los cuerpos rígidos (amortiguadores por fricción) y amortiguadores que utilizan el intercambio energético en medio líquido (amortiguadores líquidos) o gaseoso. Las características de fuerza-velocidad pueden hacerse independientes de la velocidad, ascendentes, lineales o descendentes. Cuando se utilizan amortiguadores por fricción, debe prestarse atención al riesgo de problemas de ruido transmitido por la estructura.

  Los amortiguadores de líquido viscoso son los principales tipos de amortiguadores utilizados en combinación con los muelles para el aislamiento de las vibraciones de las máquinas. Los amortiguadores viscosos son particularmente adecuados para grandes amplitudes de vibración de bajas a medias frecuencias. Se componen de una envoltura, un medio amortiguador y un pistón. El pistón inmerso en el medio amortiguador puede moverse en todas las direcciones (vertical y horizontal) hasta un límite impuesto por la envoltura del amortiguador. Por tanto, el amortiguador es capaz de reducir las vibraciones en los seis grados de libertad.

- **Combinación de muelles y amortiguadores**:

  Es necesario que el amortiguamiento juegue un papel importante en el sistema de aislamiento vibratorio, bien en forma de material de amortiguamiento o bien como amortiguadores integrados:

- En todos los casos donde es necesario evitar un aumento de la amplitud de la vibración cuando se pasa por las frecuencias de resonancia.
- Para la mayoría de las máquinas rotativas cuyas condiciones de funcionamiento son susceptibles de generar fuerzas de desequilibrado.
- Para el amortiguamiento de momentos de torsión transitorios inducidos por cortocircuito en las máquinas eléctricas.
- Para la estabilización de máquinas y de sistemas que, por razones técnicas o económicas, tienen que montarse de forma resiliente sobre cimentaciones de masa inadecuada.
- Para asegurar una disminución rápida de las vibraciones inducidas por choques.

▪ **Aisladores activos de vibración**:

Esta norma trata sólo sistemas pasivos de aislamiento vibratorio (muelles y amortiguadores). En casos especiales, puede ser posible reducir la vibración mediante absorbedores dinámicos o amortiguadores activos de masas sintonizadas.

En cuanto al **ANEXO** de **BIBLIOGRAFÍA**, dos son las referencias:

▪ **prEN 1032** - Vibraciones mecánicas. Ensayo de maquinaría móvil con el objeto de determinar la intensidad vibratoria transmitida al conjunto del cuerpo. Generalidades.

▪ **ISO 2017:1982** - Vibraciones y choques. Aisladores. Disposiciones para la especificación de las características.

UNE–CR 1030-1

Constituye la versión española del Informe CR 1030-1 preparado por el CEN/TC 231 "Vibraciones y choques mecánicos", Grupo de Trabajo 2 "Vibraciones mano-brazo" y aprobado el 05-04-1995 y que lleva por título: **Vibraciones mano-brazo. Directrices para la reducción de los riesgos por vibraciones. Parte 1: Métodos de ingeniería para el diseño de máquinas**.

En la **INTRODUCCIÓN** a la norma, se comienza recordando el hecho de como el uso habitual y prolongado de las máquinas que transmiten vibraciones a la mano puede causar trastornos de los miembros superiores. Los efectos de la vibración dependen de:

▪ Su frecuencia, dirección, intensidad, magnitud y del tiempo de exposición y acoplamiento del sistema mano-brazo a la máquina.

- La posición mano-brazo causada por el diseño de la empuñadura y de la tarea de trabajo.
- Las fuerzas ejercidas por el operador, tales como las fuerzas de agarre, empuje y sujeción, y por las habilidades y experiencia práctica del operador.
- La exposición al frío, que puede influir sobre los síntomas vasculares causados por la vibración transmitida a la mano.

La limitación de la vibración en el diseño es una de las medidas que la norma EN 292-2 sugiere que deberían considerar los diseñadores y fabricantes de máquinas como parte de una estrategia para conseguir la seguridad en el diseño de máquinas de conformidad con la legislación europea. Dicha reducción de la vibración en el diseño de las máquinas puede contribuir de una manera importante a la protección efectiva de las personas en el trabajo contra los efectos adversos de la vibración. Sin embargo, en situaciones prácticas, puede ser necesaria una combinación de medidas de ingeniería, de gestión, de protección individual e higiénicas (leyes, directivas, etc.).

Las directrices recogidas en esta norma sólo tratan los métodos de ingeniería y están dirigidas, en particular, a los diseñadores y fabricantes de máquinas que transmiten vibraciones a las manos dejando a otros la tarea de definir las directrices especificas sobre gestión, protección individual o higiénicas (véase CR 1030-2 en el subapartado siguiente).

Por lo que a las medidas a tomar en ingeniería de cara a reducir la vibración en el propio diseño de las máquinas, cabe señalar que el origen de la vibración en las mismas puede encontrarse en:

- Las fuerzas de naturaleza variable generadas por la forma intermitente, impulsiva o cíclica en que son diseñadas las máquinas para trabajar, así como por desequilibrios y/o por impactos en engranajes, rodamientos y otros mecanismos.
- La falta de equilibrio en una herramienta incorporada: el desequilibrio de la muela es un factor que determina los valores de vibración de una amoladora portátil.
- La interacción entre el operador, máquina y material a trabajar: los choques o impulsos de un cincel neumático, cuando golpea la superficie que está siendo cincelada se transmiten al cuerpo de la herramienta.
- La interacción entre la pieza y la máquina. En el caso de máquinas, como amoladoras de columna o pulidoras, en las que la pieza de trabajo se sujeta o guía manualmente durante el trabajo, dicha interacción es susceptible de llegar a ser la principal fuente de vibración. La transmisión a través de la pieza es el principal camino por el que la vibración llega a las manos del operador.

Los parámetros anteriores deberían tenerse en cuenta por los diseñadores, fabricantes y suministradores de equipos de trabajo, quienes están obligados a asegurar que sus

diseños y productos satisfacen los requisitos de seguridad**;** en particular, para diseñar maquinaria de modo que los riesgos derivados de las vibraciones producidas por las máquinas se reduzcan al nivel más bajo posible, teniendo en cuenta el progreso técnico y la disponibilidad de medios para reducir las vibraciones, en particular en la fuente.

Para reducir la transmisión de la vibración al usuario, es esencial prestar atención no sólo a la magnitud de la vibración, sino también al acoplamiento de la máquina al sistema mano-brazo y al tiempo de exposición, ya que los tres parámetros pueden estar influenciados por medidas técnicas: el acoplamiento puede estar influenciado por un diseño ergonómico, el tiempo de exposición puede reducirse incrementando el rendimiento de la máquina.

En cuanto al **OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN**, las directrices de esta norma presentan los posibles medios para reducir en el diseño de la máquina el riesgo por vibraciones mano-brazo asociado a herramientas portátiles, guiadas manualmente, y otras máquinas, a fin de proporcionar ayuda profesional técnica a los diseñadores y fabricantes de máquinas. El documento cubre cuatro aspectos principales de la reducción de los efectos de la exposición a los riesgos derivados de la vibración de las máquinas:

- Reducción de la magnitud de la vibración en la fuente.
- Reducción de la transmisión de la vibración desde la fuente a las empuñaduras de la máquina y otras superficies en contacto con las manos.
- Reducción de la transmisión de la vibración desde los agarres o empuñaduras de la máquina al sistema mano-brazo del operador por medidas de diseño ergonómico.
- Diseño térmico para optimizar la temperatura de la mano.

En cualquier caso, estas directrices no pretenden dar soluciones universales o detalladas, sino medios técnicos que puedan usarse para resolver problemas.

El informe incorpora también disposiciones de **OTRAS REGLAMENTACIONES**:

- **EN 563** - Seguridad de las máquinas. Temperatura de superficies accesibles. Datos ergonómicos para establecer los valores de las temperaturas límites de las superficies calientes.
- **prEN 894-3** - Seguridad de las máquinas. Requisitos ergonómicos para el diseño de visualizadores y órganos de accionamiento. Parte 3: Órganos de accionamiento.

Como se ha señalado anteriormente al hacer referencia al objeto y campo de aplicación de la norma, el primero de los aspectos considerados en la misma es la **REDUCCIÓN DE LA MAGNITUD DE LA VIBRACIÓN EN LA FUENTE**. En este sentido, las máquinas que no necesitan la emisión de vibración para el desarrollo de las tareas, deberían diseñarse de tal manera que se eliminen o reduzcan las fuerzas variables que generan las vibraciones, para prevenir la amplificación de la vibración y amortiguar o reducir la vibración residual.

No obstante, siempre se deberá tener cuidado con las medidas adoptadas para que no incrementen significativamente el peso de las maquinas portátiles, de tal manera que esto conduzca a otros resultados negativos:

- Un mayor peso de la máquina conduce a mayores fuerzas de agarre y transporte causando una mayor intensidad de transmisión de la vibración y provocando una mayor carga vibratoria.
- Un mayor peso de la máquina conduce a una mayor carga muscular.
- No debería verse afectada la facilidad con que la máquina pueda controlarse y guiarse.

Desde esta perspectiva, varias son las posibles alternativas que a la hora de reducir la magnitud de vibración pueden plantearse:

- **Reducción de la vibración por modificación de los principios técnicos de funcionamiento:**

  En algunos casos, puede conseguirse una reducción de la vibración, tiempo de exposición y fuerzas de operación mediante la modificación del principio técnico de funcionamiento de la máquina.

  Un ejemplo típico es el caso de un martillo rotativo pequeño. Tiene un mecanismo de martillo neumático y perfora el hormigón más rápidamente, produce menores vibraciones y requiere menores fuerzas de avance y agarre que una taladradora de percusión con un mecanismo percutor tipo leva.

- **Reducción de la vibración por un mejor equilibrado:**

  Una fuente común de fuerzas variables es el desequilibrado que puede deberse a:

  - El principio de funcionamiento utilizado (por ejemplo las fuerzas generadas en motores alternativos como resultado del movimiento del cigüeñal y de la biela).
  - Las tolerancias de fabricación y/o errores residuales en la fabricación de piezas rotativas (por ejemplo excentricidad en el montaje de un volante sobre un eje y/o no uniformidad en la forma, composición o estructura).

  Cuando las fuerzas son inherentes al diseño pueden reducirse a veces por el uso de diseños intrínsecamente mejor equilibrados (por ejemplo, en el caso de motores de combustión interna por el uso de diseños multicilindros mejor que por el diseño de un único cilindro, o por el uso de motores rotativos mejor que alternativos).

  También, puede ser posible minimizar las fuerzas variables modificando la masa y/o velocidad o aceleración de los componentes que generan el desequilibrado; siempre que una reducción de la velocidad o de la aceleración no reduzca el

rendimiento de la máquina de tal manera que el incremento del tiempo de exposición anule la reducción de la intensidad de la vibración. Puede también ser válida la incorporación de contrapesos.

Cuando las fuerzas son el resultado de tolerancias de fabricación o errores residuales en la fabricación (tolerancias de desequilibrados residuales, de forma o de dimensiones del orificio de montaje), puede ser posible reducirlas especificando menores tolerancias de fabricación (es decir, un producto de mejor calidad).

- **Reducción de la vibración por la introducción de fuerzas reactivas:**

  Cuando se utilizan fuerzas de trabajo variables de baja frecuencia en máquinas guiadas con la mano, sus efectos sobre los usuarios pueden a veces reducirse significativamente por masas de contramovimiento. El diseño podría también incorporar un sistema de resorte para absorber las ondas de choque reflejadas producidas por cada impacto.

- **Reducción de la vibración por el uso de mecanismos o materiales alternativos:**

  Muchos de los mecanismos utilizados en las máquinas generan fuerzas variables y en consecuencia vibraciones (por ejemplo, imprecisión en engranajes y rodamientos). A menudo estas fuerzas pueden eliminarse o reducirse mediante:

  - El uso de mecanismos alternativos (por ejemplo, transmisión por correas en lugar de por engranajes o cadenas).
  - Mejores versiones de un mecanismo particular (por ejemplo, engranajes helicoidales en lugar de rectos).
  - La especificación de componentes de mayor precisión (es decir, componentes de alta calidad con una tolerancia más estrecha).

  En algunas aplicaciones, puede ser posible reducir las fuerzas de choque y de impacto mediante la incorporación de elementos de caucho, o plástico resistente, o materiales similares (por ejemplo engranajes de resina aglomerada).

- **Reducción de la vibración por la eliminación de los efectos de resonancia:**

  Diversos elementos de una máquina pueden entrar en resonancia si la frecuencia o frecuencias de las fuerzas variables generadas por el uso de la misma está próxima a una frecuencia natural de vibración de la máquina o de sus elementos. En ausencia de cualquier medio de absorción de la energía vibratoria, ello puede producir una amplificación considerable de la vibración si tiene lugar la resonancia.

  Cuando sea posible, los diseñadores deberían evitar la resonancia dentro del rango normal de velocidad de la máquina mediante una adecuada elección e instalación

de elementos y masas resilientes, una apropiada selección de rodamientos, una cuidadosa selección de frecuencias de engrane y otras medidas.

Si los efectos de la resonancia no pueden evitarse, puede ser necesario incorporar dispositivos de amortiguamiento viscoelásticos, hidráulicos, por aire, fricción o alguna otra forma de absorción de la energía de la vibración y así limitar la intensidad de la vibración resonante. Los absorbedores de vibración sintonizados o no pueden también usarse para reducir el efecto de resonancia.

El segundo de los aspectos considerados al hacer referencia al objeto y campo de aplicación de la norma, es la **REDUCCIÓN DE LA TRANSMISIÓN DE LA VIBRACIÓN**. De forma genérica, puede afirmarse que la vibración puede reducirse mediante la introducción de técnicas aislantes de las vibraciones (masas, resortes y otros elementos resilientes) en los trayectos entre las fuentes de vibración y las empuñaduras u otras superficies en contacto con las manos. En este sentido, debe prestarse una atención especial cuando haya que asegurar un aislamiento efectivo sobre el intervalo completo de frecuencias de interés.

- **Reducción de la vibración por el uso de empuñaduras suspendidas:**

  Para conseguir una sustancial reducción en la vibración por el uso de empuñaduras suspendidas, se necesita elegir cuidadosamente las características dinámicas de las empuñaduras en función de las características de vibración de la máquina a la que están fijadas.

  En el momento actual, puede obtenerse un buen aislamiento a frecuencias superiores a 100 Hz, pero el comportamiento a bajas frecuencias puede ser peor y las magnitudes de la vibración global pueden ser mayores sobre la empuñadura suspendida que sobre una rígida (a algunas frecuencias las empuñaduras suspendidas pueden amplificar la vibración).

  El diseño de estas empuñaduras es fruto de un compromiso puesto que empuñaduras suficientemente bien suspendidas destinadas a atenuar la vibración a muy bajas frecuencias pueden hacer que la máquina presente dificultades para usarse con precisión. Puede ser necesario entonces aumentar la rigidez de una empuñadura suspendida fuera del valor ideal, con la consecuencia de alguna reducción en la eficacia del aislamiento.

  Algunos de estos problemas pueden solucionarse incrementando la masa de la empuñadura y reduciendo la de la fuente. Por ejemplo, la vibración a la que están expuestos los usuarios de sierras de cadena se ha reducido considerablemente en algunas máquinas mediante la incorporación a las empuñaduras del tanque de combustible y usando un sistema de montaje resiliente para aislar el conjunto del motor y de la hoja de la sierra.

- **Uso de materiales resilientes:**

  Los nuevos materiales resilientes pueden ser útiles como revestimientos de las empuñaduras y otras superficies vibrantes en contacto con las manos. La forma, dimensiones (espesor) y condiciones de uso (precarga) deben ser cuidadosamente elegidas para cumplir los requisitos dinámicos. Restricciones ergonómicas (tamaño de la empuñadura, etc.) pueden limitar la aplicación de este objetivo. En la mayoría de las situaciones prácticas, estos materiales son sólo susceptibles de ser eficaces en rangos de frecuencia por encima de 200 Hz.

El tercero de los aspectos considerados al hablar del objeto y campo de aplicación de la norma, es la **OPTIMIZACIÓN DE LA POSTURA Y MINIMIZACIÓN DE LAS FUERZAS QUE ACTÚAN SOBRE O TRAVÉS DE LA MANO**. En este sentido, el peso de una herramienta portátil, la posición del brazo del usuario, las fuerzas requeridas para controlarla o guiarla y cualquier otra fuerza que pueda ejercerse, pueden afectar la transmisión de la vibración hacia la mano del usuario y, en consecuencia, al riesgo de que los usuarios desarrollen daños causados por la vibración. Desde esta perspectiva, varias son las consideraciones que pueden realizarse:

- Las máquinas, particularmente las portátiles, deberían diseñarse de tal manera que se minimicen las fuerzas en la mano del usuario. Una forma de hacerlo sería diseñar la máquina de modo que se facilite su uso mediante la utilización de dispositivos auxiliares tales como una empuñadura de apoyo para las amoladoras, equilibradores, dispositivos de reacción (para maquinas rotativas) o pie soporte (por ejemplo, los utilizados con ciertas perforadoras).
- Las dimensiones, textura de la superficie y forma de la máquina portátil, y en particular de las empuñaduras u otras superficies que deban asirse cuando se use la máquina, deberían optimizarse para minimizar la tensión física impuesta al operador. Así, cuando sea posible, las empuñaduras u otras superficies en contacto con las manos deberían tener una forma y presentar un ángulo (por ejemplo, las taladradoras) tal que la posición de la muñeca del operador respecto al antebrazo no este flexionada en condiciones normales de uso.
- La posición de la empuñadura debería elegirse de forma tal que cualquier fuerza pueda ser transmitida por las manos del operador a las empuñaduras de la máquina, controles u otras superficies, sin crear torsión en las muñecas (por ejemplo, empuñaduras de pistola usadas en taladradoras y empuñaduras ajustables en amoladoras).
- La forma de las empuñadura puede presentar una protuberancia apropiada y/o las empuñaduras pueden revestirse con un material de textura adecuada para evitar que las manos del operador se deslicen por la empuñadura.

- En cualquier caso, las dimensiones de la empuñadura y, en particular, el diámetro de las empuñaduras circulares deberían ser conformes a la norma EN 894-3.

Por último, el cuarto de los aspectos considerados al hablar del objeto y campo de aplicación de la norma, hace referencia al **DISEÑO PARA OPTIMIZAR LA TEMPERATURA DE LA MANO**. Así, ha de tenerse en cuenta que:

- Las maquinas portátiles neumáticas deberían diseñarse para asegurar que el aire frío no incide sobre las manos de los usuarios y que el flujo de aire interno no enfríe excesivamente las empuñaduras u otras superficies en contacto directo con la mano.
- Habrían de considerarse las empuñaduras calentadas para maquinas portátiles o guiadas con la mano principalmente utilizadas en ambientes con baja temperatura (por ejemplo sierras de cadena).
- Los materiales de las empuñaduras no calentadas y otras superficies en contacto con las manos deberían seleccionarse para minimizar la pérdida de calor de las manos del usuario. Si en el uso, la empuñadura es susceptible de estar más fría que la mano del operador el material de la empuñadura debería tener una conductividad térmica baja. Por el contrario, si la empuñadura es susceptible de estar más caliente que la mano del operador, puede ser mejor elegir un material con una alta conductividad térmica (véase la Norma EN 563).

La norma incluye un **ANEXO** informativo que recoge la **BIBLIOGRAFÍA** relacionada con la misma, tanto a nivel de reglamentaciones como de publicaciones al respecto:

- **CR 1030-2** - Vibraciones mano-brazo. Directrices para la reducción de los riesgos de la vibración. Parte 2: Medidas de gestión en el puesto de trabajo.
- **CR (X)**[1] - Vibraciones mecánicas. Guía para los efectos sobre la salud de las vibraciones sobre el cuerpo humano.
- **EN 292-2** - Seguridad de las máquinas. Conceptos básicos. Principios generales para el diseño. Parte 2: Principios y especificaciones técnicas.
- **prEN 894-1** - Seguridad de las máquinas. Requisitos ergonómicos para el diseño de visualizadores y órganos de accionamiento. Parte 1: Interacciones entre el hombre con los visualizadores y órganos de accionamiento.
- **prEN 1033** - Vibraciones mano-brazo. Medida en laboratorio de las vibraciones en la superficie de las empuñaduras de las máquinas guiadas manualmente. Generalidades.

[1] En preparación

- **EN 28662-1** - Herramientas mecánicas portátiles de mano. Medida de las vibraciones en la empuñadura. Parte 1: Generalidades.
- **EN ISO 13753** - Vibraciones y choques mecánicos. Vibraciones mano-brazo. Método para la medida de la transmisibilidad de la vibración de materiales resilientes cuando son llevados por el sistema mano-brazo (**ISO 13753**)[2].
- Anderson, E.R: Design and testing of a vibration attenuating handle. International Journal of Industrial Ergonomics, 6(1990), pag 119-125, Elsevier.
- Bitsch, J.; Roure; Jacques, J.; Poirot, R.: Fouloirs pneumariques à manche allongé. Étude de la réduction des cibrations et du bruit, cahiers denotes documentaires n° 144, 1984.
- Bullinger H.J.; Muntzinger W.F.; Luster P.: Numeric simulation of hand-transmitted vibrations. Trends in Ergonomics/Human Factors VI, Elsevier, 1989.
- Christ E. et coll.: Les vibrations au posse de travail (AISS brochure). Publié par le Comité international pour la Recherche de l'AISS, Insitut National de Recherche et de Sécurité (INRS), 30, rue Olivier-Noyer, F-75680 Paris Cedex 14, 1989.
- Cronjäger L.: Reduzierung der Lärm-und Vibrationsbelastung Beim Arbeiten mit elektrischen Bohr-und Schlaghämmern. Rapport de BMFT, Université de Dortmund, Institut für Spanende Fertigung, 1983.
- Dupuis H.: Wirkung mechanischer Schwingungen auf das Hand-Arm-System, Literaturanalyse. Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Dortmund, 1982.
- Dupuis H.; Hartung E.; Christ E.; Konietzko H.: Mechanische Schwingungen, Kenntnisstand über Beanspruchung, Belastung, Minderung und Richtwerte. Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Dortmund, 1988.
- Eckert R.; Bullinger H.J.; Bauer W.: Low vibration tools. Effect and reduction of vibrations in motor-moving machines. Proceedings of the second International Conference on Machine Dynamics and Engineering Applications (ICMDEA), 23-25 octobre 1992, RP Chine.
- Lange W.: Kleine ergonomische Datensammlung. Bundesanstalt für Arbeisschutz, Publié par TÜV Rehiland Köln, 1985.
- Lindquist B.; Ahlberg E.; Skogsberg L.: Ergonomic tools in our time. Une publication know-how d'Atlas Copco, éditée par T. R. Tryck, Stoclcholm, 1986.

[2] En preparación

- Naslund V.: Design problems in the reduction of vibration in chain saws. Rapport sur une conférence au sujet des aspects médicaux, techniques et juridiques des vibrations main-bras qui a eu lieu à l'Université de Dundee, 1972, édité par Taylor W., publié pour British Acoustical Society par Academic Press, London 1974, p. 61-70.
- Roure L.; Ho M.T. et coll.: Les vibrations industrielles. Édition INRS ED 656, 3e édition, juin 1986.
- Salvendy G. (éd.): Handbook of human factors. John Wiley and sons, New York, 1987.

La norma concluye con un **ANEXO NACIONAL** en el que se informa de como las normas europeas EN citadas al hablar de "Otras reglamentaciones" y en el anexo de "Bibliografía", están admitidas como UNE en las fechas que se indican en la tabla siguiente:

Norma EN	Título	Norma UNE
EN 563	Seguridad de las máquinas. Temperatura de superficies accesibles. Datos ergonómicos para establecer los valores de las temperaturas límites de las superficies calientes.	**UNE-EN 563:1996**
CR 1030-2	Vibraciones mano-brazo. Directrices para la reducción de los riesgos de las vibraciones. Parte 2: Medidas de gestión en el puesto de trabajo.	**UNE-CR 1030-2:1997**
EN 292-2	Seguridad de las máquinas. Conceptos básicos. Principios generales para el diseño. Parte 2: Principios y especificaciones técnicas.	**UNE-EN 292-2:1993**
prEN 1033	Vibraciones mano-brazo. Medida en laboratorio de las vibraciones en la superficie de las empuñaduras de las máquinas guiadas manualmente. Generalidades	**UNE-EN 1033:1996**
EN 28662-1	Herramientas mecánicas portátiles de mano. Medida de las vibraciones en la empuñadura. Parte 1: Generalidades.	**UNE-EN 28662-1:1994**

Ver gama completa de acelerómetros

Análisis de vibraciones e interpretación de datos

Jesús A. Royo
Gloria Rabanaque
Fernando Torres
DIDYF Universidad de Zaragoza

El análisis de vibraciones, la termografía, el análisis de lubricantes, entre otras son técnicas de mantenimiento predictivo que permiten hallar las causas de posibles fallos anticipándose a la avería.
Para la implantación de un mantenimiento predictivo resulta imprescindible la realización de un programa y una organización que aseguren el seguimiento constante y riguroso de los elementos que componen la empresa.

Programa de mantenimiento predictivo

Los pasos en que se basa el programa de mantenimiento predictivo se pueden explicar de la siguiente forma. El programa de mantenimiento predictivo sigue una secuencia lógica desde que se detecta un problema, se estudia, se encuentra su causa, y finalmente se decide la posibilidad de corregirlo en el momento oportuno con la máxima eficiencia.Los pasos de que consta son tres:

• *Detección:* *Reconocimiento del problema.*

• *Análisis:* *Localización de la causa del problema.*

• *Corrección:* *Encontrar el momento y forma de solucionar el problema.*

Como se ha dicho, la detección consiste en encontrar un problema en la maquinaria. Para ello es necesario un seguimiento constante y riguroso del nivel de vibraciones de una máquina. El intervalo entre mediciones depende de cada equipo y puede variar desde dos meses a una medición continua, según el tipo e importancia en el proceso. Los puntos elegidos para tomar vibraciones son aquellos donde puede ser posible encontrar un defecto que afecte al buen funcionamiento de la maquinaria, serán lugares en los que se alojen rodamientos, ventiladores, engranajes o uniones entre ejes. En los puntos a medir se tomarán valores de velocidad, aceleración o desplazamiento, en función de la situación del punto y de las características de la maquina.
El aparato utilizado será un colector de datos junto con un programa informático que almacene los valores recogidos en las revisiones rutinarias sobre los elementos de la fábrica. A partir de un histórico de datos de los puntos de cada máquina es posible detectar un problema cuando la tendencia de valores aumenta o se modifica notablemente.
El siguiente paso es analizar el problema detectado, una vez que se ha encontrado éste, se identifican sus posibles causas. Este estudio es complicado, depende en cada caso del punto donde aparece el defecto, la posición y el entorno de la maquina. No existen rasgos que caractericen de una forma inequívoca una causa de exceso de vibración, si no que la experiencia, el sentido común y el conocimiento de cada máquina son puntos esenciales.
Por último, el paso a seguir es la corrección del fallo detectado y analizado, así, una vez encontrado un problema y analizado sus causas, es necesario estudiar las acciones a realizar para solucionarlo, a la vez que buscar el momento adecuado para su reparación, intentando que esta sea lo más eficiente posible y que afecte de forma mínima el proceso de producción, aprovechando para ello una parada o una situación en la que la carga de trabajo para la máquina sea menor que en otras.

Organización del programa de mantenimiento predictivo

Un estricto y constante seguimiento de las vibraciones de las máquinas proporciona un aviso previo a un fallo que puede obligar a su paro repentino, con lo que esto puede conllevar desde el punto de vista de producción.
A la vez, este tipo de mantenimiento puede disminuir costes en los cambios de elementos programados y que todavía pueden continuar trabajando por más tiempo. Es por tanto una forma de mejorar la eficiencia de un mantenimiento preventivo.
En la organización del mantenimiento predictivo son importantes los siguientes nueve pasos:

1. Reconocimiento de la planta

En primer lugar, antes de la implantación del mantenimiento predictivo es preciso decidir la necesidad y eficacia en una empresa. Esta decisión estará en función del tipo de máquinas, de la cantidad y de su importancia en el proceso.

2. Selección de las máquinas

Dentro de una fábrica se hará un estudio de vibraciones de acuerdo a un calendario establecido de aquellos equipos que forman parte del proceso de producción de una forma esencial, es decir, de aquellos cuyo fallo provocaría pérdidas importantes

desde el punto de vista de producción, por pérdidas económicas, dificultad y cantidad de tiempo en volver a arrancar.
De igual modo, se seguirá de forma constante la parte de la maquinaria que por su tamaño o valor económico, productivo sean importantes para la empresa.

3. Elección de técnicas óptimas para verificar

Forma de efectuar la verificación, decidir qué, cómo, cuándo, dónde se han de realizar las mediciones.

4. Implantación del predictivo

El programa de implantación del predictivo debe contener:

- Máquinas a estudiar.
- Sistema de medición, toma de datos y análisis de los mismos.
- Datos para comparar.
- Conocimiento del tipo de mantenimiento y de los medios para tomar datos.

5. Fijación y revisión de datos y límites de condición aceptable

Para fijar un límite según valores que pueden llamarse normales es esencial contar con un histórico de datos obtenido en repetidas mediciones. Un valor medio de los datos obtenidos dará el nivel de vibración aceptable de cada uno de los puntos medidos. Los límites que marcan que un valor sea aceptable serán fijados según este histórico de datos y de la experiencia. Al principio, cuando no se tiene un conjunto de valores que permitan estimar si una vibración está dentro de los límites que marcan su normalidad, la aceptación de un valor se hará mediante las instrucciones del fabricante y con las gráficas de severidad.

6. Mediciones de referencia

Siempre se tendrá una medida de referencia con la que se compararán cada una que se tome para ver si está entre los límites de aceptabilidad.

7. Recopilación, registro y análisis de las tendencias.

Aquí se tratará de detectar un posible defecto en la máquina.

8. Análisis de la condición de la máquina

En este paso se confirmará si existe realmente un fallo y se determinarán sus causas y la evolución que pueden sufrir.

9. Corrección de fallos.

Vibraciones

Definición y características

Para empezar se puede dar una definición y características de la vibración. La vibración es el movimiento de vaivén de una máquina o elemento de ella en cualquier dirección del espacio desde su posición de equilibrio. Generalmente, la causa de la vibración reside en problemas mecánicos como son: desequilibrio de elementos rotativos; desalineación en acoplamientos; engranajes desgastados o dañados; rodamientos deteriorados; fuerzas aerodinámicas o hidráulicas, y problemas eléctricos. Estas causas como se puede suponer son fuerzas que cambian de dirección o de intensidad, estas fuerzas son debidas al movimiento rotativo de las piezas de la máquina, aunque cada uno de los problemas se detecta estudiando las características de vibración.

Las características más importantes son: frecuencia, desplazamiento, velocidad, aceleración, *spike energy* (energía de impulsos).

La frecuencia es una característica simple y significativa en este análisis. Se define como el número de ciclos completos en un período de tiempo. La unidad característica es cpm (ciclos por minuto). Existe una relación importante entre frecuencia y velocidad angular de los elementos rotativos. La correspondencia entre cpm y rpm (ciclos por minuto-revoluciones por minuto)

identificará el problema y la pieza responsable de la vibración. Esta relación es debida a que las fuerzas cambian de dirección y amplitud de acuerdo a la velocidad de giro. Los diferentes problemas son detectados por las frecuencias iguales a la velocidad de giro o bien múltiplos suyos. Cada tipo de problema muestra una frecuencia de vibración distinta.

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

La velocidad es otra característica importante en la vibración, gráficamente se puede ver en la figura 1.

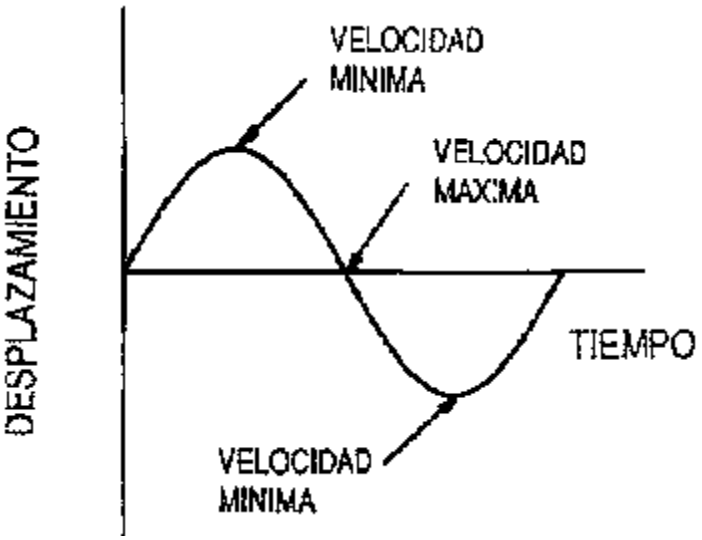


Fig. 1. Gráfica de la velocidad de un objeto que vibra.

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

La aceleración está relacionada con la fuerza que provoca la vibración, algunas de ellas se producen a altas frecuencias, aunque *velocidad y desplazamiento sean pequeños En la figura 2, se puede ver la aceleración de vibración.*

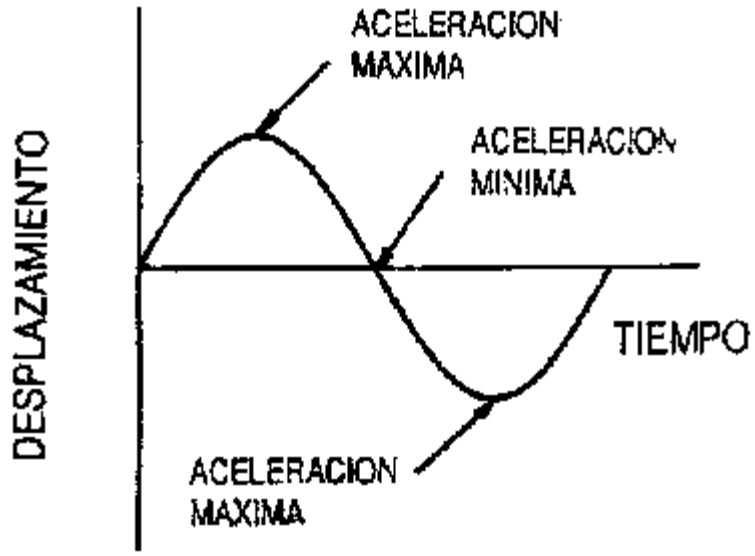


Fig. 2. Gráfica de la aceleración de un objeto que vibra.

El *spike energy* o energía de impulsos proporciona información importante a la hora de analizar vibraciones. Este parámetro mide los impulsos de energía de vibración de breve duración y, por lo tanto, de alta frecuencia.

Pueden ser impulsos debidos a: Defectos en la superficie de elementos de rodamientos o engranajes. Rozamiento, impacto, contacto entre metal-metal en máquinas rotativas. Fugas de vapor o de aire a alta presión. Cavitación debida a turbulencia en fluidos.

Sin este parámetro es muy difícil detectar engranajes o rodamientos defectuosos. Con esta medida se encuentran rápidamente las vibraciones a altas frecuencias provocadas por estos defectos. El valor de *spike energy* es básicamente una medida de aceleración, pero tiene como unidad g-SE.

Severidad de vibración

Un punto importante a la hora de hablar de vibraciones es conocer la severidad de vibración, ella indica la gravedad que puede tener un defecto. La amplitud de la vibración expresa la gravedad del problema, pero es difícil establecer valores límites de la vibración que detecten un fallo.
La finalidad del análisis de vibraciones es encontrar un aviso con suficiente tiempo para poder analizar causas y forma de resolver el problema ocasionando el paro mínimo posible en la máquina.
Una vez obtenido un histórico de datos para cada elemento de las máquinas que se estudian, el valor medio refleja la normalidad en su funcionamiento. Desviaciones continuas o excesivas indicarán un posible fallo que será identificado después, teniendo en cuenta la frecuencia a la que se producen las mayores vibraciones.
Cuando no se posee histórico de datos para una máquina, puede analizarse la severidad de vibración teniendo en cuenta las siguientes gráficas (figs. 3 y 4):

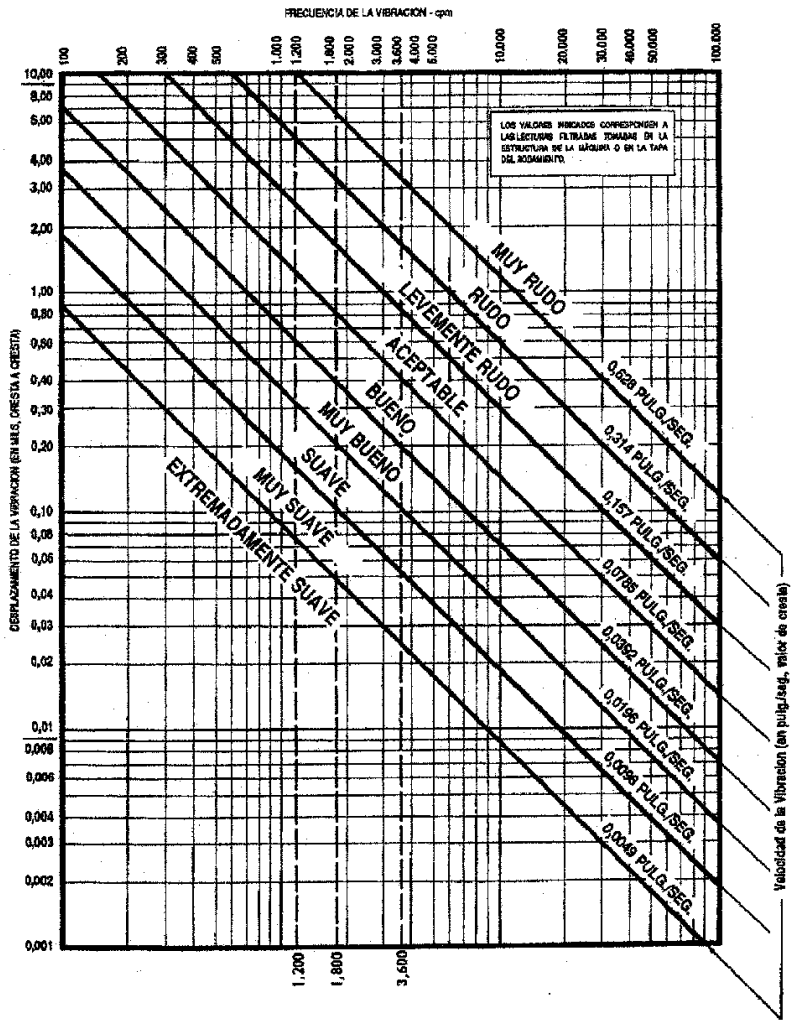


Fig. 3. Gráfica de la severidad de la velocidad y el desplazamiento.

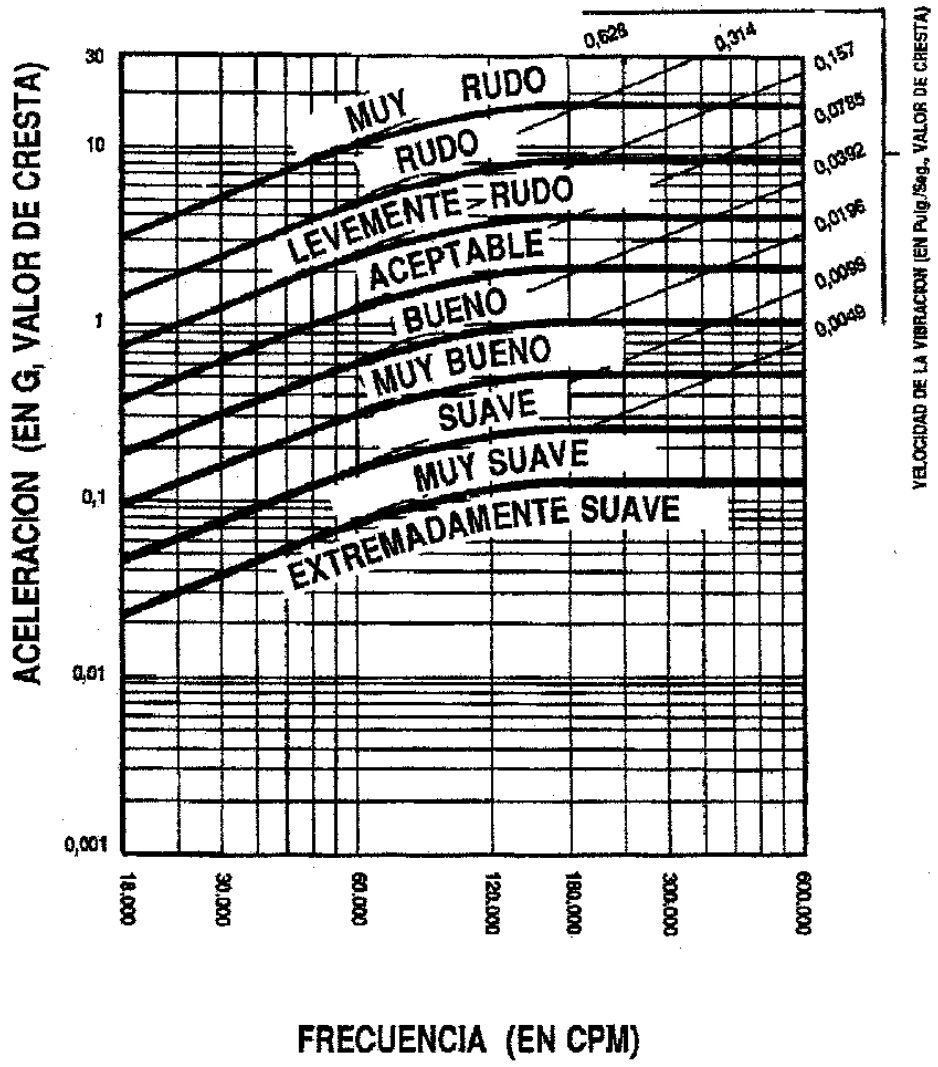
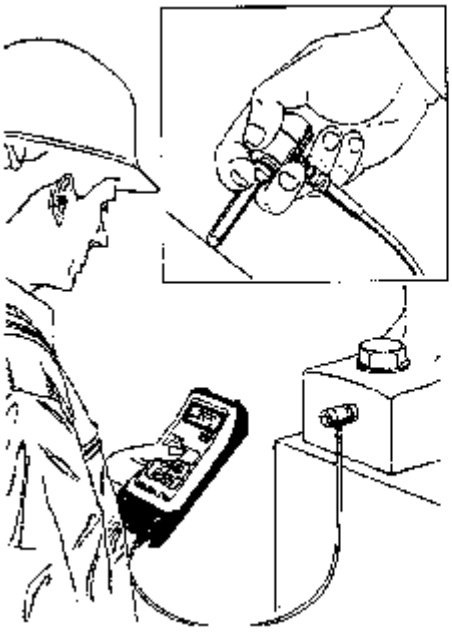


Fig. 4. Gráfica de la severidad de la velocidad de aceleración.

Análisis



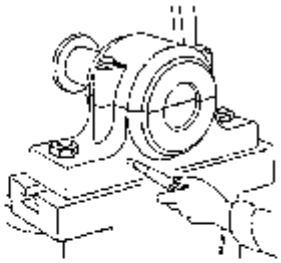


Fig. 5. Toma de datos con transductor.

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

La adquisición de datos es el primer y principal paso a dar para hacer un análisis de vibraciones. Los datos a tomar, desplazamiento, velocidad o aceleración dependerán de la velocidad de la máquina, de acuerdo con su relación equivalente de frecuencia (rpm=cpm). Así, para bajas rpm, (bajos cpm), se tomarán datos de desplazamientos. Para velocidades que estén dentro del orcen de 600 y 60.000 rpm, se medirán velocidades. Y para los que sean de orden superior, los datos a tomar serán aceleraciones (fig. 5).

Pasos a seguir en la adquisición de datos:

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

2. Determinación de la finalidad de la vibración que podrá incluir:

Medidas de rutina para detectaren un momento determinado un posible fallo y determinar las causas que lo originan.

Medidas para crear un histórico de datos y con él obtener un valor de base, sobre el que estará el valor de vibración que deba tener la máquina cuando sus condiciones de trabajo sean normales.

Toma de datos antes y después de una reparación, la medida de antes pondrá de manifiesto el problema, elemento defectuoso y será más eficaz así su reparación. Después de la reparación se tomarán medidas que indiquen la evolución del elemento sustituido o la corrección del defecto existente.

3. Selección de los parámetros de medición: desplazamiento, velocidad, aceleración, *spike energy*. Ellos determinarán el transductor a utilizar.

4. Determinación de posición y dirección de las medidas con los transductores, la vibración se tomará generalmente en rodamientos de la máquina o puntos donde sea más probable un fallo por acoplamiento, equilibrio, puntos donde se transmitan las fuerzas vibratorias.

Los tres sentidos principales en una medición son horizontal, vertical y axial. Sentidos radiales son horizontal y vertical, y se toman con eje del transductor a 90º respecto al eje de rotación, como se observa en la figura 6.

5. Selección del instrumento de medición y transductores.

6. Determinación del tipo específico de datos requeridos para la interpretación de las medidas realizadas. Así se ahorrará tiempo a la hora de realizar las medidas y se obtendrá de estas, información más útil en el análisis.

Los datos obtenidos pueden ser: valores de magnitud total, espectro de frecuencias amplitud-frecuencia que indica el tipo de problema existente, amplitud-tiempo para vibraciones transitorias rápidas o vibraciones muy lentas, spike energy en rodamientos, engranajes y

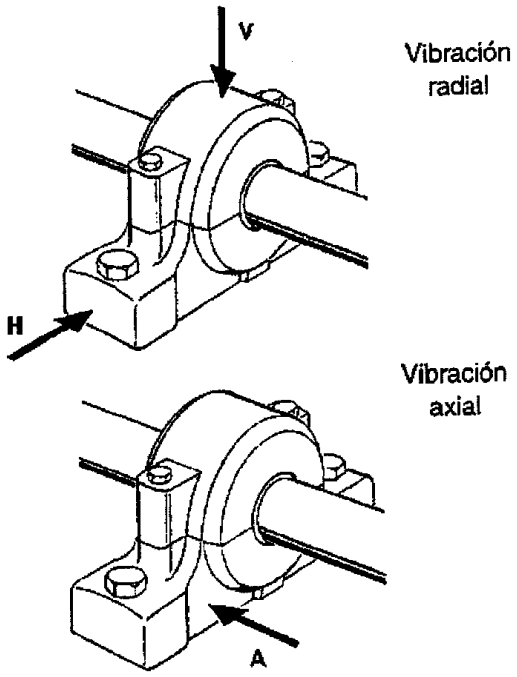


Fig. 6. Sentido de toma de datos en una silla.

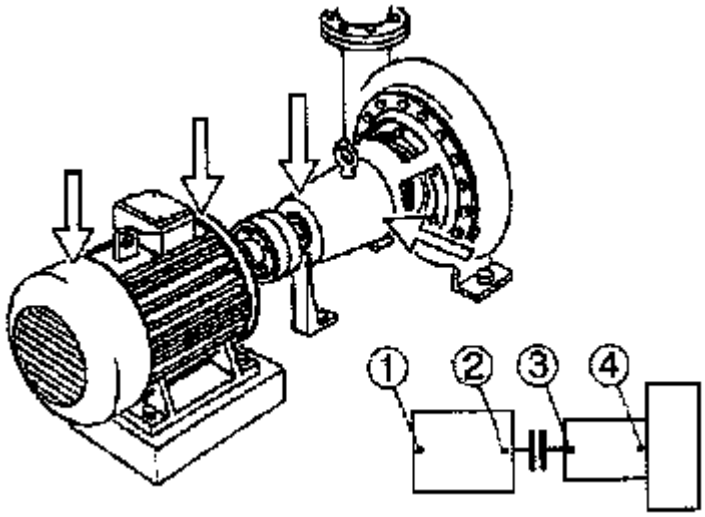


Fig. 7. Puntos de toma de datos de motor y bomba.

problemas de cavitación (fig. 7).

7. Toma de datos. Paso esencial en el análisis, precisa de atención y fiabilidad de las medidas tomadas.

A la hora de la adquisición de datos es importante tener en cuenta:

- Secuencias de medición, tomar datos correctos y lo más rápido posible, evitan tiempo perdido.
- Lugar de toma de datos siempre será el mismo, con el transductor unido de una forma firme, para la veracidad de los datos.
- Seguimiento de la máquina, es decir, mantener un contacto con los operarios que trabajan con ella y los de mantenimiento, ellos serán las personas que conocen de cerca la máquina.
- Controlar el entorno exterior de la máquina, aspecto, ruido, etc.
- Atender tendencias inesperadas. Estar preparado para tomar mas datos, medidas cuando pueda haber signos de algún problema.
- Mantener sólo datos coherentes, tomados con precisión.
- Comparar con máquinas similares y en igual forma de trabajo.

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

Identificación de causas de vibraciones. Interpretación de datos

Una vez obtenidos de una forma metódica y precisa los datos de vibraciones de una máquina donde se ha detectado un problema, es necesario identificar cual ha sido su causa y así buscar la forma y momento de reparación más eficiente, es decir, que elimine el fallo y su coste económico sea el mínimo posible.
Un defecto puede localizarse al comparar las amplitudes de las vibraciones tomadas. Normalmente una máquina que funciona correctamente tiene valores que suelen seguir una línea con tendencia ligeramente ascendente o constante. Cuando en algún momento los valores aumentan o la tendencia asciende de una forma inesperada, se puede pensar en la presencia de algún problema.
Generalmente los valores de amplitud que se comparan son los de velocidad, una vez observado que esta ha aumentado de una forma inesperada, es importante comparar los valores de la energía de impulsos (g), estos valores indicarán la gravedad del problema. Así un fallo puede detectarse al encontrar una tendencia de velocidad ascendente de forma imprevista y unos valores del parámetro g altos. También es posible que existiendo un problema haya valores de *spike energy* altos y de repente disminuyan y poco a poco aumenten, esto puede dar lugar a un fallo total, donde la máquina deje de funcionar. Valores altos de *spike energy* pueden ser indicadores en la mayor parte de los casos de problemas de rodamientos, acoplamientos y en los casos más extraños de problemas hidráulicos.
Generalmente la máxima amplitud de vibración se da en los puntos donde se localiza el problema, aunque muchas veces la vibración es transmitida a otros puntos de la máquina aunque en ellos no se encuentre el problema. El análisis de las gráficas puede indicar el tipo de defecto existente, pero muy pocas veces aparecen problemas únicos y por tanto espectros donde se refleje un defecto claramente. La experiencia y el conocimiento de la máquina son dos factores fundamentales a la hora de identificar la causa que produce una vibración importante.
Es esencial una vez corregido el problema seguir la evolución de la reparación, de esta forma se conocerá si realmente existía el defecto, si estaba situado en el punto con máxima vibración y lo que es más importante, seguir la evolución tras la reparación y asegurarse que el problema ha desaparecido.
El estudio de los datos de vibraciones, de sus espectros es la base para encontrar las causas y la forma de corregir el defecto que ellas indican. Sólo es importante prestar especial atención a las vibraciones que vayan acompañadas de otros efectos como ruido, pérdida de aceite o cualquier fallo, o bien los valores de amplitudes que sean excesivos comparados con otros en funcionamiento correcto, en esos casos se analizará la forma de los espectros que identificarán las causas de los problemas.
Los problemas mecánicos más comunes en las máquinas que producen vibraciones son desequilibrio entre ejes, falta de alineación de acoplamientos, defectos en rodamientos y engranajes y problemas eléctricos. A continuación se pueden ver la forma de identificar estos problemas analizando los datos y espectros de vibraciones.

Desequilibrio

Esta es una de las causas más probable de que exista vibración en las máquinas, en casi todos los elementos es fácil encontrar un pico en el gráfico de amplitud frente a frecuencia, que denote un pequeño desequilibrio.

Como se puede ver en el siguiente gráfico (fig. 8) hay un pico en una frecuencia que coincide con la velocidad de giro.

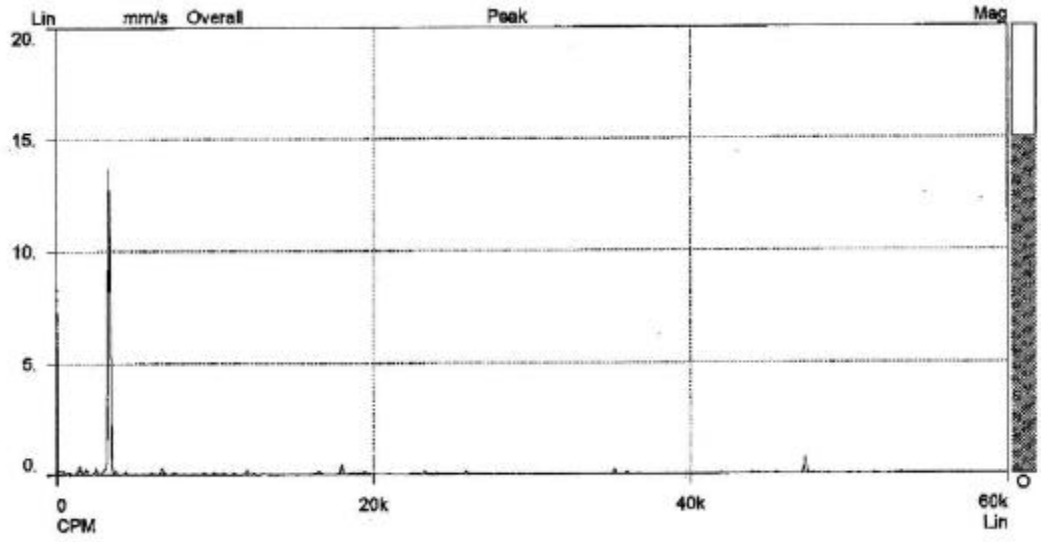
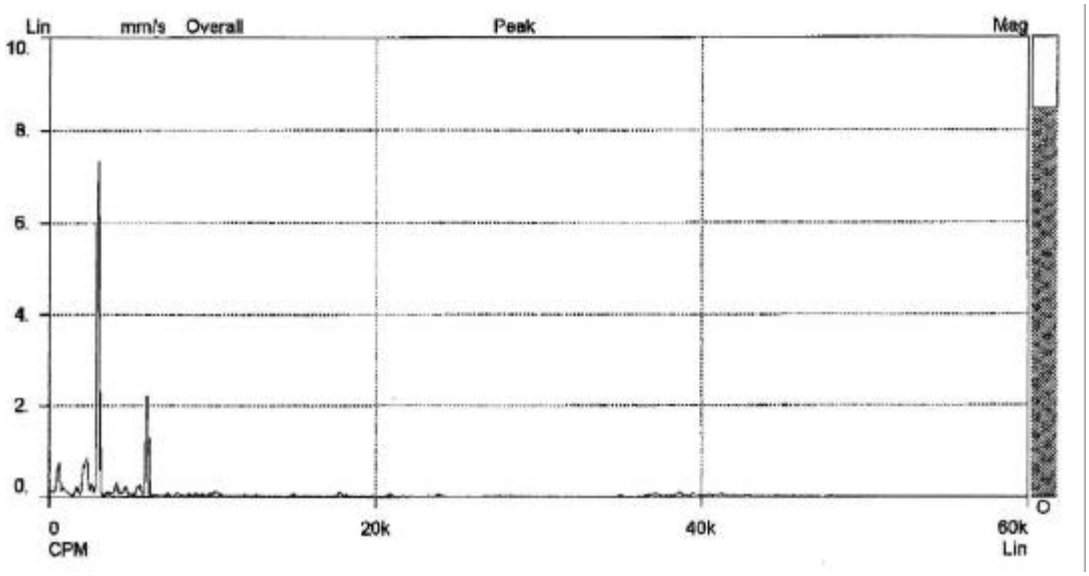


Fig. 8. Espectro de velocidad de un problema de desequilibrio.

Para conocer la cantidad de desequilibrio hay que encontrar la amplitud de la vibración en la frecuencia igual a 1 x rpm. La amplitud es proporcional a la cantidad de desequilibrio. Normalmente, la amplitud de vibración es mayor en sentido radial (horizontal y vertical) en las máquinas con ejes horizontales, aunque la forma de la gráfica sea igual en los tres sentidos.
Como se ha dicho antes, para analizar datos de vibraciones son tan importantes la experiencia y el conocimiento de la máquina como los datos tomados en ella. Cuando aparece un pico en frecuencia igual a 1 x rpm. El desequilibrio no es la única causa posible, la desalineación también puede producir picos a esta frecuencia. Al aparecer vibraciones en esta frecuencia como otras causas posibles están los engranajes o poleas excéntricas, falta de alineamiento o eje torcido si hay alta vibración axial, bandas en mal estado (si coincide con sus rpm), resonancia o problemas eléctricos, en estos casos además del pico a frecuencia de 1 x rpm habrá vibraciones en otras frecuencias.

Desalineación



Es un problema muy común debido a la dificultad que supone alinear dos ejes y sus rodamientos de forma que no se originen fuerzas que produzcan vibraciones.
La forma de vibración de un eje torcido es similar a la de una mala alineación angular.
Para reconocer una vibración debida a una desalineación en la gráfica se pueden ver picos a frecuencias iguales a la velocidad de giro del eje, de dos o tres veces esta velocidad en situaciones donde este problema sea grave. Un ejemplo del espectro de este problema se observa en la figura 9, la forma de la gráfica será similar en las tres direcciones, variando únicamente la amplitud. Igual que en todos los casos, la amplitud es proporcional a la gravedad del defecto, aquí de desalineación. Este fallo puede presentar alta vibración en sentido axial además de radial. Así siempre que exista una alta vibración en axial y radial, y si la axial es mayor que la mitad de la radial puede existir un problema de desalineación o ejes torcidos.
En la figura 10 se pueden ver los tres tipos básicos de desalineación, en paralelo, angular y una combinación de ambos.
La falta de alineación en paralelo, figura 11, produce sobre todo vibración en dirección radial con frecuencia igual al doble de la velocidad de giro del eje.

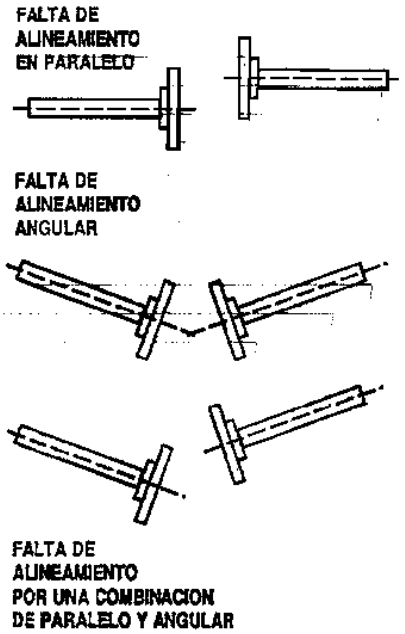


Fig. 10. Tipos de falta de alineación.

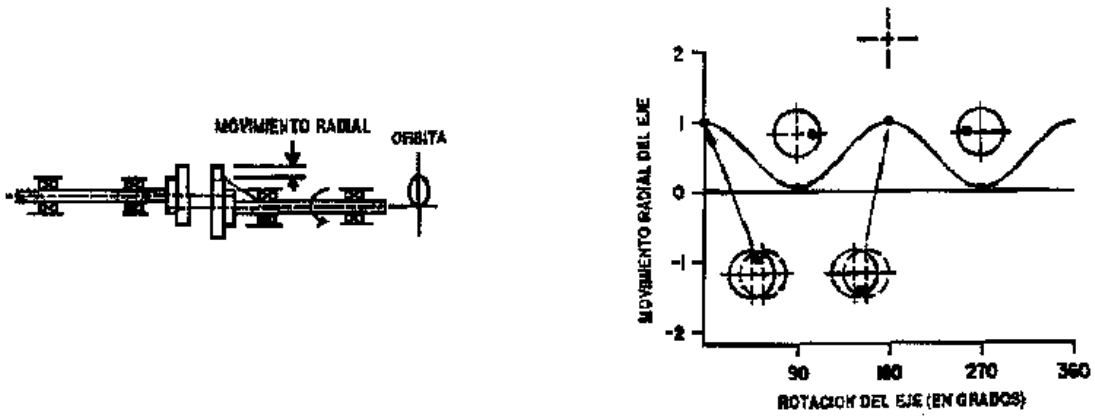


Fig. 11. Falta de alineación en paralelo.

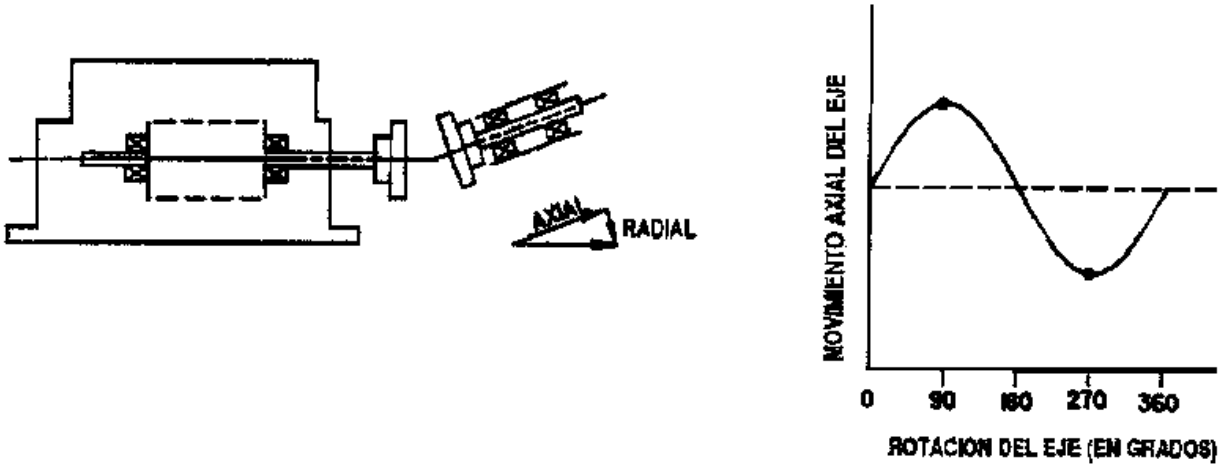


Fig. 12. Falta de alineación angular.

La falta de alineación angular, representada en la figura 12, da vibración en dirección axial en los dos ejes a una frecuencia

igual a 1 x rpm.
Las condiciones de una desalineación no siempre llevan consigo un acoplamiento.
Una desalineación entre eje y su rodamiento, figura 13, es un ejemplo usual de este defecto y que sólo se elimina corrigiendo la colocación del rodamiento.
Un casquillo mal alineado con su eje, como se ve en la figura 13, no crea vibración importante, a menos que además exista un problema de desequilibrio, este defecto sería el que produciría una falta de alineación.

Engranajes

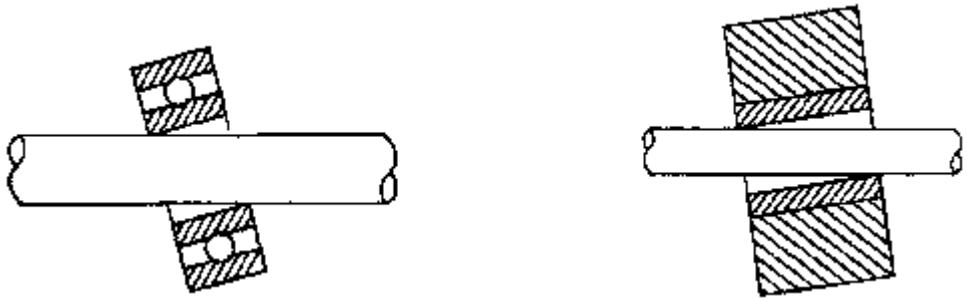


Fig. 13. Rodamiento y casquillo mal alineados respecto al eje.

Este defecto se puede observar al encontrar picos a frecuencias que coinciden con múltiplos enteros de la velocidad de giro del engranaje que falla, además existirá vibración de amplitud menor de forma simétrica a la frecuencia del engranaje. En la figura 14 se pueden observar picos de valor importante a frecuencias que son múltiplos de la velocidad de giro de un piñón, de forma simétrica a estos picos existen otros de valor muy pequeño y separados una distancia igual a la velocidad de giro.

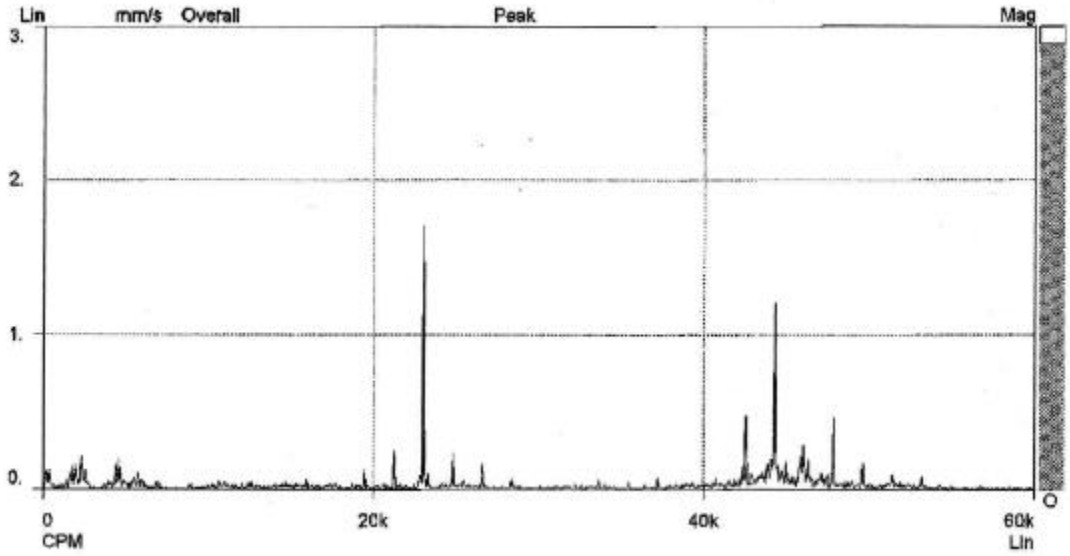


Fig. 14. Espectro de velocidad de un problema de engranaje.

Los problemas de engrane que dan esta vibración son: desgaste excesivo de los dientes, inexactitud de los dientes, fallos de lubricación, elementos extraños entre dientes. Las vibraciones causadas por defectos de engranajes pueden ser detectadas en varios puntos de las máquinas. Esta es una característica que diferencia una gráfica causada por un engranaje con poca carga y la vibración producida por un rodamiento, ya que el diagrama de amplitud frente a frecuencia puede dar lugar a confusión cuando la carga del piñón es baja.
Tanto el fallo de engranaje como el de un rodamiento, llevan consigo también la aparición de ruido.

Problemas eléctricos

La vibración es creada por fuerzas desiguales que pueden ser causadas por la forma interna de elemento. Es complicado reconocer gráficamente este problema, ya que no tiene características que indiquen de forma sencilla que esta es la causa de vibración.
El espectro puede llevar a errores por ser similar a la del desequilibrio, solo que aquí al desconectar la corriente el problema

desaparecerá. Se detectarán picos mayores a distancias iguales a cuatro veces la velocidad de giro si los polos son cuatro, distinguiendo la vibración separada una frecuencia coincidente con la velocidad de giro. En la figura 15 se ve el espectro que da este tipo de problema.

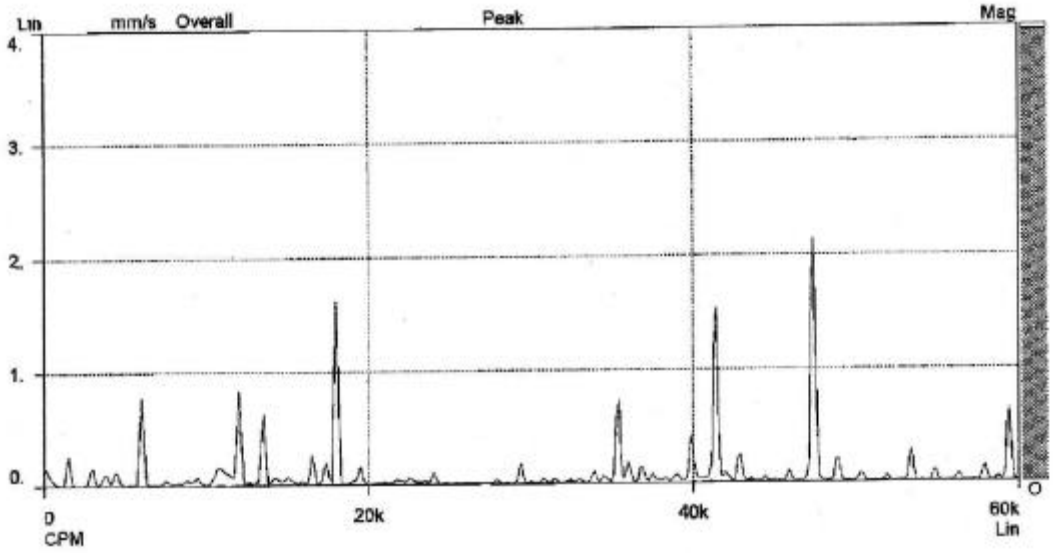


Fig. 15. Espectro de velocidad de un problema eléctrico.

Rodamientos

Fallos en elementos del rodamiento dan vibración a unas frecuencias altas no relacionadas con la velocidad de rotación y de amplitud también aleatoria. A continuación, en las figuras 16 y 17 se pueden observar los espectros de velocidad y aceleración, respectivamente, de un rodamiento de bolas defectuoso.

Es relativamente fácil reconocer este fallo a ver la gráfica de amplitud-frecuencia, ya que se caracteriza por tener muchos picos juntos a altas frecuencias y de amplitud variable que dependerá de la gravedad del problema. La frecuencia a la que se produce la máxima amplitud puede dar una idea del elemento defectuoso del rodamiento. Los defectos en elementos rodantes, pistas de rodamiento o jaula de retención generan fuerzas que se transmiten al alojamiento y estructura que les rodea.

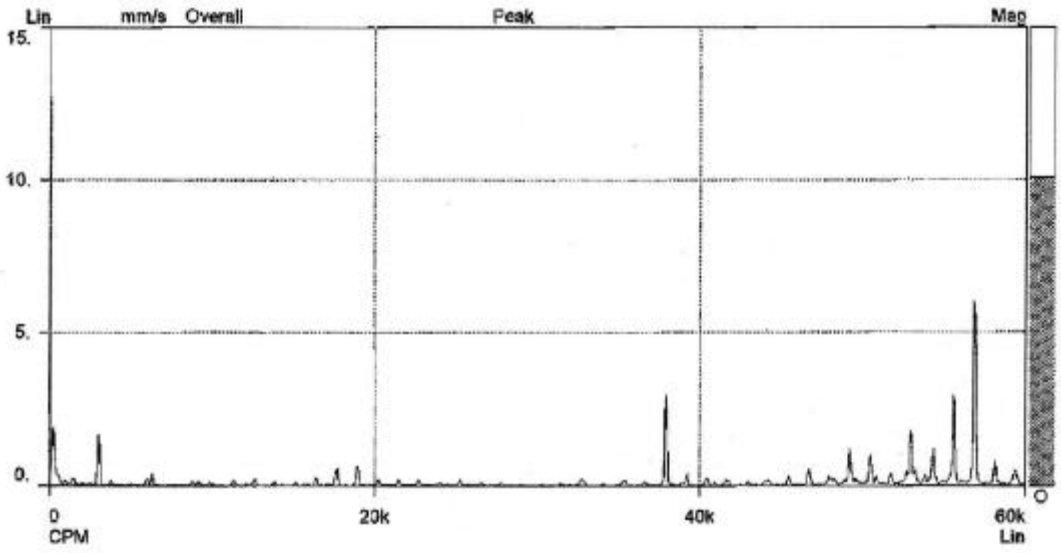


Fig. 16. Espectro de velocidad de un rodamiento defectuoso.

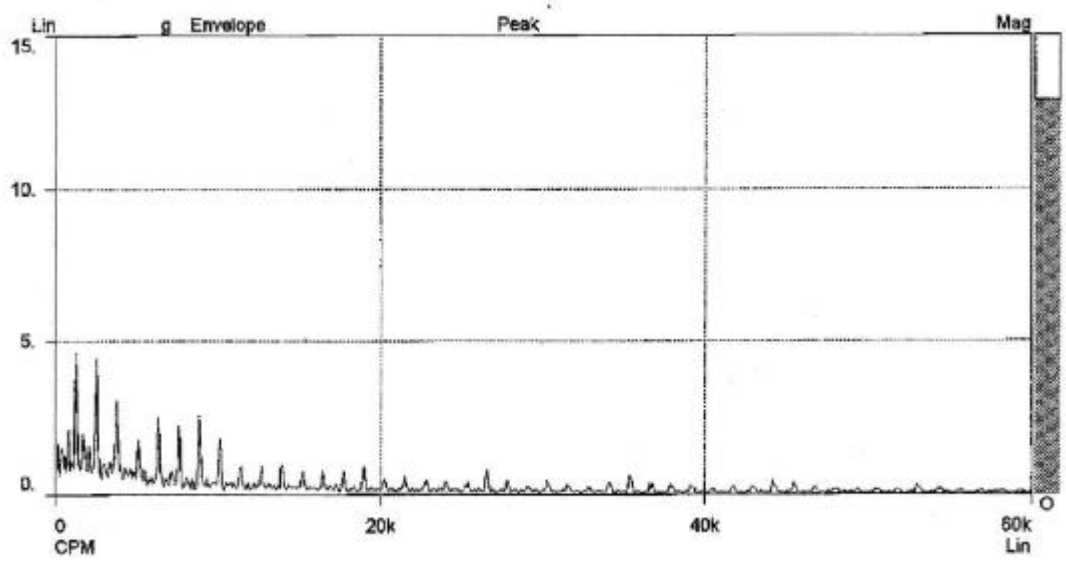
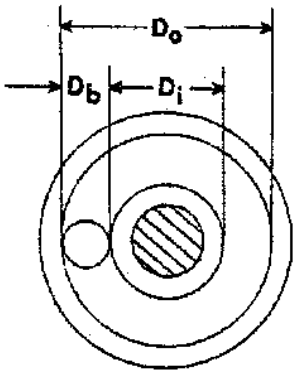


Fig. 17. Espectro del parámetro g de un rodamiento defectuoso.



Nota: Eje en rotación, pista de deslizamiento externa fija

Defecto de la jaula o de una bola $F = \frac{D_i}{D_i+D_o} \times rpm$

Defecto de una bola $F = \frac{D_o}{D_b} \times \frac{D_i}{D_i+D_o} \times rpm$

Defecto de la pista de deslizamiento interna $F = \frac{D_o}{D_i+D_o} \times M \times rpm$

Defecto de la pista de deslizamiento externa $F = \frac{D_i}{D_i+D_o} \times M \times rpm$

Donde:
D_i = diámetro de la pista de deslizamiento interna
D_o = diámetro de la pista de deslizamiento externa
D_b = diámetro de la bola
M = cantidad de bolas en el rodamiento
rpm = velocidad de rotación del eje
F = frecuencia del defecto en cpm

Para detectar que tipo de fallo existe se ha de obtener la frecuencia a la que la amplitud es mayor y comparar con las calculadas según las fórmulas dadas en la figura 18.

Cuando esta es la causa de la vibración es importantísimo conocer el valor de *spike energy*, con este parámetro se puede intuir la gravedad del problema. La gráfica que representa g-frecuencia indica que la vibración del rodamiento a alta frecuencia es inestable y generada al azar.

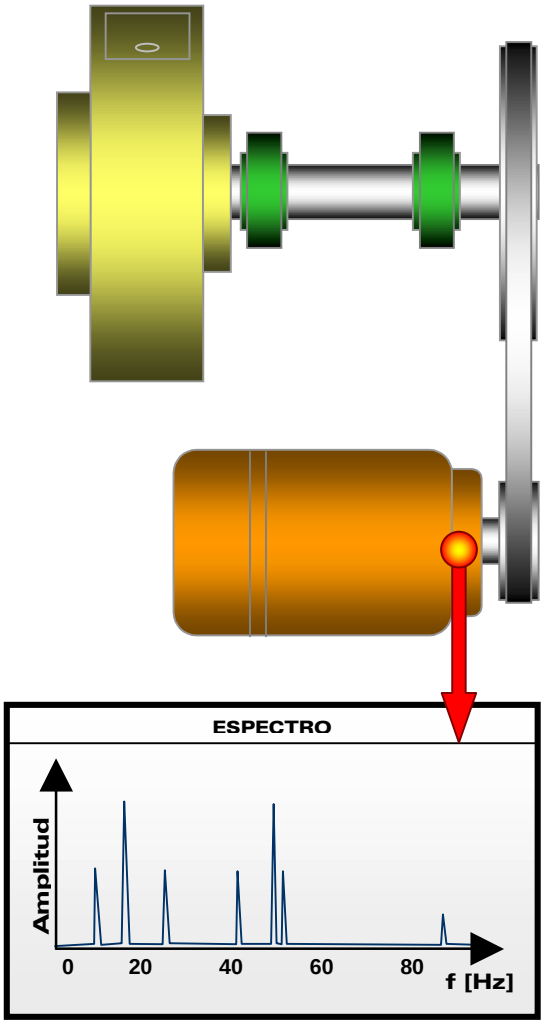
Así el estado de la máquina se identifica según la siguiente tabla:

	Nivel de vibración			
Estado máquina	Desplazamiento	Velocidad	Aceleración	*Spike energy*
Buenas condiciones	Normal	Normal	Normal	Normal
Rodamiento defectuoso Funcionamiento	Normal	Normal	Normal	Alto
Rodamiento defectuoso Funcionamiento	Normal	Normal	Alto	Alto
Problemas Analizar, parar	Normal	Alto	Alto	Alto
Problemas Analizar, parar	Alto	Alto	Alto	Alto

El fallo de un rodamiento se detecta sólo en la medida realizada en él, es decir, no se transmitirá al resto de los puntos de la máquina. Exteriormente el rodamiento defectuoso se notará por el exceso de ruido.

Los rodamientos son elementos importantes en la máquina y cuyo fallo puede dar problemas más graves, por eso es necesario tener un especial cuidado con ellos. Pueden fallar por errores en el montaje, lubricación inadecuada, defectos internos en la fabricación, corriente eléctrica, desalineación, rodamiento no preparado para la carga que soporta. Estas son las causas más comunes de fallo.
Por tanto, el análisis de vibraciones es una técnica, que aunque no exacta, es capaz de encontrar fallos en máquinas, anticipándose a la avería. Las ventajas de realizar este tipo de mantenimiento son la desaparición de fallos repentinos en los equipos estudiados, conocimiento del estado de la máquina en cada momento. Así se disminuyen los costes económicos por reparaciones imprevistas, paro en el proceso de producción, cambios de elementos que todavía pueden seguir funcionando, aumento de la eficiencia y disminución de costes de una parada, además de todo esto, ayuda a mejorar el mantenimiento preventivo a realizar en la fábrica. Detrás de todo esto las ventajas que ofrece este estudio son sobre todo de tipo económico, de seguridad frente a averías repentinas.

A-MAQ
ANÁLISIS DE MAQUINARIA



TUTORIAL DE VIBRACIONES PARA MANTENIMIENTO MECÁNICO

REALIZADO POR A-MAQ S.A.
ANÁLISIS DE MAQUINARIA

ENERO 2005

Visítenos en www.a-maq.com

TABLA DE CONTENIDO

MEMORIAS DEL SEMINARIO DE VIBRACIONES REALIZADO POR A-MAQ S.A: 1
TABLA DE CONTENIDO 2
INTRODUCCIÓN: 3
GLOSARIO DE TÉRMINOS UTILIZADOS EN ANÁLISIS DE VIBRACIONES: 4
HISTORIA DEL MANTENIMIENTO: 9
CONCEPTOS BÁSICOS: 10
CATEGORÍAS DE PATOLOGÍAS CLASIFICADAS: 17
DESPLAZAMIENTO, VELOCIDAD Y ACELERACIÓN DE VIBRACIÓN 36
ALARMAS DE NIVEL Y TENDENCIA: 38

INTRODUCCIÓN:

Este seminario es presentado por A-MAQ S.A. con el propósito de mostrar en forma didáctica y sencilla, una introducción al mundo de las vibraciones aplicadas al diagnóstico de fallas. El tutorial va dirigido a personal de mantenimiento y de producción, y en general a toda persona que le interese explorar el amplio campo de las vibraciones.

El mantenimiento todos los días está evolucionando, y con él, también se ha incrementado el uso de los instrumentos electrónicos de medición. Ahora vemos que empresas industriales de toda envergadura, están complementando su visión de realizar mantenimientos correctivos y preventivos para asegurar disponibilidad, con un mantenimiento proactivo que alberga conceptos relativamente nuevos tales como confiabilidad (mantenimiento predictivo), mantenimiento basado en condición, aseguramiento de la calidad del mantenimiento. Finalmente, la disponibilidad aumenta, las intervenciones disminuyen y el cumplimiento de los compromisos de producción queda asegurado. El Recurso Humano Proactivo es la clave y la Tecnología es la principal herramienta de esta gestión.

GLOSARIO DE TÉRMINOS UTILIZADOS EN ANÁLISIS DE VIBRACIONES:

A

Aceleración: Razón de cambio de la velocidad respecto al tiempo.
Acelerómetro: Sensor y transductor cuya entrada es la amplitud de aceleración y tiene una salida de voltaje de baja impedancia.
Alineación: Posición en la cual las líneas centro de dos ejes deben ser lo mas colineales posible, durante el tiempo de operación normal de la máquina.
Amplitud: Es el máximo valor que presenta una onda sinusoidal.
Análisis Espectral: Es la interpretación que se le hace a un espectro para determinar el significado físico de lo que pasa en una máquina.
Armónico: Son frecuencias de vibración que son múltiples integrales de una frecuencia fundamental específica.
Armónico Fraccionario: Armónicos que se encuentran entre los armónicos principales y son fracciones de la frecuencia fundamental.
Axial: Posición del sensor que va en el sentido de la línea del eje.

B

Backlash: Juego que presentan dos elementos móviles conectados que han tenido mal montaje y presentan desgaste.
Balanceo: Procedimiento por medio del cual se trata de hacer coincidir el centro de masa de un rotor con su centro de rotación, de manera que se pueda eliminar el mayor número de fuerzas inerciales.
Bandeamiento Lateral: Son líneas espectrales que aparecen espaciadas a igual frecuencia, alrededor de una línea central. Esta es la mezcla de dos señales, en la cual la línea central pertenece a una y las líneas laterales pertenecen a la otra.

C

Centro de Gravedad: Es la representación de la masa de un cuerpo en un punto.
Ciclo: Es un rango de valores en los cuales un fenómeno periódico se repite.

D

Decibel: Unidad logarítmica de amplitud medida (muy usada en vibraciones y acústica).
Desplazamiento: Cambio de posición de un objeto o partícula de acuerdo a una sistema de referencia.
Diagnóstico: Proceso por medio del cual se juzga el estado de una máquina.
Dominio de la Frecuencia: Es la representación gráfica de la vibración en la cual se enfrentan Amplitud vs. Frecuencia.
Dominio del Tiempo: Es la representación gráfica de una señal de vibración en la cual se enfrentan Amplitud vs. Tiempo.

E

Entrehierro: Espacio de aire comprendido entre el **Estator** y el **Rotor** de un motor eléctrico.
Espectro: Sinónimo de dominio de la frecuencia.
Excentricidad: Variación del centro de rotación del eje con respecto al centro geométrico del rotor.

F

Factor de Servicio: Factor que corrige niveles normalizados, para máquinas que se encuentran a condiciones especiales de operación.
Fase: Es un retardo en el tiempo de dos señales, expresado en grados de rotación.
Fatiga: Tendencia de un material a romperse bajo deflexiones repetidas.
Frecuencia: Es el recíproco del período y significa número de oscilaciones completas por unidad de tiempo.
Frecuencia de Engrane (GMF Gear Mesh Frecuency): Es la velocidad nominal del engranaje multiplicado por el número de dientes. La GMF es igual para piñón y engranaje.
Frecuencia de falla de Jaula (FC): Es la frecuencia de un rodamiento que se excita cuando se presenta deterioro en su jaula.
Frecuencia de falla de Elemento Rodante (FB): Es la frecuencia de un rodamiento que se excita cuando se presenta un daño en algún elemento rodante.
Frecuencia de falla de Pista Externa (FO): Es la frecuencia de un rodamiento que se excita cuando se presenta un daño en la pista externa.

Frecuencia de falla de Pista Interna (FI): Es la frecuencia de un rodamiento que se excita cuando se presenta un daño en la pista interna.
Frecuencia de Línea (FL): Es la frecuencia eléctrica de alimentación del motor. En América son 60 Hz y en Europa son 50 Hz.
Frecuencia Natural (Fn): Es la frecuencia que presenta cada componente por su propia naturaleza y características. Esta frecuencia oscilará si es excitada por agente externo que opere a una frecuencia muy cercana.
Frecuencia de Paso de Aspas (BPF): Es el número de aspas o paletas de una bomba o ventilador por su velocidad de rotación.

G

G: Unidades de aceleración de la gravedad. Equivale a 9800 mm/s^2 y a 32.2 pie/s^2.

H

Horizontal: Generalmente es la posición que se le da al sensor, que va perpendicular al sentido de la gravedad.
Hz: Unidad mas común de la frecuencia. Equivale a ciclos por segundo.

M

Masa Equilibrante: Masa utilizada en balanceo, para contrarrestar la masa desbalanceadora.
Micra: Medida de longitud o distancia. Equivale a la milésima parte de un milímetro.
Mil: Medida de longitud o distancia. Equivale a una milésima de pulgada.

O

Onda en el tiempo: Es la representación instantánea de una señal dinámica con respecto al tiempo.
Orden: Es otra de las unidades de frecuencia, utilizadas para maquinaria rotativa. Una orden es equivalente a la velocidad nominal de la máquina.

P

Período: Es el tiempo necesario para que ocurra una oscilación o se complete un ciclo. Generalmente está dada en minutos y segundos.
Pico: Cada una de las líneas que componen el espectro.
Pulsación: Elevación y caída en la amplitud de vibración causada por dos fuentes de vibración que están a frecuencias muy cercanas.

R

Radial: Posición del sensor que va perpendicular a la línea del eje.
Resonancia: Se presenta cuando la frecuencia natural de un componente es excitada por un agente externo. La amplitud de vibración de la máquina se incrementará enormemente causando perjuicios a todos sus componentes.
Rotor Flexible: Son rotores que giran muy cerca o por encima de su primera velocidad crítica. Por sus condiciones de operación presentan una deformación significativa.
Rotor Rígido: Rotor que no se deforma significativamente cuando opera a su velocidad nominal.
RPM: Otra de las unidades de frecuencia. Equivale al número de ciclos por minuto que presenta la máquina.
RPS: Otra de las unidades de frecuencia. Equivale a 1 Hz (ciclos por segundo).
Ruido: Es información de la señal que no representa alguna importancia. Representa contaminación de la señal.
Ruido de Piso o Blanco: Es el límite mas bajo de sensibilidad de un instrumento de medición electrónico, expresado en micro-voltios (10^{-6} V). Se localiza a través de todo el espectro.
Ruido Rosa: Es el ruido que se localiza en un rango especial del espectro.

S

Sensor: Es un dispositivo de medición que transforma una variable física en una señal eléctrica. En nuestro caso pasa de una señal física de vibración y la convierte en una señal eléctrica.
Señal: Es toda información de magnitud física variable que se convierte a magnitud eléctrica mediante un transductor.
Shock: Es un impacto que tiene como resultado la generación de un pulso.
Subarmónicos: Son frecuencias que se encuentran a una fracción fija de una frecuencia fundamental, como la velocidad nominal de la máquina.

T

Transformada Rápida de Fourier (FFT): Es una técnica para calcular por medio de un computador la frecuencia de las series que conforman la onda en el dominio del tiempo.

V

Vector: Es una cantidad dotada de magnitud y dirección.
Velocidad: Razón de cambio del desplazamiento respecto al tiempo.
Velocidad Nominal: Velocidad de entrada de una máquina.
Vertical: Posición que se le da al sensor, que va en el sentido de la aceleración de la gravedad.
Vibración: Es un movimiento oscilatorio.
Vibración Aleatoria: Frecuencias que no cumplen con patrones especiales que se repiten.

HISTORIA DEL MANTENIMIENTO:

2005	**PROACTIVIDAD CON OBTENCIÓN DE LOGROS PROYECTABLES Y VERIFICABLES:** **ESTRATEGIAS PARA LA PROACTIVIDAD + HERRAMIENTAS PARA LA PROACTIVIDAD = ACCION PROACTIVA**
1990	**GERENCIA DE LA CALIDAD TOTAL** Mantenimiento integrado a las estrategias gerenciales de calidad.
	MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD Modelos estadísticos para estimar la próxima falla.
1975	**TPM**
	MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIÓN Vibraciones, termografía y aceites.
1970	**ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD** La calidad como control para mantenimiento.
	MANTENIMIENTO ASISTIDO POR COMPUTADOR Predictivo con ayuda del PC.
1960	**MANTENIMIENTO PREDICTIVO:** Registros de las fallas de las Máquinas y Tendencias (Papel).
	MANTENIMIENTO PREVENTIVO PROGRAMADO
1950	**MANTENIMIENTO CORRECTIVO**

CONCEPTOS BÁSICOS:

¿QUÉ ES UNA VIBRACIÓN?

En términos muy simples una vibración es un movimiento oscilatorio de pequeña amplitud.
Todos los cuerpos presentan una señal de vibración en la cual plasman cada una de sus características. De acuerdo a esto, las máquinas presentan su propia señal de vibración y en ella se encuentra la información de cada uno de sus componentes. Por tanto, una señal de vibración capturada de una máquina significa la suma vectorial de la vibración de cada uno de sus componentes.

VIBRACIÓN SIMPLE:

La base principal de las señales de vibración en el dominio del tiempo son las ondas sinusoidales. Estas son las más simples y son la representación de las oscilaciones puras. Una oscilación pura puede ser representada físicamente con el siguiente experimento: Imagínese una masa suspendida de un resorte como el de la **figura 1a** . Si esta masa es soltada desde una distancia X_o, en condiciones ideales, se efectuará un movimiento armónico simple que tendrá una amplitud X_o. Ahora a la masa vibrante le adicionamos un lápiz y una hoja de papel en su parte posterior, de manera que pueda marcar su posición. Si jalamos el papel con velocidad constante hacia el lado izquierdo se formará una gráfica parecida a la **figura 1B.** El tiempo que tarda la masa para ir y regresar al punto X_o siempre es constante. Este tiempo recibe el nombre de **período de oscilación** (medido generalmente en seg o mseg) y significa que el resorte completó un ciclo.

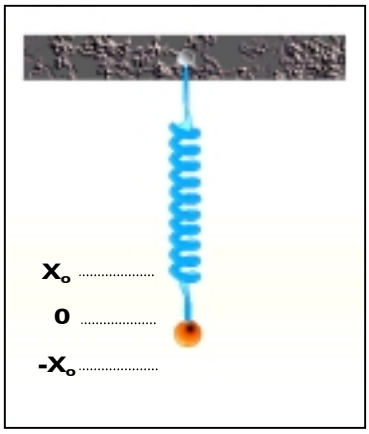
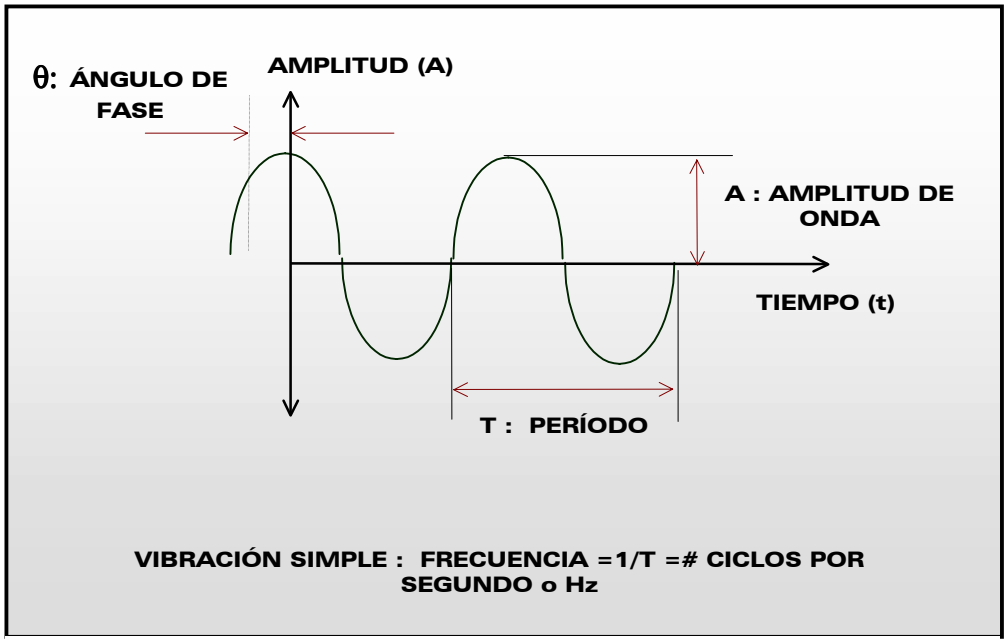


FIGURA 1a

El recíproco del período es la **frecuencia** (es decir F=1/P) la cual generalmente es dada en Hz (Ciclos por segundo) o también Ciclos por minuto (CPM). Estos conceptos pueden verse mas claramente en la **figura 2**.
De esta onda sinusoidal también es importante definir la amplitud y la fase.



FIGURA 1b



La amplitud desde el punto de vista de las vibraciones es cuanta cantidad de movimiento puede tener una masa desde una posición neutral. La amplitud se mide generalmente en valores pico-pico para desplazamiento y valores cero-pico y RMS para velocidad y aceleración (**Ver fig.3**).

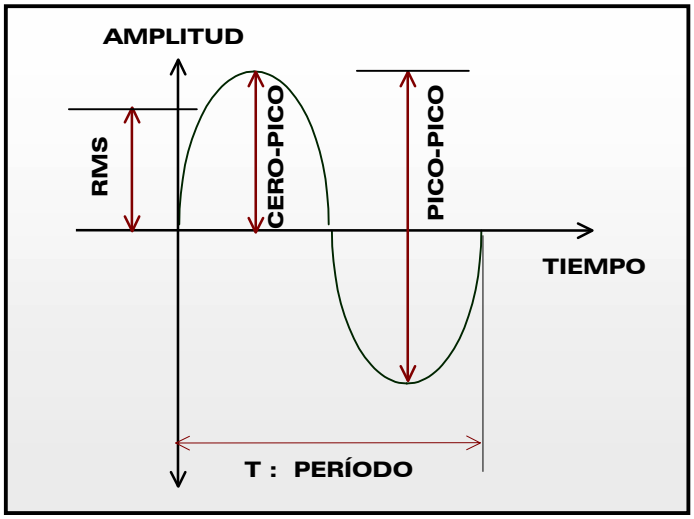


FIGURA 3

La fase realmente es una medida de tiempo entre la separación de dos señales, la cual puede ser relativa o absoluta. Generalmente es encontrada en grados. La **figura 4** muestra dos señales sinusoidales de igual amplitud y período, pero separadas 90 grados, lo cual indica que ambas curvas están desfasadas 90 grados.

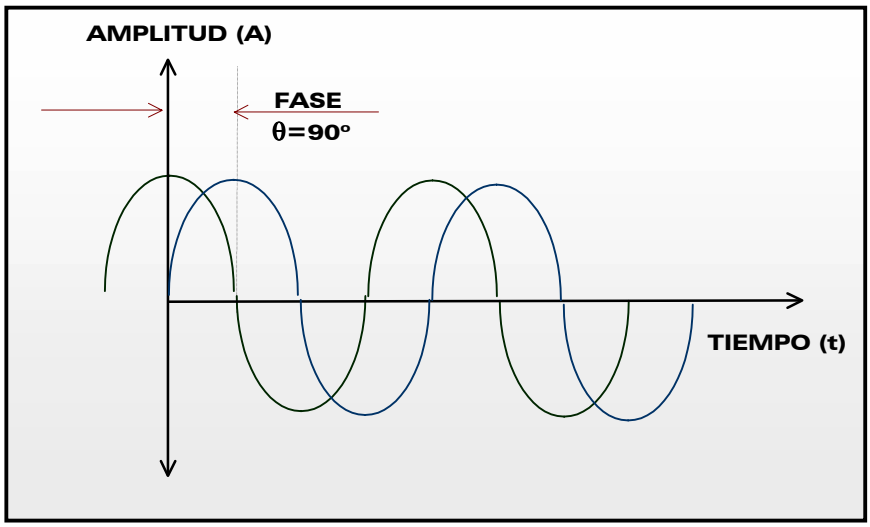


FIGURA 4

VIBRACIÓN COMPUESTA:

Una señal compuesta es una sumatoria de varias señales sinusoidales que comprenden cada uno de los componentes que se encuentran en la máquina, mas todos los golpeteos y vibraciones aleatorias. El resultado es una señal como la ilustrada en la figura 5.

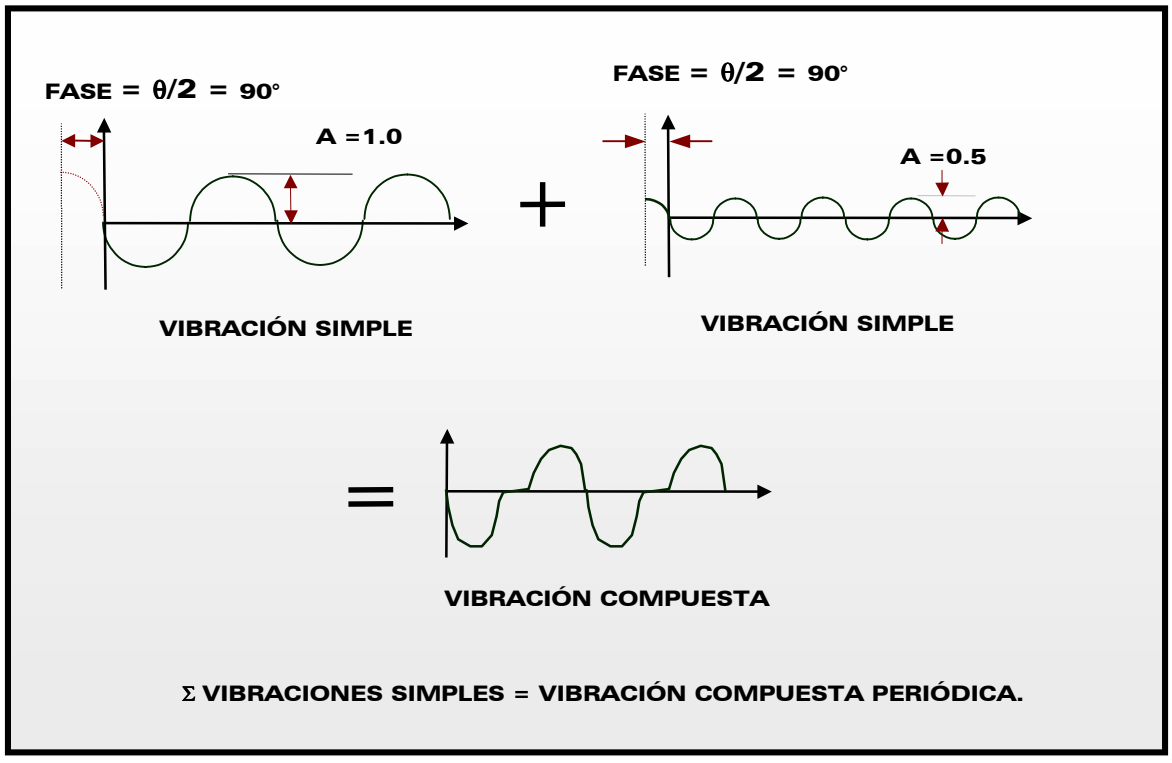


FIGURA 5

VIBRACIÓN ALEATORIA Y GOLPETEOS INTERMITENTES:

Además de las vibraciones simples, también existen otros tipos de vibraciones como son la vibración aleatoria y los golpeteos intermitentes. La vibración aleatoria no cumple con patrones especiales que se repiten constantemente o es demasiado difícil detectar donde comienza un ciclo y donde termina. Estas vibraciones están asociadas generalmente turbulencia en blowers y bombas, a problemas de lubricación y contacto metal-metal en elementos rodantes o a cavitación en bombas (**Ver Fig. 6a**). Este tipo de patrones es mejor interpretarlos en el espectro y no en la onda en el tiempo. Los golpeteos intermitentes están asociados a golpes continuos que crean una señal repetitiva. Estas se encuentran mas comúnmente en los engranajes, en el paso de las aspas de un impulsor o ventilador, etc. Este tipo de señales tiende a morir debido a la amortiguación del medio. En la **figura 6b** se muestra claramente este fenómeno: un golpe intermitente que se amortigua con el medio.

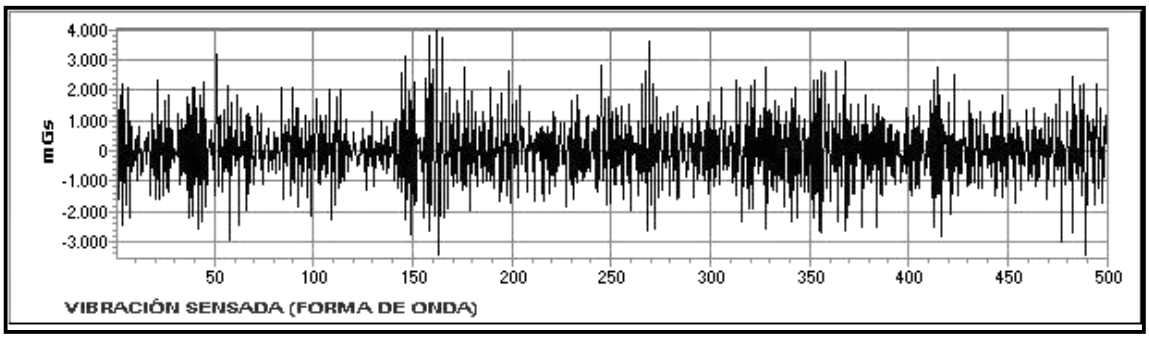


FIGURA 6a

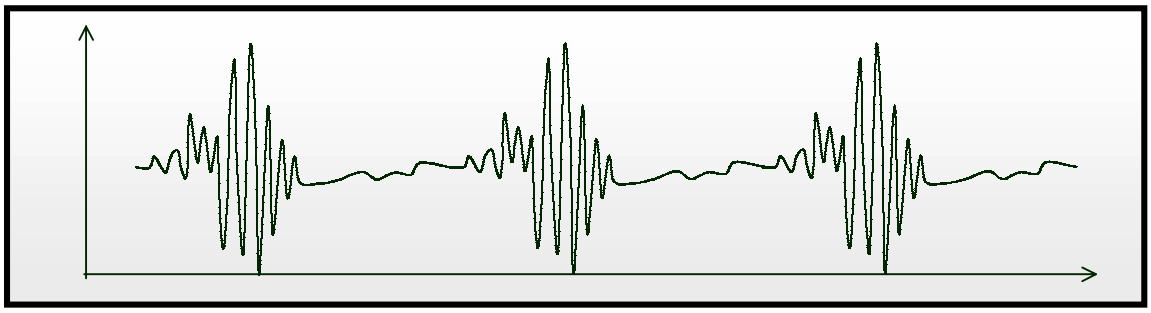


FIGURA 6b

TRANSFORMADA DE FOURIER:

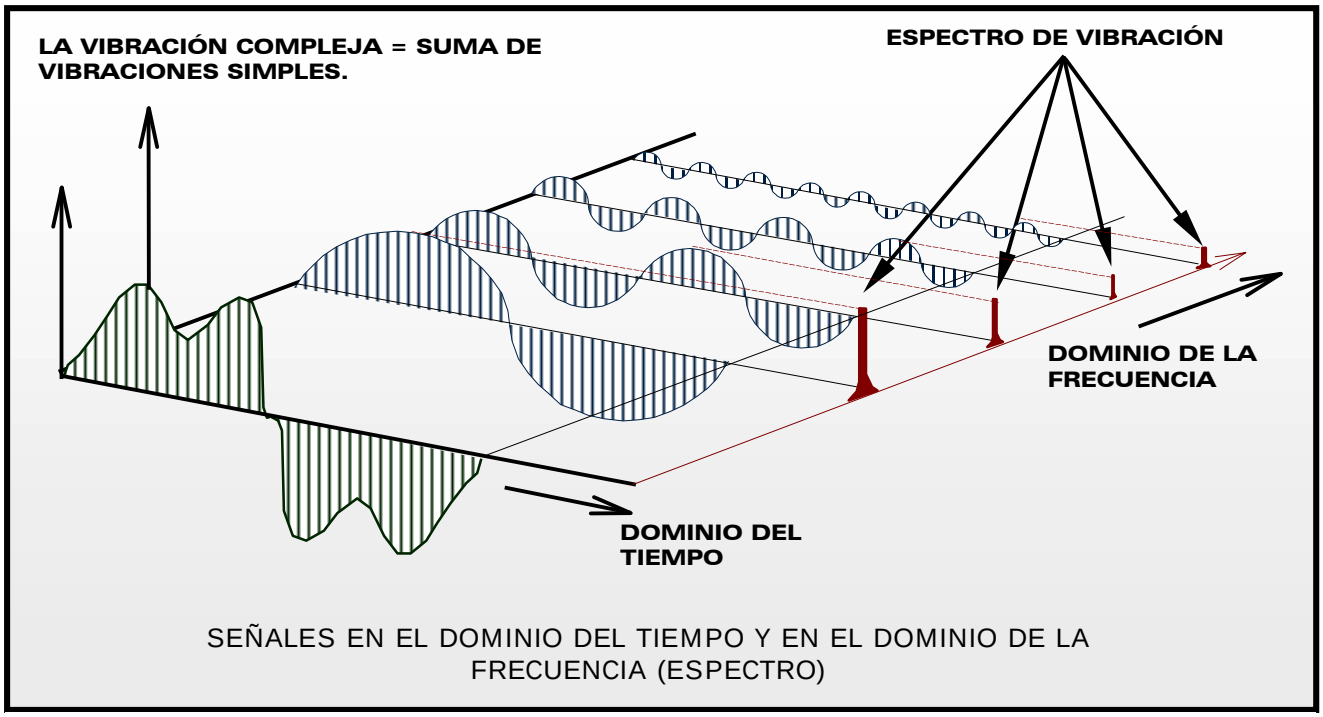
Hasta ahora sólo hemos visto vibraciones en el dominio del tiempo, que son señales directas de la máquina. Como ya dijimos antes, en estas señales se encuentra plasmada toda la información acerca del comportamiento de cada componente de la máquina. Pero hay un problema a la hora de realizar un diagnóstico: estas señales

están cargadas de mucha información en forma muy compleja, la cual comprende las señales características de cada componente de la máquina, por lo cual prácticamente queda imposible distinguir a simple vista sus comportamientos característicos.

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

Fue precisamente el matemático francés **Jean Baptiste Fourier** (1768 – 1830) quien encontró la forma de representar una señal compleja en el dominio del tiempo por medio de series de curvas sinusoidales con valores de amplitud y frecuencia específicos.

Entonces lo que hace un analizador de espectros que trabaja con la transformada rápida de Fourier es capturar una señal desde una máquina, luego calcula todas las series de señales sinusoidales que contiene la señal compleja y por último las muestra en forma individual en el eje X de la frecuencia. En la siguiente ilustración de tres dimensiones **(fig.7)** puede notarse claramente la señal compleja (en color verde), capturada desde una máquina. A dicha señal se le calculan todas las series de señales sinusoidales en el dominio del tiempo (vistas en azul) y por último se muestra cada una en el dominio de la frecuencia (vistas en rojo). La **figura 8** muestra una señal en el dominio del tiempo y su correspondiente en el dominio de la frecuencia.



SEÑALES EN EL DOMINIO DEL TIEMPO Y EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA (ESPECTRO)

FIGURA 7

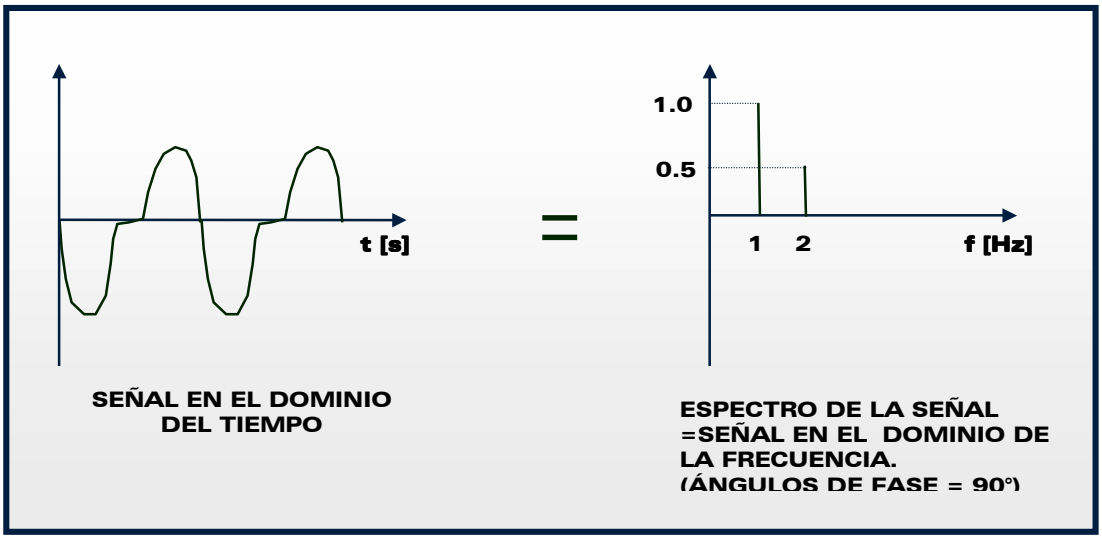


FIGURA 8

En el conjunto de **categorías clasificadas** se presentarán los espectros característicos de las fallas mas comunes. Estos espectros han sido el fruto de muchos estudios y se convierten en "recetas de cocina" que ayudan a descubrir los problemas que pueden suceder en una máquina, aunque en muchos casos es necesario realizar un análisis físico de la máquina.

FRECUENCIA NATURAL Y RESONANCIAS:

La **frecuencia natural** presenta un carácter muy diferente a las anteriormente nombradas, debido a que depende de las características estructurales de la máquina, tales como su masa, su rigidez y su amortiguación, incluyendo los soportes y tuberías adjuntas a ella. No depende de la operación de la máquina, a no ser que la rigidez sea función de la velocidad.

Si la frecuencia natural es excitada por un agente externo, la amplitud de vibración de la máquina se incrementará enormemente causando perjuicios que a corto o mediano plazo pueden llegar a ser catastróficos. Esto es lo que se conoce con el nombre de **resonancia**. Cuando una resonancia es detectada, es necesario identificar el agente externo que la está produciendo e inmediatamente debe aislarse estructuralmente o cambiar su velocidad de operación. La figura 8 muestra un motor que gira a una velocidad similar a la frecuencia natural de su estructura de soporte. Lo que incrementa abruptamente los niveles de vibración de la máquina.

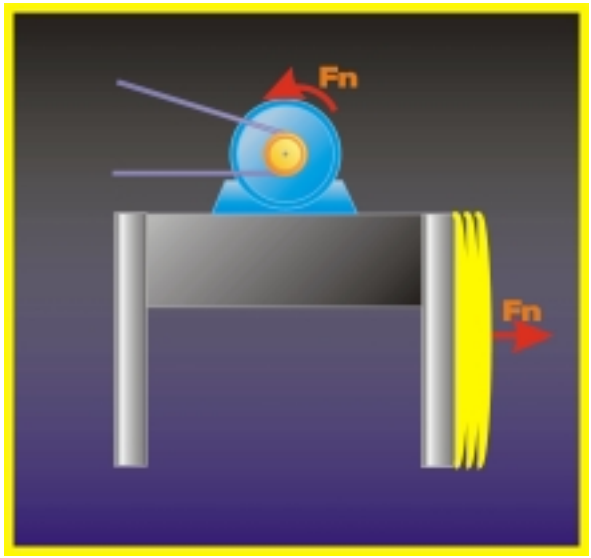
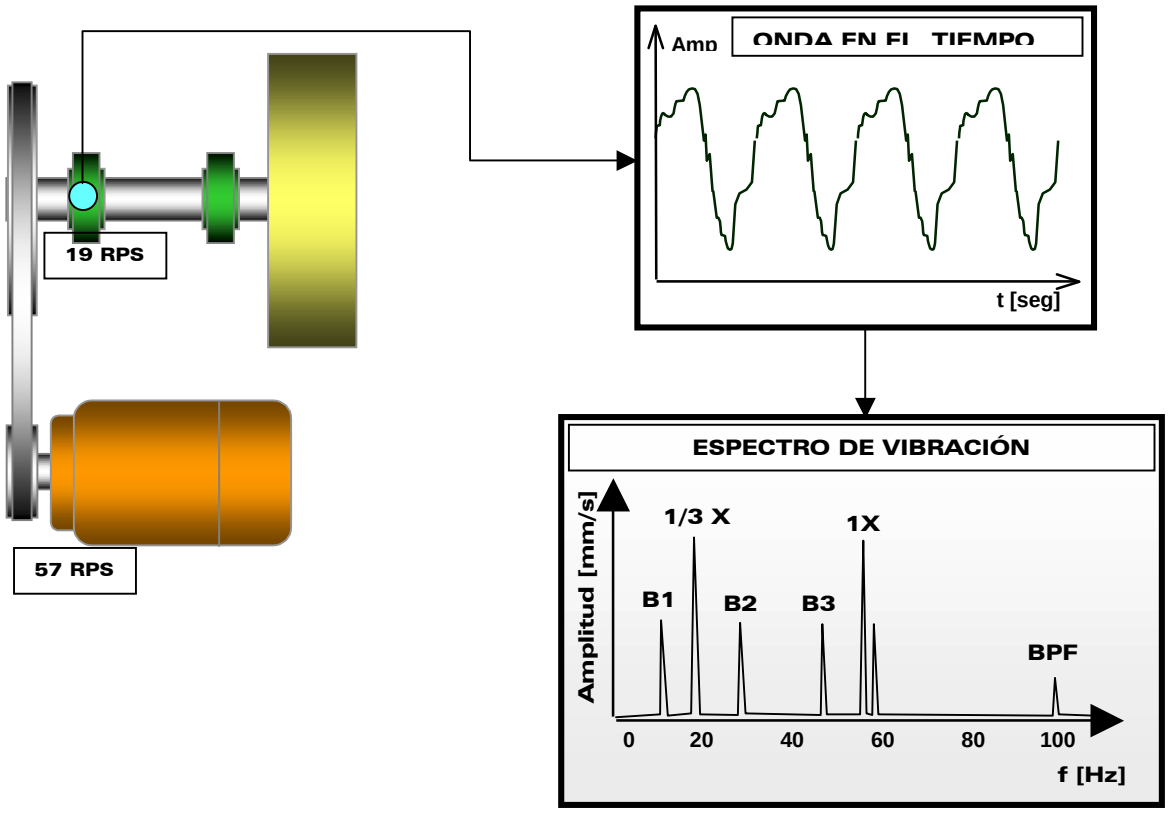


FIGURA 8

ANÁLISIS ESPECTRAL:

Cuando se mide una máquina, se genera una información muy valiosa que es necesario analizar. El éxito de este análisis depende de la correcta interpretación que se le de a los espectros capturados con respecto a las condiciones de operación en que se encuentra la máquina. A continuación se muestra un esquema de cómo sería la captura de la información desde una máquina para luego ser analizada.

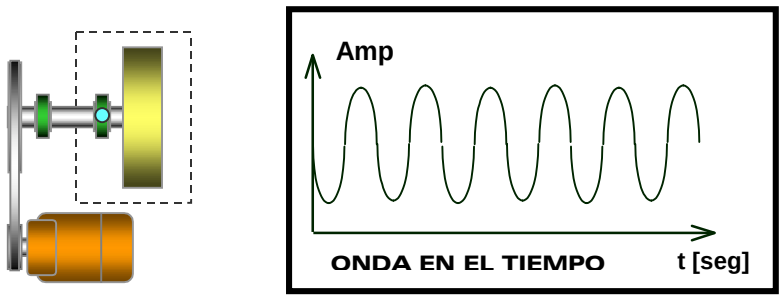


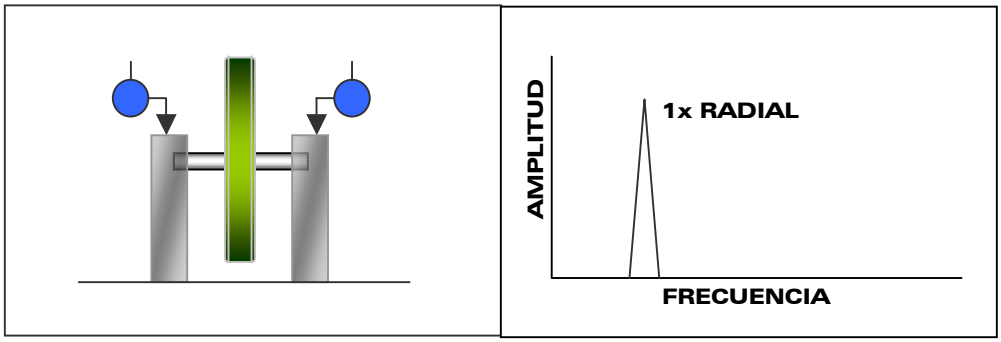
En la siguiente sección se encuentran los comportamientos espectrales característicos de la mayoría de patologías que puede presentar una máquina.

CATEGORÍAS DE PATOLOGÍAS CLASIFICADAS:

PATOLOGÍAS BÁSICAS:

1. DESBALANCEO:

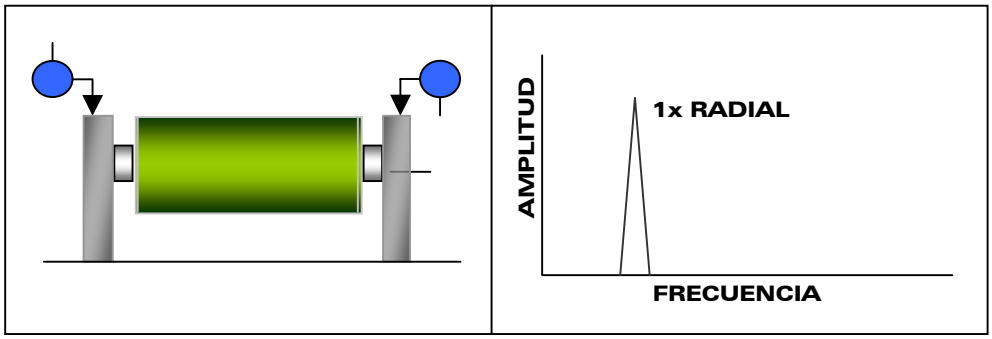




ESTÁTICO: Producido generalmente por desgaste radial superficial no uniforme en rotores en los cuales su largo es despreciable en comparación con su diámetro.

El espectro presenta vibración dominante con una frecuencia igual a 1 X RPS del rotor.

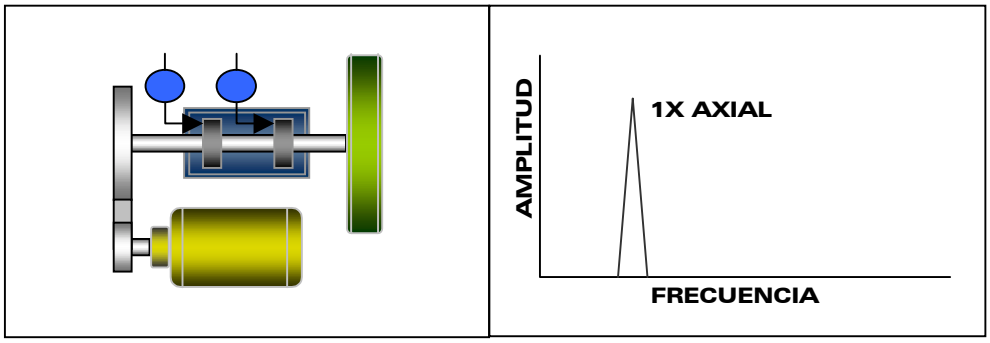
Se recomienda para corregir la falla balancear el rotor en un sólo plano (en el centro de gravedad del rotor) con la masa adecuada y en la posición angular calculada con un equipo de balanceo. Debe consultar a un experto en balanceo de máquinas.



DINÁMICO: El desbalanceo dinámico ocurre en rotores medianos y largos. Es debido principalmente a desgastes radiales y axiales simultáneos en la superficie del rotor.

El espectro presenta vibración dominante y vaivén simultáneo a frecuencia igual a 1 X RPS del rotor.

Se recomienda para corregir la falla balancear el rotor en DOS PLANOS con las masas adecuadas y en las posiciones angulares calculadas con un equipo de balanceo dinámico. Consulte a un experto en balanceo de rotores.

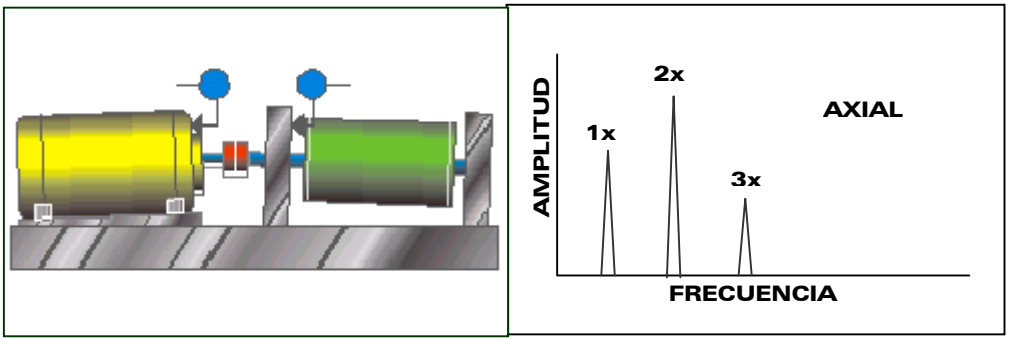


ROTOR COLGANTE: Ocurre en rotores que se encuentran en el extremo de un eje. Es producido por desgaste en la superficie del rotor y doblamiento del eje

El espectro presenta vibración dominante a 1X RPS del rotor, muy notoria en dirección AXIAL y RADIAL.

Para corregir la falla, primero debe verificarse que el rotor NO TENGA EXCENTRICIDAD NI QUE EL EJE ESTÉ DOBLADO. Luego debe realizarse el balanceo adecuado. Consulte a un experto en balanceo de máquinas.

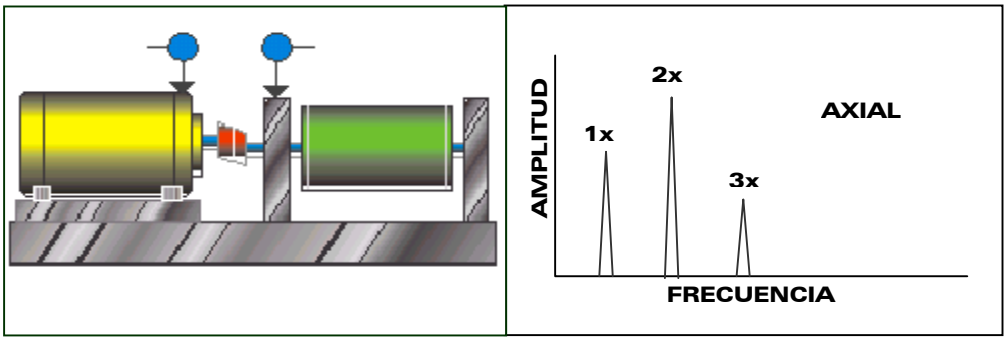
2. DESALINEACIÓN:



ANGULAR: Ocurre cuando el eje del motor y el eje conducido unidos en el acople, no son paralelos.

Caracterizado por altas vibraciones axiales. 1X RPS y 2X RPS son las más comunes, con desfase de 180 grados a través del acople. También se presenta 3X RPS. Estos síntomas también indican problemas en el acople.

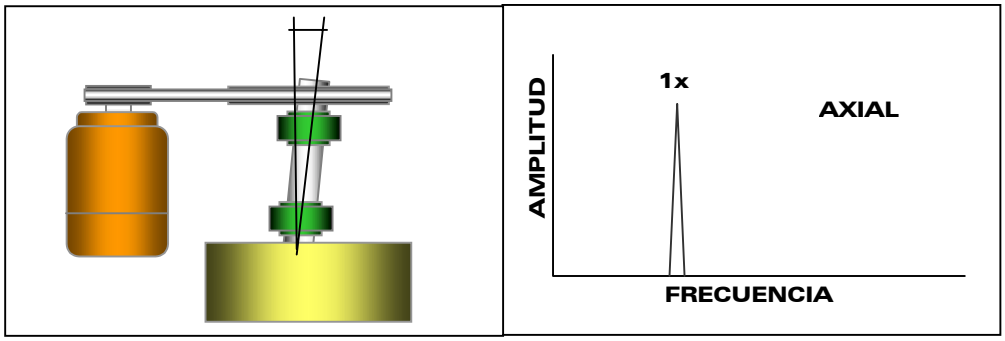
Para corregirlo, el conjunto motor-rotor deben alinearse. Debe emplearse un equipo de alineación adecuado.



PARALELA: Los ejes del motor y del rotor conducido están paralelos, pero no son colineales.

Se pueden detectar altas vibraciones radiales a 2X RPS, predominante, y a 1X RPS, con desfase de 180 grados a través del acople. Cuando aumenta la severidad, genera picos en armónicos superiores (4X , 8X).

Se debe alinear el conjunto para corregir el daño. Debe emplearse un equipo de alineación adecuado.

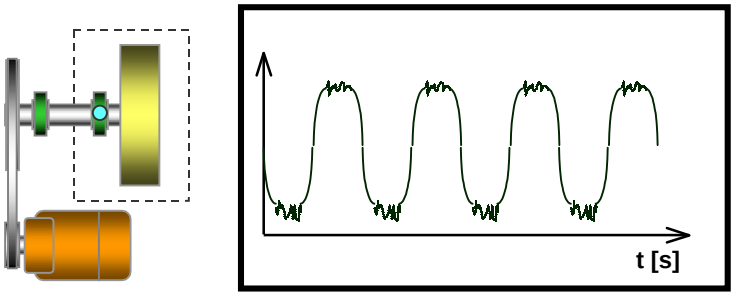


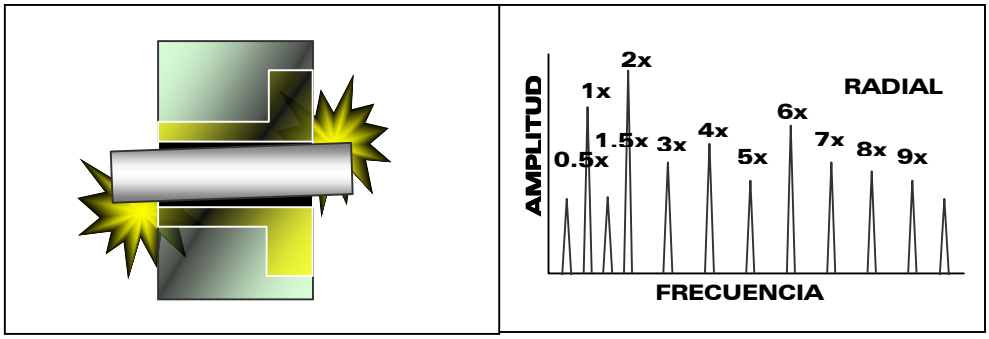
ENTRE CHUMACERAS: En una máquina con transmisión de poleas, la mala posición de las chumaceras puede evitar que el eje se acomode correctamente, lo cual genera vibraciones anormales en sentido axial y radial.

Excitación del pico representativo de la velocidad (1X RPS), especialmente en sentido axial.

Es necesario hacer una verificación de que las chumaceras queden completamente paralelas entre si.

3. HOLGURA MECÁNICA EJE-AGUJERO:



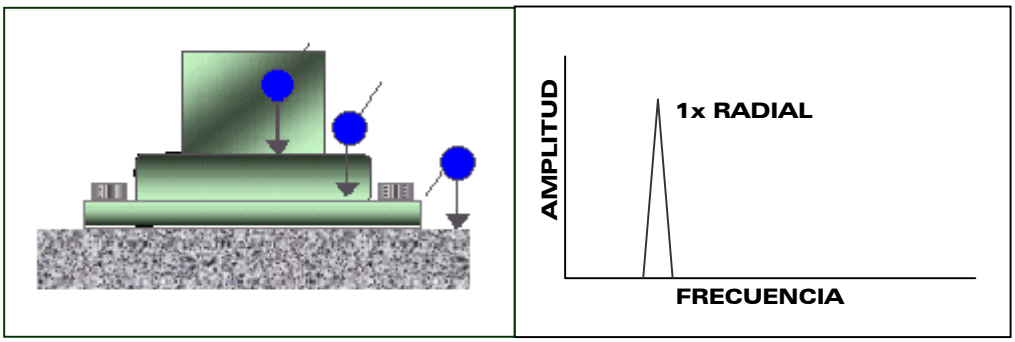


HOLGURA EJE-AGUJERO: Aflojamiento de manguitos, tolerancias de manufactura inadecuadas (con juego), y holgura entre el impulsor y su eje en bombas. Causa un truncamiento en la forma de onda en el dominio del tiempo.

La falla genera múltiples armónicos y subarmónicos de 1X RPS, destacándose los armónicos fraccionarios 1/2 X, 1/3 X, 1.5 X, 2.5 X, ... Frecuentemente la fase es inestable y el nivel máximo tiende a una dirección notable realizando lecturas radiales espaciadas 30 grados entre si.

Se recomienda verificar la colocación de los manguitos y los juegos eje-agujero cercanos al punto de medición. Igualmente, los ajustes de rotor-eje.

4. SOLTURA ESTRUCTURAL:

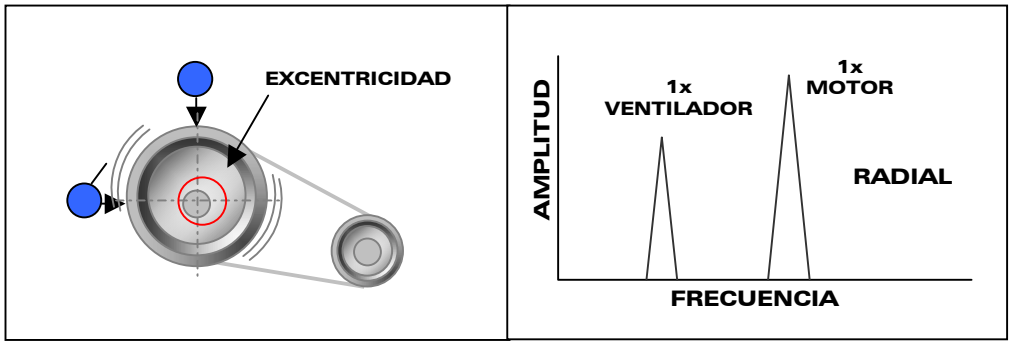


SOLTURA ESTRUCTURAL: Ablandamiento o desplazamiento del pié de la máquina, por holgura en los pernos de la base o por deterioro de los componentes de la sujeción.

El espectro presenta vibración a 1X RPS en la base de la máquina con desfase a 180 grados entre los elementos sujetados en el anclaje. Altamente direccional en la dirección de la sujeción.

Se recomienda primero revisar el estado de fatiga del pié de máquina (rajaduras, corrosión). Luego debe verificarse el estado de los sujetadores y por último el estado de la cimentación.

5. EXCENTRICIDAD

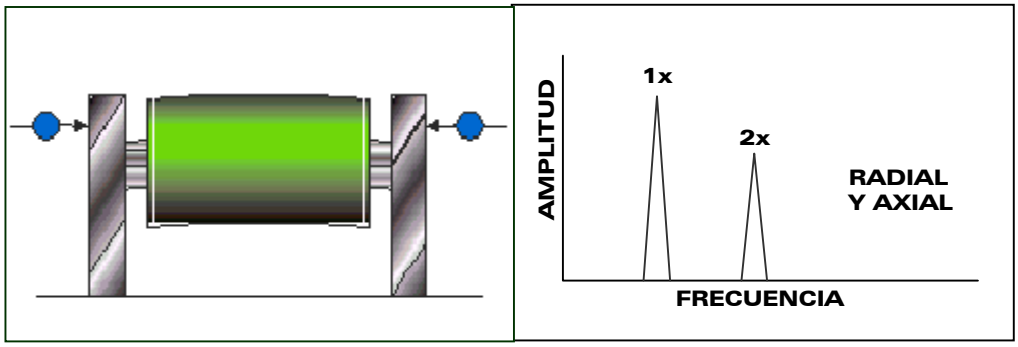


ROTOR EXCÉNTRICO: Fácilmente confundible con desbalanceo. Ocurre cuando el centro de rotación no coincide con el centro geométrico en una polea o engranaje.

La mayor vibración ocurre a 1 X RPS del elemento con excentricidad, en dirección de la línea que cruza por los centros de los dos rotores.

Para corregir la falla, el rotor debe ser reensamblado o reemplazado. (Tratar de balancear el rotor excéntrico resulta en una disminución del nivel de vibración, en una dirección, y un aumento considerable en la otra).

6. ROTOR O EJE PANDEADO:

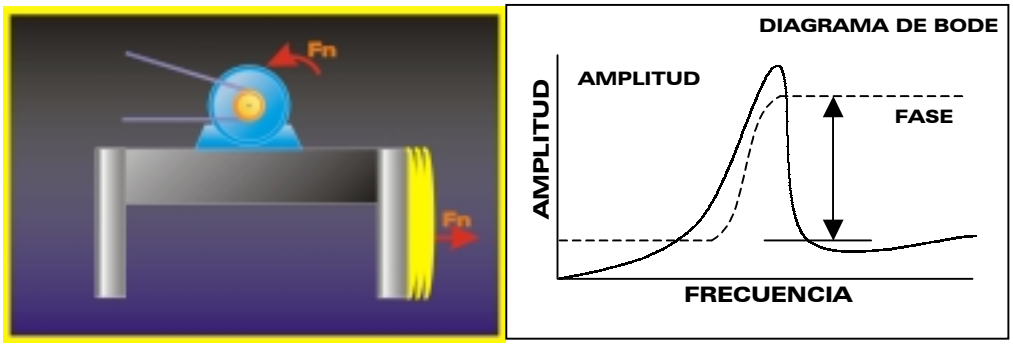


PANDEO: Más común en ejes largos. Se produce por esfuerzos excesivos en el eje.

Genera Vibración AXIAL alta con diferencia de fase de 180 grados medida en los dos soportes del rotor. La vibración dominante es de 1X RPS si el pandeo está cercano al centro del eje, y es de 2X RPS si el pandeo está cerca del rodamiento.

Para corregir la falla, el eje debe rectificarse o cambiarse.

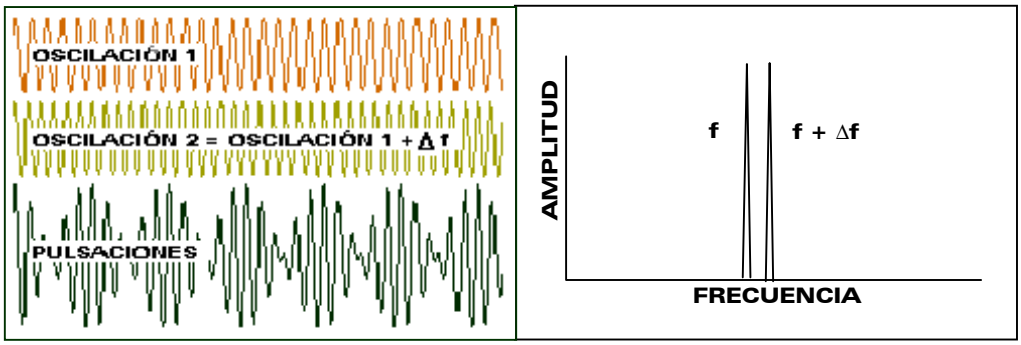
7. RESONANCIAS Y PULSACIONES:



RESONANCIA: Ocurre cuando la velocidad de una fuerza conducida iguala la frecuencia natural de una estructura o una parte de ella.

Puede causar dramáticas amplificaciones de la amplitud lo que puede terminar en fallas prematuras y posiblemente catastróficas. Presenta un cambio de fase de 90º por resonancia y 180º cuando lo sobrepasa.

Se requieren cambios periódicos de localización de la frecuencia natural.

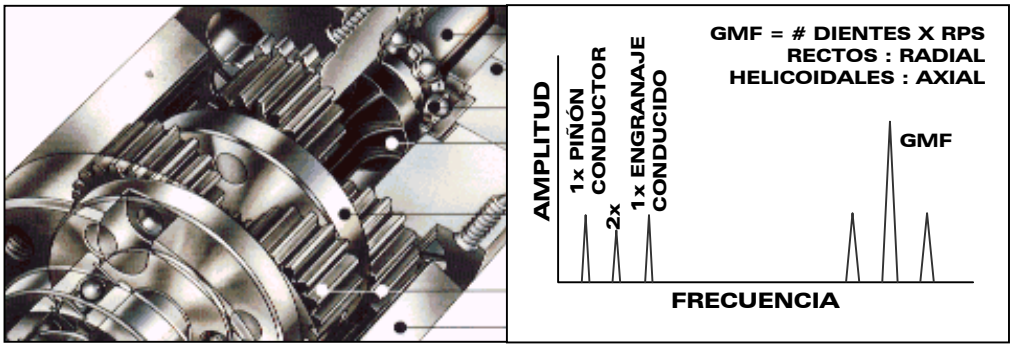


PULSACIONES: Sucede cuando una fuente de vibración interfiere con otra. Generalmente se produce por dos máquinas cercanas que trabajan casi a la misma velocidad.

El espectro muestra dos picos con frecuencias similares. La diferencia de estas da como resultado una pulsación. La ilustración izquierda representa estas frecuencias en el dominio del tiempo y la suma de ambas.

Para solucionar el problema se deben aislar estructuralmente las máquinas en conflicto.

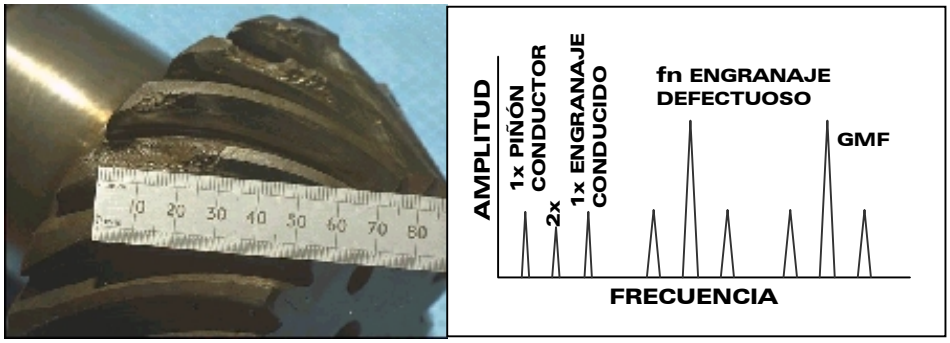
8. FALLAS EN ENGRANAJES:



ESTADO NORMAL: Espectro característico de un engranaje en estado normal (esta no es una patología).

Espectro característico del engrane : El espectro mostrará armónicos 1 X y 2 X RPS del piñón conductor y de la rueda conducida. Adicionalmente, mostrará bandas laterales alrededor de la Frecuencia de Engrane GMF (Gear Mesh Frecuency).

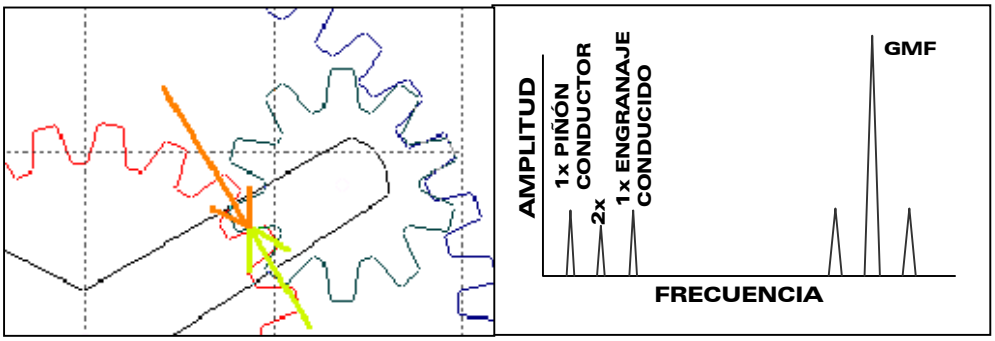
El engranaje se encuentra en buen estado si estos picos de vibración se encuentran en niveles relativamente bajos.



DESGASTE EN DIENTE: Ocurre por operación más allá del tiempo de vida del engranaje, contaminación de la grasa lubricante, elementos extraños circulando en la caja del engrane o montaje erróneo.

Su espectro se caracteriza por la aparición de bandeamiento lateral alrededor de la frecuencia natural de vibración (fn) del engrane defectuoso. El espaciamiento de las bandas laterales es 1 X RPS del engrane defectuoso. Si el desgaste es avanzado, hay sobreexcitación de la GMF.

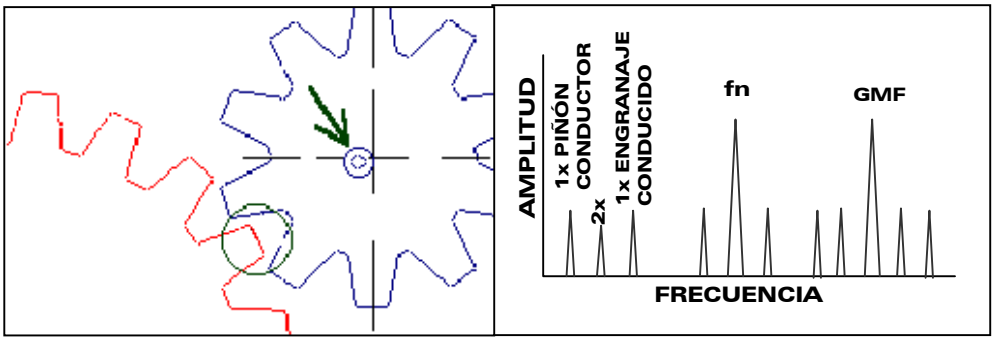
Para solucionar el problema debe cambiar o rectificar el engranaje (sólo si este no está sometido a grandes cargas y la urgencia lo amerita). Si el desgaste es prematuro inspeccione desalineación en el eje o excentricidad en el engranaje.



SOBRECARGA EN ENGRANE: Todos los dientes están recibiendo sobrecarga continúa.

La amplitud de la GMF es altamente excitada, pero esto no suele representar un problema si las bandas a su alrededor se mantienen bajas. Este análisis es efectivo si se realiza siempre a la máxima carga de operación de la máquina.

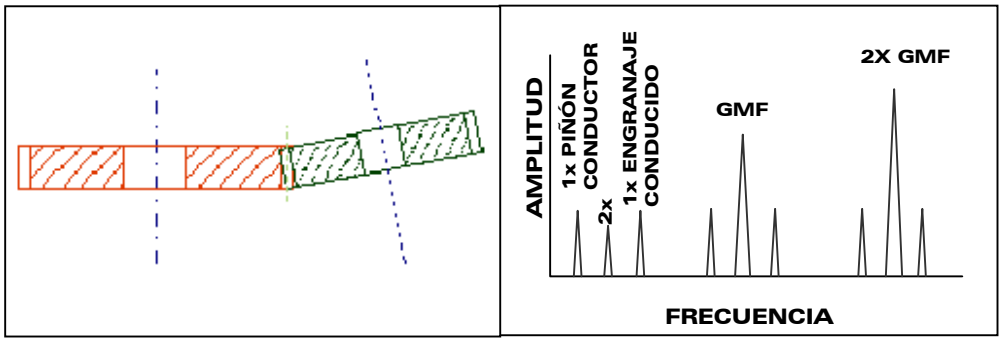
Debe buscarse algún elemento que esté aumentando el torque transmitido más allá de lo normal (rodamiento o buje defectuoso, fallas en lubricación y anomalías en general en el rotor conducido que dificulten el movimiento).



EXCENTRICIDAD Y/O BACKLASH: La excentricidad ocurre cuando el centro de simetría no coincide con el centro de rotación. El backlash se produce cuando, al terminar el contacto entre dos dientes, los dos siguientes no entran inmediatamente en contacto.

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

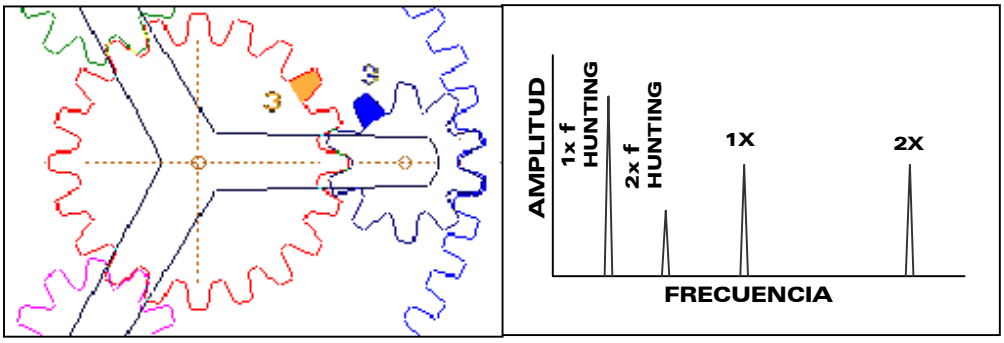
Para corregir el problema, el engranaje debe ser reensamblado o reemplazado si se encuentran problemas de manufactura.



ENGRANE DESALINEADO: Se presenta cuando las ruedas dentadas fueron ensambladas con errores de alineación o cuando sus ejes no están paralelos.

Casi siempre se excitan los armónicos de 2do o mayor orden de la GMF, con bandeamientos laterales a la 1 X RPS del piñón o la rueda. 2 X GMF y 3 X GMF dominan el espectro.

El conjunto debe ser realineado para corregir el problema.

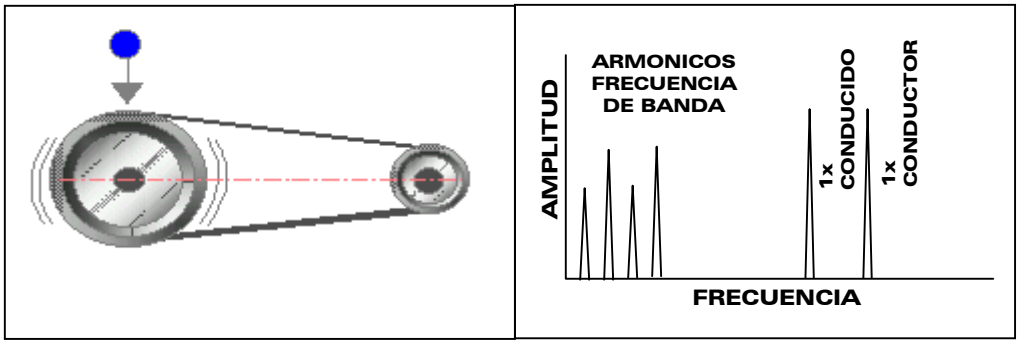


PROBLEMAS DE HUNTING: Problemas leves en la manufactura o manipulación indebida producen que, cuando dos dientes específicos del piñón y el engranaje conducido se encuentren, generen vibraciones de choque.

Esta falla genera altas vibraciones a bajas frecuencias por debajo de los 10 Hz. La máxima vibración ocurre cada 10 o 20 revoluciones del piñón dependiendo de la fórmula de fHT (y suele escucharse como un gruñido).

Si se determina que el problema es severo, deben reemplazarse el par de engranajes y debe tenerse más precaución en la manipulación.

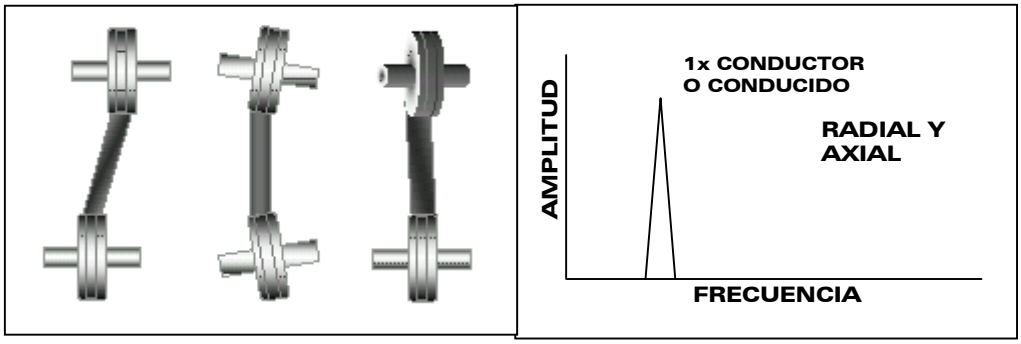
9. BANDAS:



DISTENSIÓN: Ocurre por sobrepaso de la vida útil de la banda, o por desgaste excesivo de la misma.

Las frecuencias de bandas siempre están por debajo de la frecuencia del motor o máquina conducida. Normalmente se encuentran cuatro picos y generalmente predomina el de 2x frecuencia de banda. Tienen amplitudes inestables.

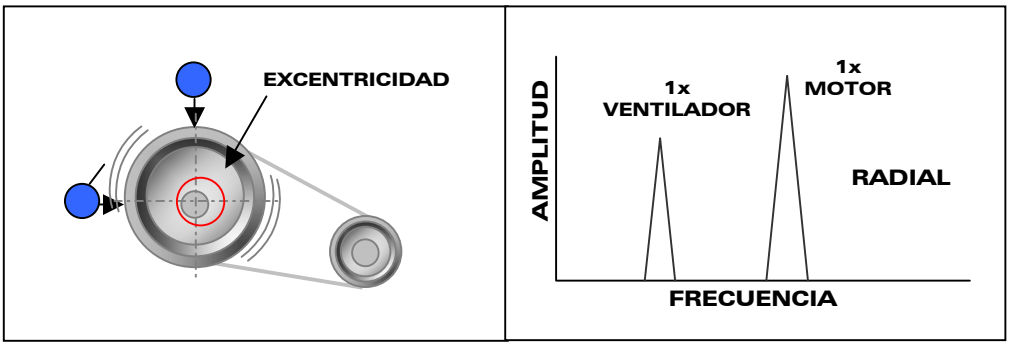
Para corregir el problema, si la banda no presenta demasiado desgaste intente tensionarla, de lo contrario reemplácela.



DESALINEACIÓN EN POLEAS: Puede ocurrir porque los ejes de las poleas no están alineados o porque las poleas no están paralelas. También pueden ocurrir ambos casos simultáneamente.

Produce alta vibración axial a 1x RPS de la conductora o la conducida, generalmente la conducida. La buena medida de las amplitudes de las vibraciones depende de donde sean tomados lo datos.

Para solucionar el problema deben alinearse las poleas tanto angular como

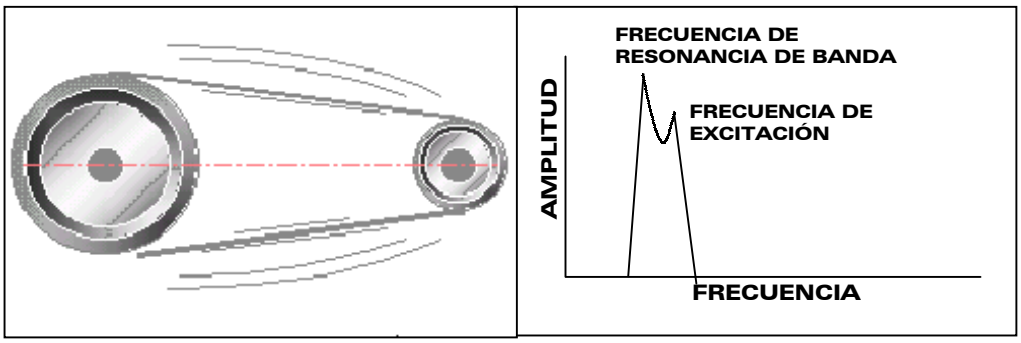


paralelamente.

EXCENTRICIDAD DE POLEAS: Ocurre cuando el centro de rotación no coincide con el centro geométrico en una polea.

Produce alta vibración a 1x RPS de la polea excéntrica. Su amplitud está por encima de las amplitudes de las frecuencias de las bandas.

Aunque es posible balancear poleas gracias a la adición de pesas, la excentricidad seguirá induciendo vibración y esfuerzos de fatiga reversible. Se recomienda cambiarse la polea excéntrica.

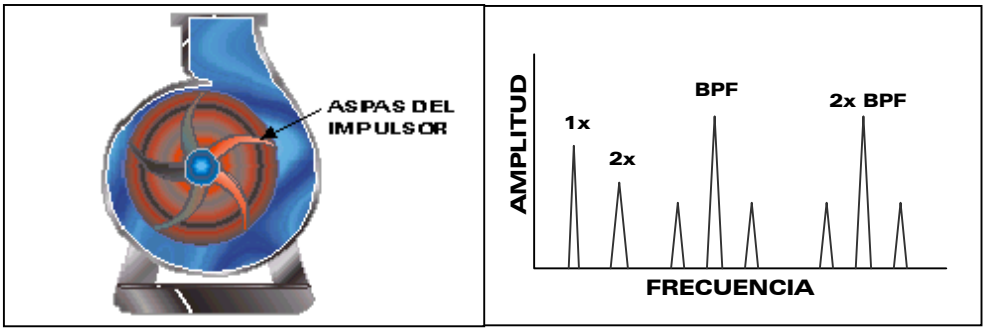


RESONANCIA BANDA: Sucede si la frecuencia natural de la banda coincide o se aproxima a las RPS del motor o de la máquina conducida.

El espectro muestra altas amplitudes de la frecuencia de resonancia y la frecuencia de excitación de banda, siendo la frecuencia de resonancia la predominante.

La frecuencia natural puede ser alterada cambiando la tensión de la banda o su longitud.

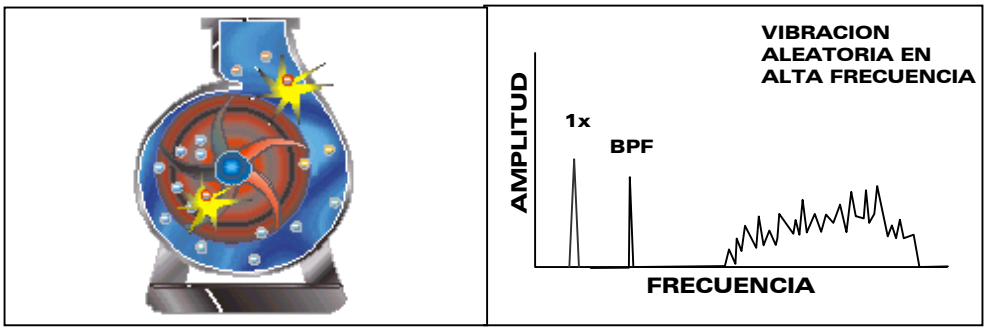
10. FLUJO DE LÍQUIDOS:



FRECUENCIA DE ASPAS (L): Frecuencia a la cual, cada aspa pasa por un punto de la carcaza. Producida por obstrucciones, cambios abruptos de direcciones o desgastes de juntas.

La BPF (frecuencia de paso de aspas) es excitada en sus primeros dos armónicos con bandeamientos laterales. La BFP es igual al número de aspas por la frecuencia. La BPF algunas veces coincide con la frecuencia natural lo cual causa altas vibraciones.

En caso de aumentos en la BFP deben revisarse cambios abruptos de dirección del fluido y posibles obstrucciones parciales en la descarga de la bomba.

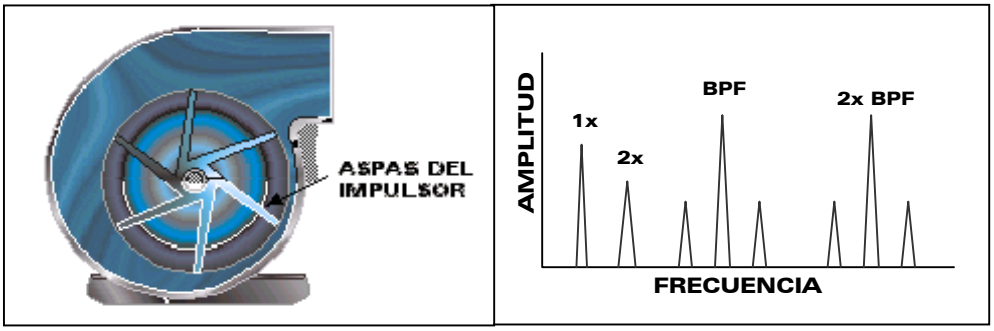


CAVITACIÓN: Es la entrada de aire o vaporización de un fluido dentro de la bomba. Ocurre cuando la presión de fluido es menor que la presión de vapor a esta temperatura. La cavitación causará erosión a las partes internas de la bomba.

El espectro muestra una vibración caótica que se presenta a altas frecuencias (del orden de 2000 Hz).

Para solucionar el problema debe controlarse con más rigor la presión de succión y tenerse cuidado con el proceso para cebar la bomba.

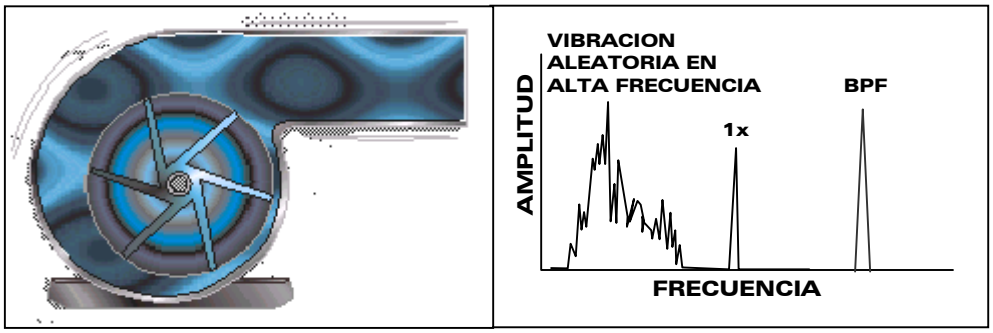
11. 13. FLUJO DE GASES:



FRECUENCIA DE ASPAS (G): Frecuencia a la cual, cada aspa pasa por un punto de la cubierta. Producida por obstrucciones o cambios abruptos de direcciones.

La BPF (frecuencia de paso de aspas) es excitada en sus primeros dos armónicos con bandeamientos laterales. La BFP es igual al número de aspas por la frecuencia. La BPF algunas veces coincide con la frecuencia natural lo cual causa altas vibraciones

En caso de aumentos en la BFP deben revisarse cambios abruptos de dirección del fluido y posibles obstrucciones parciales cerca del ventilador.

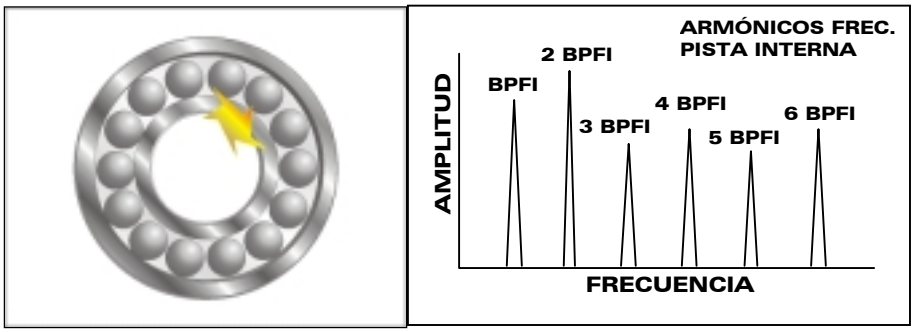


TURBULENCIA ANÓMALA (G): Se crea por las variaciones de velocidad o presión del aire pasando a través de un ventilador o red de ventilación.

El espectro muestra una vibración anómala a baja frecuencia que generalmente está entre 0.3 y 30 Hz, siempre por debajo de la velocidad nominal.

Debe revisarse la construcción y el ensamble de los ductos. Puede ser necesaria la instalación de rejillas o cambios de área o geometría de sección.

14. FALLAS EN RODAMIENTOS:

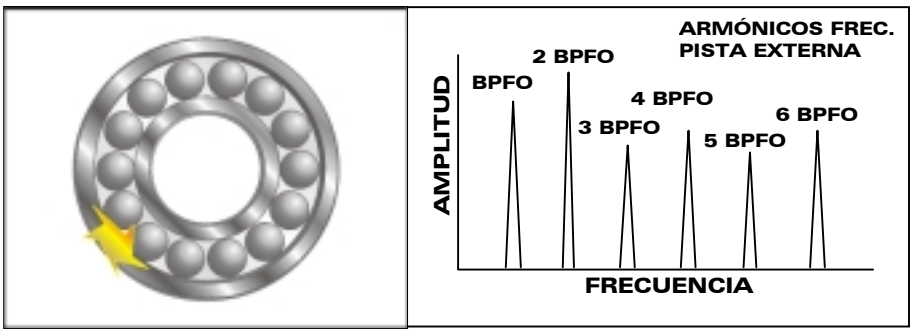


FALLA EN PISTA INTERNA: Agrietamiento o desastillamiento del material en la pista interna, producido por errores de ensamble, esfuerzos anormales, corrosión, partículas externas o lubricación deficiente.

Se produce una serie de armónicos siendo los picos predominantes 1X y 2X RPS la frecuencia de falla de la pista interna, en dirección radial. Además el contacto metal - metal entre los elementos rodantes y las pistas producen pulsos en el dominio del tiempo del orden de 1-10 KHz.

El rodamiento debe ser reemplazado, debido a que la falla seguirá incrementándose. Antes revise el estado de lubricación del rodamiento.

Nota: Generalmente la medida mas confiable es en dirección de la carga.

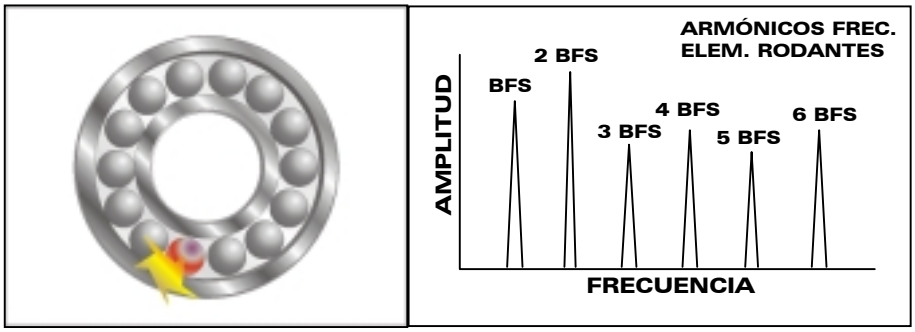


FALLA EN PISTA EXTERNA: Agrietamiento o desastillamiento del material en la pista externa, producido por errores de ensamble, esfuerzos anormales, corrosión, partículas externas o lubricación deficiente.

Se produce una serie de armónicos siendo los picos predominantes 1X y 2X RPS la frecuencia de falla de la pista externa, en dirección radial. Además el contacto metal - metal entre los elementos rodantes y las pistas producen pulsos en el dominio del tiempo del orden de 1-10 KHz

El rodamiento debe ser reemplazado, debido a que la falla seguirá incrementándose. Antes revise el estado de lubricación del rodamiento.

Nota: Generalmente la medida mas confiable es en dirección de la carga.

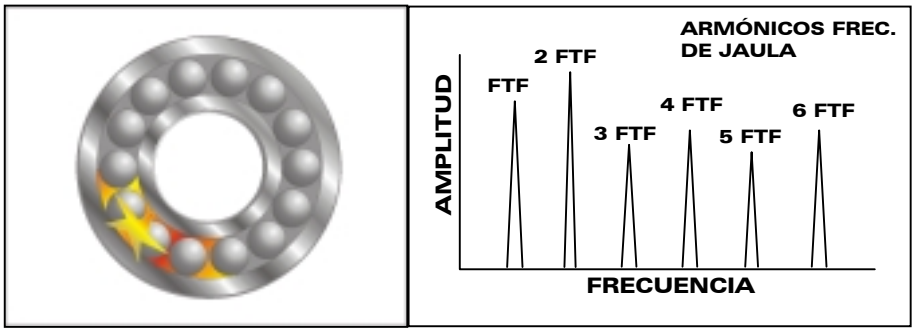


FALLA EN ELEMENTOS RODANTES: Agrietamiento o desastillamiento del material en los elementos rodantes, producido por errores de ensamble, esfuerzos anormales, corrosión, partículas externas o lubricación deficiente.

Se produce una serie de armónicos siendo los picos predominantes 1X y 2X RPS la frecuencia de falla de los elementos rodantes, en dirección radial. Además el contacto metal - metal entre los elementos rodantes y las pistas producen pulsos en el dominio del tiempo del orden de 1-10 KHz

El rodamiento debe ser reemplazado, debido a que la falla seguirá incrementándose. Antes revise el estado de lubricación del rodamiento.

Nota: Generalmente la medida mas confiable es en dirección de la carga.



DETERIORO DE JAULA: Deformación de la jaula, caja o cubierta que mantiene en su posición a los elementos rodantes.

Se produce una serie de armónicos de la frecuencia de la jaula siendo los picos predominantes 1X y 2X RPS de la frecuencia de falla en jaula, en dirección radial o axial.

El rodamiento debe ser reemplazado, debido a que la falla seguirá incrementándose. Revise la posible causa que está dando origen a la falla.

DESPLAZAMIENTO, VELOCIDAD Y ACELERACIÓN DE VIBRACIÓN

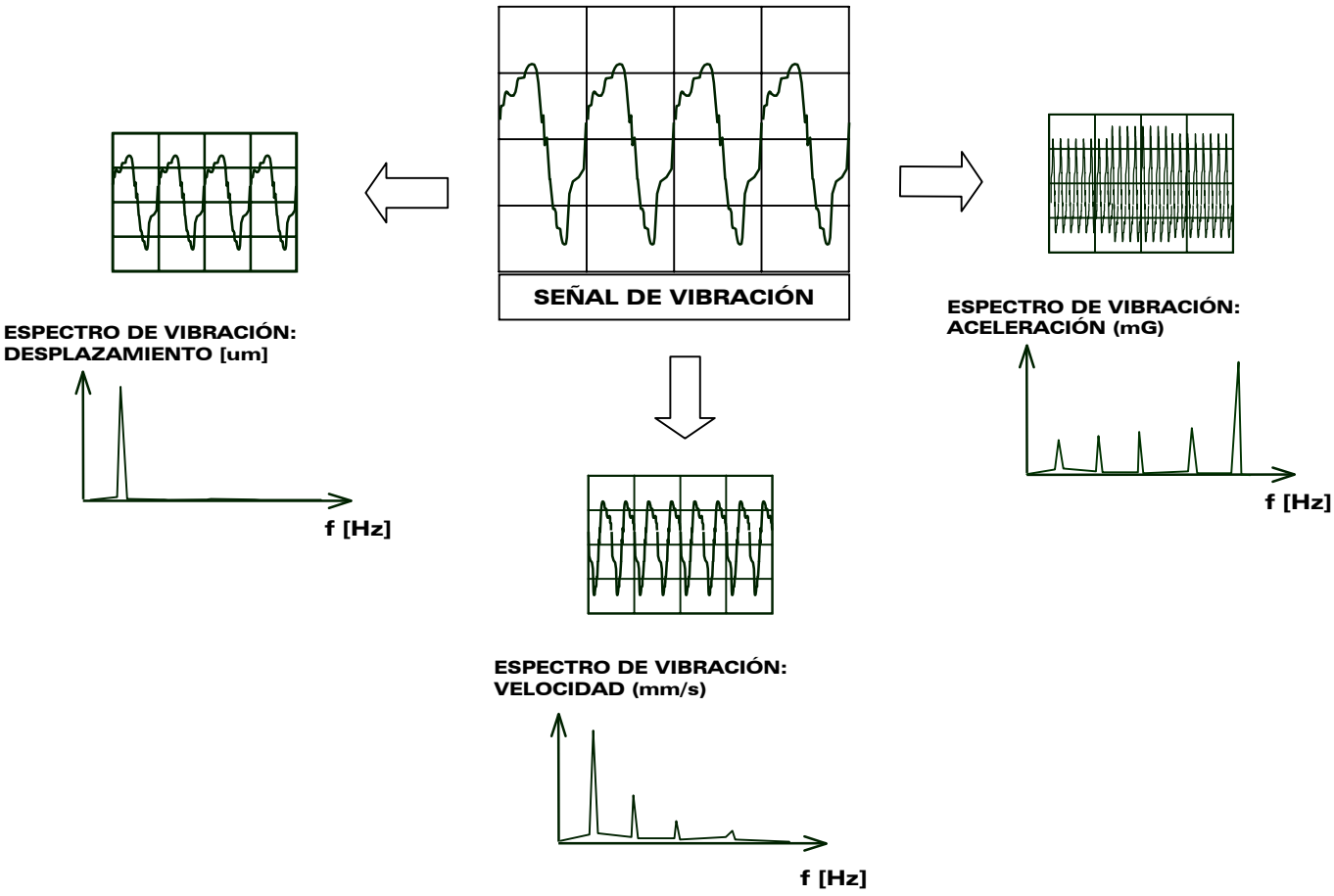
Existen varias variables para medir la amplitud de vibración de un espectro. Para vibraciones mecánicas lo más común es medirlas en unidades de desplazamiento, velocidad y aceleración.
Cada una presenta ventajas respecto de las otras, por tanto es recomendable para el analista revisarlas todas. A continuación se describen sus ventajas.

La medida en desplazamiento (mm ó μm en SI, mils en S. Inglés) es importante para reconocer patrones que están a muy baja frecuencia. Los picos de vibración que están al comienzo del espectro son mejor resaltados. Esta es una medida especial para hallar anormalidades en chumaceras de aceite, muy utilizadas en turbomaquinaria.

La medida en velocidad (mm/s en SI, in/s en S. Inglés) permite reconocer la mayoría de los patrones de fallas primarias y de otros componentes cuando están en un estado evidente, como por ejemplo desbalanceo, desalineación, holgura mecánica, fricciones abrasivas, resonancias, pulsaciones, engranajes de pocos dientes, sistema de poleas, aspas de bombas y ventiladores. Esta variable de velocidad es importante para resaltar picos de bajas y medias frecuencias.

La medida en aceleración (mG o G en ambos sistemas de medición) permite reconocer patrones asociados a contactos metal-metal y fricciones abrasivas, problemas en engranajes, cavitación, entre otros. Esta variable resalta picos de vibración de medias y altas frecuencias, y es muy utilizada para la detección prematura de fallas en chumaceras y rodamientos, y otros componentes como engranajes.

A continuación se presenta un esquema de una señal vista en las tres variables:

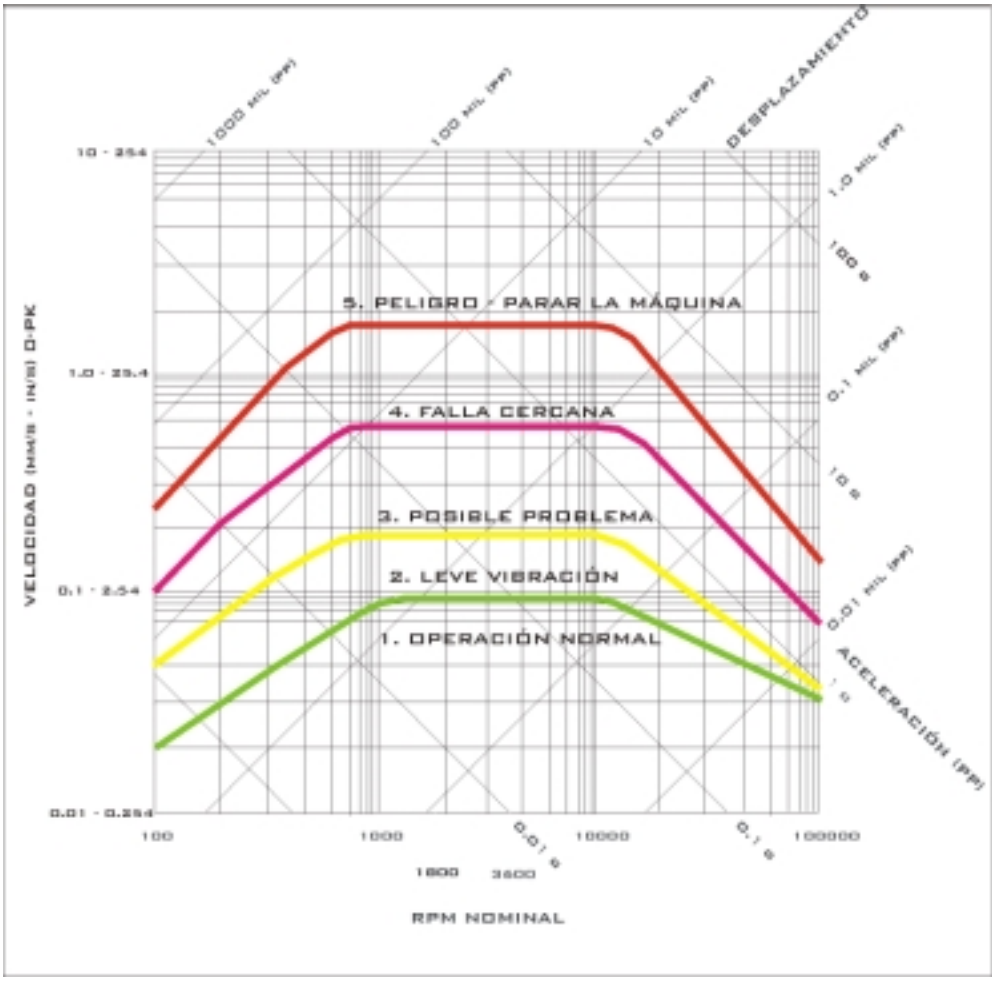

SEÑAL DE VIBRACIÓN
ESPECTRO DE VIBRACIÓN:
DESPLAZAMIENTO [um]
f [Hz]
ESPECTRO DE VIBRACIÓN:
ACELERACIÓN (mG)
f [Hz]
ESPECTRO DE VIBRACIÓN:
VELOCIDAD (mm/s)
f [Hz]

ALARMAS DE NIVEL Y TENDENCIA:

ALARMAS DE NIVEL:

Antes de entrar a realizar un diagnóstico con la ayuda de las patologías vistas anteriormente, es necesario observar los niveles de vibración que presenta cada uno de los puntos de la máquina. Muchas veces los espectros de vibración pueden presentar picos especiales, pero esto no significa que haya una característica de falla, ya que la máquina puede estar operando a condiciones normales dentro de los niveles establecidos por la norma. El problema se presenta cuando estos picos comienzan a aumentar su nivel y de esta manera incrementan el overall del punto.

Existen algunas normas internacionales que proponen unos estándares generales para varios tipos de máquinas y niveles de alarma. Estos niveles pueden aplicarse a una gran cantidad de máquinas, pero hay excepciones que exigen estudiar otras herramientas para poder llegar a una conclusión del estado de máquina.



Existe una gráfica logarítmica que encarna valores de aceleración, velocidad y desplazamiento frente a una frecuencia específica. Dicha gráfica contiene unos niveles generalizados de alarma. Para aplicarlos a diferentes máquinas, se hace necesario revisar varias características presentadas en ellas, como son su tamaño y su cimentación y de acuerdo a ello, se escoge un factor de servicio, en la tabla mostrada mas adelante, se presentan unos valores tentativos de los factores de servicio de estas máquinas.

Un ejemplo de norma de rangos de severidad de vibración es la ISO 2372 la cual ejemplifica límites de y los factores de servicio para cuatro tipos de máquina. Como ya se dijo anteriormente, estos límites pueden ser prácticos para muchas máquinas básicas de proceso, pero es importante considerar la individualidad inherente a cada equipo lo que hace necesario la utilización de otras herramientas tales como el seguimiento de niveles de tendencia y el respectivo historial de mantenimiento.

El valor de severidad de la vibración asociada a un rango de clasificación en particular, depende del tamaño y masa del cuerpo vibrante, las características del montaje del sistema, la salida y el uso que se le da a la máquina. De esta forma es necesario tomar cuenta de varios propósitos y circunstancias concernientes a los diferentes rangos.

RANGOS DE SEVERIDAD DE VIBRACIÓN PARA MÁQUINAS PEQUEÑAS (CLASE I), MÁQUINAS DE TAMAÑO MEDIANO (CLASE II), GRANDES MÁQUINAS (CLASE III), Y TURBOMÁQUINAS (CLASE IV).

<table>
<tr><th colspan="2">RANGO DE SEVERIDAD DE VIBRACION</th><th colspan="4">CLASES DE MÁQUINAS</th></tr>
<tr><th>VELOCIDAD RMS (mm/s)</th><th>VELOCIDAD 0-PK (mm/s)</th><th>CLASE I</th><th>CLASE II</th><th>CLASE III</th><th>CLASE IV</th></tr>
<tr><td>0.28</td><td>0.3960</td><td rowspan="3">A</td><td rowspan="3">A</td><td rowspan="4">A</td><td rowspan="6">A</td></tr>
<tr><td>0.45</td><td>0.6364</td></tr>
<tr><td>0.71</td><td>1.0041</td></tr>
<tr><td>1.12</td><td>1.5839</td><td rowspan="2">B</td></tr>
<tr><td>1.8</td><td>2.5456</td><td rowspan="2">B</td></tr>
<tr><td>2.8</td><td>3.9598</td><td rowspan="2">C</td><td rowspan="3">B</td></tr>
<tr><td>4.5</td><td>6.3640</td><td rowspan="2">C</td><td rowspan="2">B</td></tr>
<tr><td>7.1</td><td>10.0409</td><td rowspan="6">D</td><td rowspan="2">C</td></tr>
<tr><td>11.2</td><td>15.8392</td><td rowspan="5">D</td><td rowspan="2">C</td></tr>
<tr><td>18</td><td>25.4558</td><td rowspan="4">D</td></tr>
<tr><td>28</td><td>39.5980</td><td rowspan="3">D</td></tr>
<tr><td>45</td><td>63.6396</td></tr>
<tr><td>71</td><td>100.4092</td></tr>
<tr><td colspan="2">FSM para las máquinas</td><td>1.57020</td><td>1</td><td>0.62608</td><td>0.39625</td></tr>
<tr><td colspan="2">FSN para los niveles (1/FSM)</td><td>0.63686</td><td>1</td><td>1.59725</td><td>2.52364</td></tr>
</table>

Nota:
FSM: factor de servicio para las clases de máquinas.
FSN: factor de servicio para los niveles.

La anterior es una de las clasificaciones recomendadas para la escogencia del factor de servicio de una máquina. Pero como se ha dicho no está dada para todas las aplicaciones y por lo tanto puede sustituirse de acuerdo a situaciones particulares que se presenten. El significado de estas clases se presenta a continuación:

CLASE I: Partes individuales que se conectan a una máquina en operación normal. (Los motores eléctricos que no pasan de 15 kW son ejemplos típicos de esta categoría).

CLASE II: Máquinas de tamaño medio (generalmente motores de 15 a 75 kW de salida), sin cimientos especiales, o máquinas rígidas (por encima de 300 kW) montadas sobre cimientos especiales.

CLASE III: Grandes motores y otras máquinas con grandes masas rotantes montadas sobre cimientos rígidos y pesados, los cuales son relativamente duros en la dirección de medida de vibración.

CLASE IV: Grandes motores y otras máquinas con grandes masas rotantes montadas en cimientos relativamente flexibles en la dirección de la medida de vibración (por ejemplo, un turbogenerador, especialmente aquellos con subestructuras ligeras).

Fuera de éstas clases, también existen otras dos que se dan para maquinaria extremadamente robusta o especial que necesita factores de servicio aun mas grandes.

CLASE V: Máquinas y sistemas de conducción mecánica con esfuerzos de desbalanceo inerciales (debido a partes reciprocantes) montadas sobre cimientos, los cuales son relativamente rígidos en la dirección de la medida de vibración.

CLASE VI: Máquinas y sistemas de conducción mecánica con esfuerzos de desbalanceo inerciales (debido a partes reciprocantes) montadas sobre cimientos, los cuales son relativamente suaves en la dirección de la medida de vibración; también pertenecen máquinas con rotación de masas flojas acopladas, tal como golpeteo de eje en un molino; máquinas centrífugas con desbalanceo variable capaces de operar sin componentes conectados; pantallas de vibración, máquinas de prueba de fatiga dinámica y excitadores de vibración usados en plantas de proceso.

NIVELES DE TENDENCIA:

La tendencia se puede definir como una representación gráfica de alguna variable respecto al tiempo. Para nuestro caso, la variable es el nivel general de vibración de los puntos de una máquina.

En esta gráfica puede observarse la pendiente de los puntos a través de su historia. Siempre y cuando la pendiente sea suave, la tendencia permanecerá estable. Pero si llega a presentarse un crecimiento grande, acercándose a una elevación exponencial, en la mayoría de casos es porque se acerca una falla física de la máquina.

Los niveles de vibración a través de la historia de la máquina variarán entre períodos. Esto se debe a que el nivel de vibración es inferido a través de promedios. Esto será normal siempre y cuando no haya un cambio abrupto en el nivel de vibración de manera que la pendiente se incremente considerablemente.

La **figura 10** presenta la tendencia de un soplador. Hasta la medición del día 330 la tendencia es estable, sin embargo a partir de esta medición los niveles de vibración se incrementan abruptamente. A través del monitoreo de vibraciones se pudo predecir el mal estado de un rodamiento en la polea conducida del soplador, lo cual podría haber producido un paro súbito de la máquina.

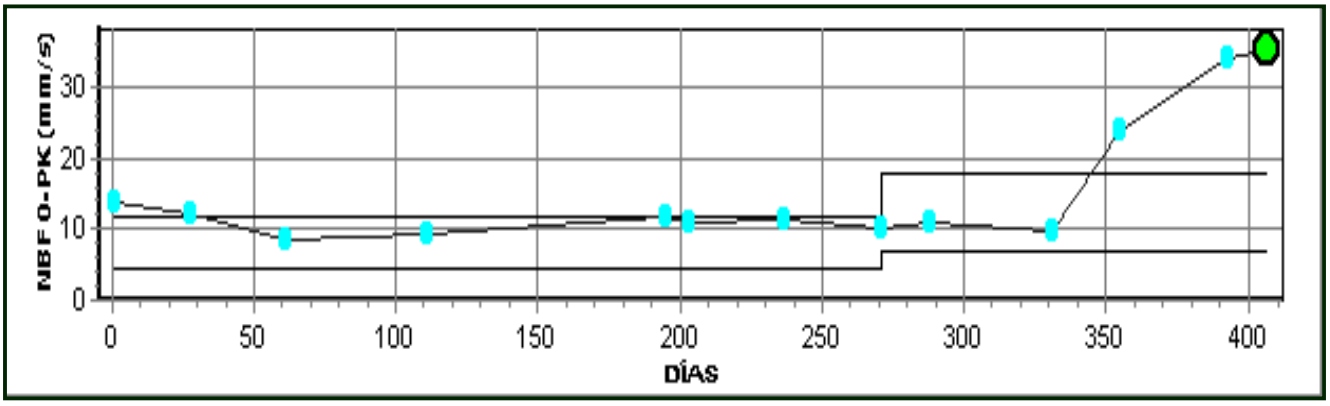


FIGURA 10

ANALISIS DE VIBRACIONES APLICADO A LAS MAQUINAS ROTATORIAS DE BAJA VELOCIDAD

Edgar A. Estupiñan (eestupin@uta.cl)
Profesor Dpto. de Ingeniería Mecánica
Universidad de Tarapacá
Casilla 6-D – Arica (Chile)

Pedro N. Saavedra (psaavedr@udec.cl)
Profesor Dpto. de Ingeniería Mecánica
Universidad de Concepción
Casilla 160-C – Concepción (Chile)

RESUMEN
Predecir la presencia de defectos en los rodamientos de máquinas que funcionan a baja velocidad, utilizando el análisis espectral de las vibraciones es una tarea dificultosa. Las vibraciones generadas por estas máquinas son de baja amplitud y el nivel de ruido en muchos de los casos puede ser el suficiente como para no poder identificar las vibraciones generadas por la presencia de defectos. En este trabajo se ilustra tanto con ensayos de laboratorio como con el análisis de casos históricos reales de máquinas de la industria de la celulosa y el papel, que con un análisis integrado del espectro y de la forma de la onda de la vibración es posible detectar defectos en rodamientos de máquinas de baja velocidad. También se ilustra con el análisis de un caso, la utilidad de la técnica del peakvue para analizar las vibraciones de alta frecuencia.

INTRODUCCION
Hoy en día la mayoría de las industrias modernas dentro de sus programas de mantenimiento predictivo, utilizan el monitoreo y análisis de las vibraciones con el fin de establecer cuál es el estado de salud mecánica de las máquinas y en particular de sus elementos más críticos como son los rodamientos, descansos y engranajes, y de esta manera prevenir fallas catastróficas. Sin embargo cuando las máquinas giran a baja velocidad, el análisis se complica debido principalmente a que la magnitud de las fuerzas dinámicas que generan las vibraciones decrece con la velocidad de rotación. Por ejemplo, el desbalanceamiento genera una fuerza centrífuga proporcional al cuadrado de la velocidad. Adicionalmente, las máquinas de baja velocidad típicamente son de mayor tamaño y peso, por lo tanto, la señal de vibración medida sobre el alojamiento de los descansos es frecuentemente de muy baja amplitud y con una baja razón señal-ruido.
Para analizar vibraciones provenientes de las máquinas de baja velocidad se requiere de una adecuada selección y uso de los componentes que conforman la cadena de medición con el objeto de obtener la mejor razón señal-ruido posible, Robinson (1995). En este artículo, el término "máquina de baja velocidad" se refiere a máquinas que operan entre 6 y 300 *cpm* (ciclos por minuto). Puesto que los rodamientos son de los componentes más críticos de las máquinas y que fallan con mayor frecuencia, el estudio llevado a cabo en este trabajo, se ha centrado especialmente en el diagnóstico de defectos de rodamientos de máquinas de baja velocidad, utilizando diversas técnicas del análisis de vibraciones.

EXACTITUD EN EL DIAGNOSTICO DE FALLAS DE RODAMIENTOS
Los rodamientos actúan como una fuente de ruido y vibración debido tanto a la variación de compliancia como a la presencia de defectos en ellos, aún cuando éstos sean geométricamente perfectos, Tandon (1992 y 1999). Los defectos en los rodamientos se pueden clasificar como distribuidos (rugosidades superficiales, ondulaciones sobre las pistas y elementos rodantes desiguales) y localizados (grietas, hendiduras, resaltes, picaduras y descascaramiento). En esta sección se describen algunas de las técnicas de análisis de vibraciones que pueden ser empleadas para identificar defectos de tipo localizado en rodamientos.
Dependiendo de la ubicación del defecto en el rodamiento, se generan vibraciones de diferente frecuencia. Cuando una superficie defectuosa hace contacto con su superficie de encuentro, se producen pulsos periódicos de corta duración. Las periodicidades con que se producen tales pulsos son función de la geometría del rodamiento, la velocidad de rotación y la localización del defecto, Harris (1966), Berry (1991). Sus frecuencias asociadas son designadas comúnmente como *BPFO*, *BPFI*, *BSF* y *FTF*[1], y pueden ser calculadas analíticamente o utilizando algún software comercial.

[1] ***BPFO*** (*Ball pass frequency of the outer race*), es la frecuencia de paso de los elementos rodantes por un defecto en la pista externa.
BPFI (*Ball pass frequency of the inner race*), es la frecuencia de paso de los elementos rodantes por un defecto en la pista interna.
BSF (*Ball spin frequency*), es la frecuencia de giro de los elementos rodantes.
FTF (*Fundamental train frequency*), es la frecuencia de rotación del canastillo o jaula que contiene los elementos rodantes.

Análisis Espectral, Promediación y Resolución en Frecuencia.

El análisis frecuencial (o espectral), es la técnica más comúnmente empleada para el diagnóstico de fallas por medio del análisis de vibraciones. Se pueden identificar fallas típicas tales como desbalanceo de rotor, desalineamiento, solturas mecánicas y defectos en rodamientos. La idea fundamental del análisis frecuencial es encontrar la relación existente entre la frecuencia de las componentes discretas presentes en el espectro y la frecuencia de las fuerzas dinámicas que generan las vibraciones.

La figura 1 muestra el espectro de la aceleración vibratoria del rodamiento lado libre del rodillo superior de la cuarta prensa de una máquina papelera, que gira a *31 cpm*. El rodamiento es el *SKF-23276*, y el *BPFO* es de *7.77xRPM*. Para la vigilancia periódica de la mayoría de máquinas, es común utilizar un espectro de *400 líneas* obtenido con cuatro promedios, como el mostrado en la figura 1. Sin embargo, cuando los niveles de vibración son bajos, el ruido electrónico y del ambiente pueden ocultar las componentes espectrales debidas a la vibración y hacer que el análisis espectral sea dificultoso. Se hace necesario entonces, obtener mediciones con una mejor razón señal-ruido (*SNR*[2]). Durante la etapa de recolección de datos de vibración, es posible mejorar la *SNR* incrementando el número de promedios y/o mejorando la resolución en frecuencia (utilizando más líneas en el espectro). Adicionalmente se requiere del uso de sensores con bajo ruido eléctrico (inherente) y alta sensibilidad.

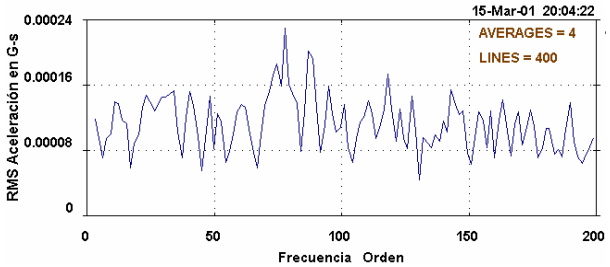
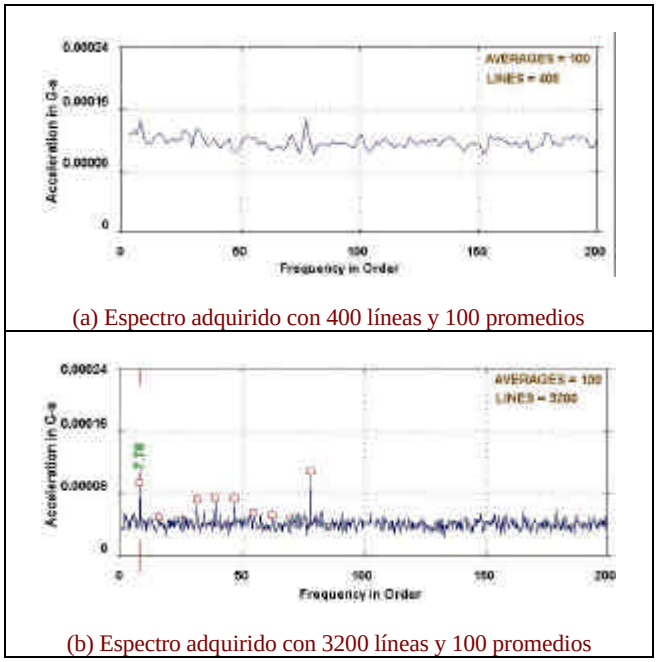


Fig. 1. Espectro de la aceleración vibratoria (4 promedios y 400 líneas de resolución).

Por medio de la promediación espectral se reduce la variabilidad de las amplitudes espectrales del ruido aleatorio en proporción directa a la raíz cuadrada del número de promedios, Robinson et al., (1992). El espectro de la figura 2(a), fue obtenido con un mayor número de promedios (100) y se puede observar que el espectro es más suave que el mostrado en la figura 1. Sin embargo con este espectro aún, no es posible distinguir las componentes de vibración real, debido a la baja *SNR*. Ahora bien, sí se toma la medición con un mayor número de líneas (*3200*), la energía es distribuida entre más puntos discretos, disminuyendo así la amplitud espectral de las componentes aleatorias producidas por el ruido, como se puede observar en la figura 2(b). En este espectro, el cual posee una mejor *SNR*, es posible identificar las componentes debidas a la vibración, las cuales corresponden a múltiplos del *BPFO* del rodamiento, indicando así la presencia de una defecto en la pista externa.



(a) Espectro adquirido con 400 líneas y 100 promedios

(b) Espectro adquirido con 3200 líneas y 100 promedios

Fig. 2. Espectros de rodamiento con un defecto en la pista externa. (Velocidad de rotación = 31 cpm)

Análisis de la Forma de la Onda

El análisis de la forma de la onda de la vibración es una de las técnicas del dominio tiempo más útiles para detectar defectos en rodamientos. Por ejemplo, el análisis de la forma de onda de la aceleración vibratoria permite identificar los impactos producidos por el paso de los elementos rodantes sobre un defecto localizado, y por medio de su periodicidad y su relación con la frecuencia de falla identificar la localización del defecto (pista interna, externa o canastillo).

La figura 3, muestra el espectro de frecuencia y la forma de onda de la vibración generada por un rodamiento con un defecto en la pista externa. El rodamiento pertenece a un pequeño agitador, cuya velocidad nominal de rotación es de *60 cpm*. Analizando el espectro, no es posible determinar sí el rodamiento posee una falla. El espectro no posee componentes espectrales discretas con una frecuencia claramente definida, debido a que el agitador cambio ligeramente su velocidad mientras se adquirían los datos, causando así una dispersión de las componentes espectrales. Sin embargo, el análisis de la señal de vibración en el dominio del tiempo, permitió identificar un defecto en el rodamiento, aún cuando la velocidad de la máquina cambiara durante la adquisición de datos. En la figura 3(abajo), se pueden identificar claramente los peaks que se producen cada vez que un elemento rodante pasa por sobre el defecto. El tiempo que ocurre entre un peak y otro corresponde aproximadamente al inverso del *BPFO*, confirmando la existencia de un defecto en la pista externa. La periodicidad tiene unos cambios ligeros, los cuales por supuesto, están relacionados con la variación de velocidad del agitador.

[2] ***SNR*** : *Razón señal ruido, proveniente del término en Inglés: Signal to Noise Ratio*

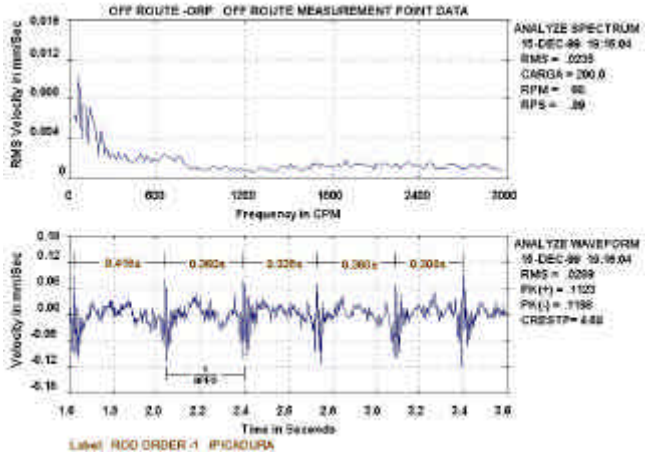


Fig. 3. Espectro y forma de onda de rodamiento con pista externa defectuosa y velocidad variable.

Para poder realizar el análisis espectral en máquinas que varían su velocidad, se utiliza la técnica del Análisis de Orders (Order Tracking Analysis), con la cual, el analizador de FFT utiliza una frecuencia de muestreo que esta directamente relacionada con la velocidad de rotación del eje, Harris (1988). Al utilizar la técnica del Análisis de Orders en el caso del agitador, se obtiene el espectro de la figura 4, en el se pueden identificar claramente las componentes armónicas del *BPFO*, a diferencia del espectro obtenido con el análisis normal.

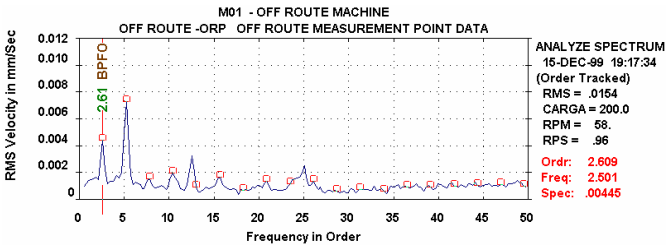


Fig. 4. Espectro obtenido con el Análisis de Orders.

ANÁLISIS DE CASOS HISTÓRICOS DE LA INDUSTRIA DE LA CELULOSA Y EL PAPEL.

Rodamiento con Múltiples Defectos en la Pista Interna.

En este caso se analiza el rodamiento del lado motor del rodillo superior de la tercera prensa de secado, cuya velocidad de giro es de *31 cpm*. En la figura 5 se muestra el espectro y la forma de onda de la vibración axial adquirida con un acelerómetro de *500 mV/g* y una frecuencia máxima de análisis de *200 hz*. En la forma de onda se pueden identificar impactos repetitivos con una periodicidad equivalente al inverso del *BPFI* del rodamiento *SKF-23276*. También se puede notar que por cada revolución del eje, cuando el defecto pasa bajo la zona de carga del rodamiento, se producen los impactos de mayor magnitud. En el espectro de la figura 5, el cursor marca el *BPFI* y sus armónicos (letra D) y alrededor de ellos se pueden identificar bandas laterales separadas por la frecuencia de rotación.

Las líneas punteadas en la figura indican los valores teóricos de los *BPFI* y sus armónicos, los cuales, como se puede observar difieren ligeramente de los reales debido a variaciones en la carga de empuje axial y a un deslizamiento entre los elementos rodantes y las pistas de rodadura.

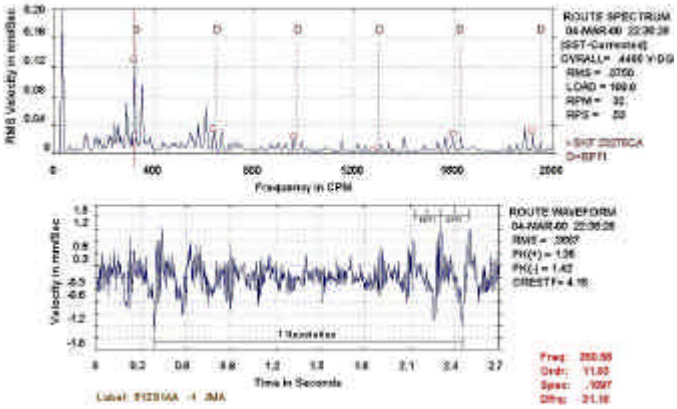


Fig. 5. Espectro y forma de onda de la vibración axial. (Rodamiento de la tercera prensa)

Con la información obtenida de las vibraciones generadas por el rodamiento, el personal de mantenimiento decidió programar su cambio. La figura 6 muestra la fotografía del rodamiento defectuoso y se pueden observar claramente los defectos localizados en la pista interna, lo cual concuerda con lo esperado de acuerdo al análisis de vibraciones realizado previamente.



Fig. 6. Rodamiento de la tercera prensa con defectos en la pista interna

La figura 7, muestra el espectro y la forma de onda de la vibración obtenidos después del cambio del rodamiento defectuoso. Se puede notar la gran diferencia entre este espectro y el obtenido con anterioridad al cambio del rodamiento. El nuevo espectro es útil como referencia para identificar la aparición de defectos en el futuro.

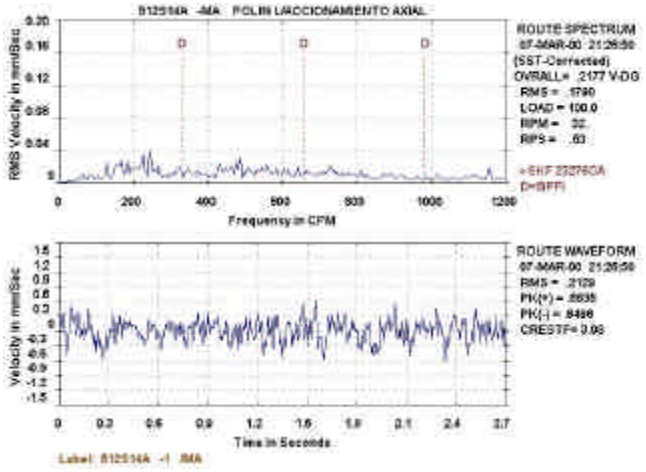


Fig. 7. Espectro y forma de onda adquiridos después del cambio del rodamiento.

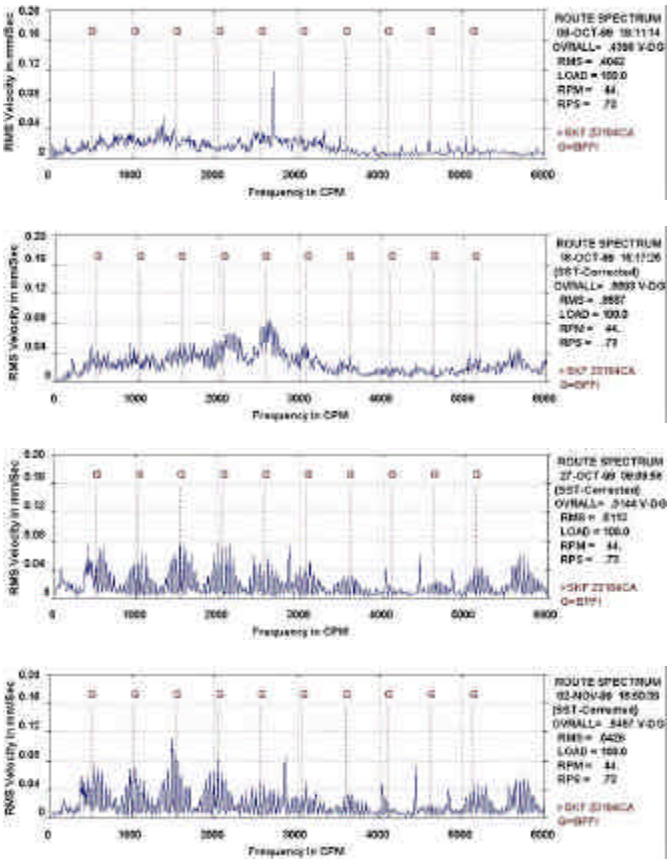


Fig. 8. Evolución del espectro de la vibración axial del rodamiento lado motor de la segunda prensa

Rodamiento con un Defecto Localizado en la Pista Interna y Deslizamiento en el Eje.

En este caso se analiza el rodamiento del lado motor de uno de los rodillos de la segunda prensa de secado, que gira a la velocidad de *43.5 cpm*. Las figuras 8 y 9, muestran los espectros y formas de onda de la vibración axial y su evolución desde octubre 9 (momento en que se detectó un cambio significativo en la vibración) hasta noviembre 2 de 1999. El rodamiento es el *SKF-23184* y el *BPFI* es de *11.77xRPM*. Las líneas de trazos designadas en la gráfica por la letra *"G"*, indican la ubicación en el espectro del *BPFI* y sus armónicos.

Como se observa de la figura 8, en las etapas tempranas de falla la información espectral no entrega una información clara acerca del origen del problema. Sin embargo, al analizar la forma de la onda (figura 9), se pueden identificar los impactos repetitivos que se producen desde los inicios del defecto. Se puede observar además, que la periodicidad de éstos impactos fue variando con el tiempo, lo cual es considerado como un síntoma extraño, teniendo en cuenta que la velocidad de giro del polin se había mantenido constante (*43.5 cpm*).

En la figura 9, se pueden identificar dos periodicidades: la *periodicidad del ciclo de los impactos*, correspondiente al tiempo que transcurre entre los impactos de mayor amplitud, y la *periodicidad entre impactos*, la cual corresponde al tiempo que transcurre entre un impacto y el siguiente. En la figura 9, se puede notar que ocurren dos o tres impactos por cada ciclo de periodicidad de los impactos.

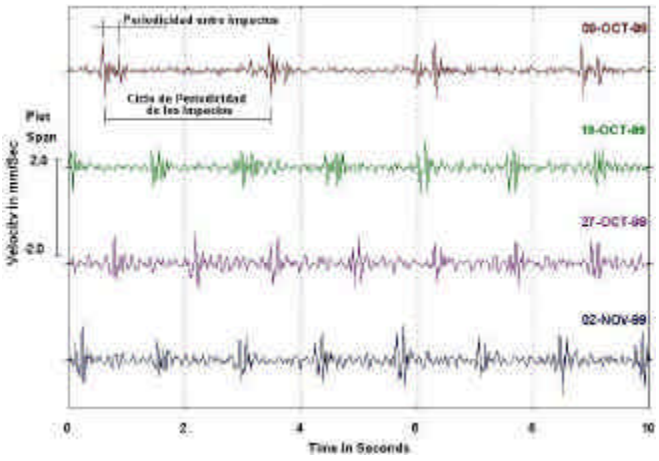


Fig. 9. Evolución de la forma de onda de la vibración axial del rodamiento lado motor de la segunda prensa

La clave para diagnosticar que el rodamiento tenía una pista interna defectuosa, fue que para todos los casos, la periodicidad entre un impacto y otro varió en la misma proporción en que lo hizo la periodicidad de cada ciclo de generación de impactos. Además, hay que tener en cuenta, que sí el defecto está en la pista interna, los impactos de mayor magnitud se producen cada vez que el defecto pasa bajo la zona de carga y eso se produce una vez por cada revolución del eje. Aunque la velocidad de rotación siempre fue la misma, la periodicidad del ciclo de los impactos cambió con el tiempo, debido probablemente a un ajuste insuficiente entre la pista interna del rodamiento y el eje, lo cual permitió deslizamientos ocasionales.

De acuerdo con el análisis realizado, se diagnosticó que el rodamiento muy probablemente tenía un defecto en la pista interna y que además se estaba deslizando sobre su eje. Por lo tanto el personal de mantenimiento programó el cambio del rodamiento para el 2 de Noviembre. La figura 10 (izquierda), muestra el defecto encontrado sobre la pista interna, y la figura 10 (derecha), muestra la superficie del eje sobre la cual se apoyaba el rodamiento y se puede observar en ella las marcas causadas por el deslizamiento entre el anillo interno del rodamiento y el eje, confirmando de esta manera el diagnóstico realizado previamente.

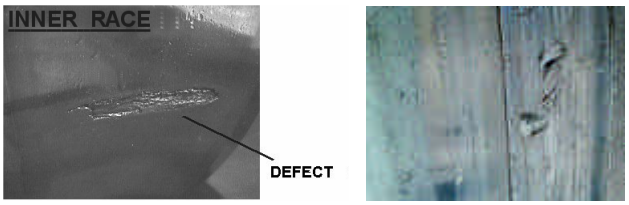


Fig. 10. Defecto localizado en la pista interna(izquierda), y superficie del eje sobre la cual se apoya el rodamiento (derecha).

Después de que el rodamiento fue cambiado, el espectro y la forma de onda de la vibración axial del rodamiento, son como los mostrados en la figura 11. Se observa la ausencia de impactos en la forma de la onda y de componentes espectrales significativas. Analizando este caso, se ha podido ilustrar la utilidad del análisis de la forma de onda para diagnosticar un problema que presentó síntomas no-típicos y en donde las técnicas de diagnóstico tradicionales no fueron efectivas.

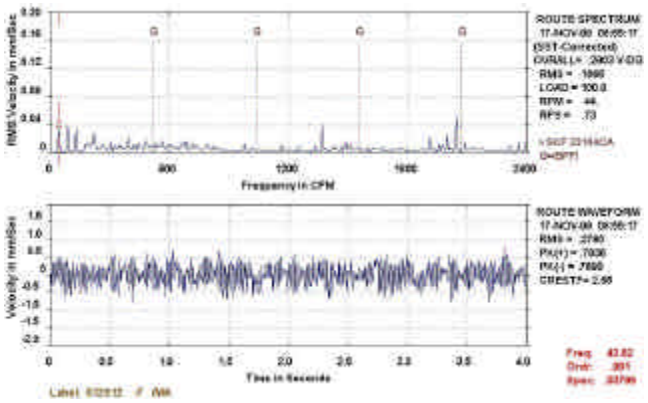


Fig. 11. Espectro y forma de onda de la vibración, después de que el rodamiento fue reemplazado.

Detección de Grietas en Polin y Rodamiento con Pista Interna Defectuosa.

En este caso se realizó el análisis de vibraciones y ruido proveniente de los polines superior e inferior de la tercera prensa de secado, los cuales giran a la velocidad de *56.3 cpm*. Uno de los operadores de la máquina empezó a notar un ruido inusual proveniente del polin superior, por lo tanto, el propósito inicial del análisis fue principalmente el de determinar la fuente del ruido y tomar así las acciones correctivas necesarias.

En la figura 12, se muestran los espectros de la aceleración vibratoria de los rodamientos lado libre y lado acoplamiento, adquiridos con un acelerómetro de *100mV/g* y con una frecuencia máxima de análisis de *200 kcpm*. Analizando los espectros, se pueden identificar componentes armónicas de dos veces la frecuencia de la línea eléctrica (*6000 cpm*) y componentes discretas a *28.2 kcpm* y *130 kcpm*.

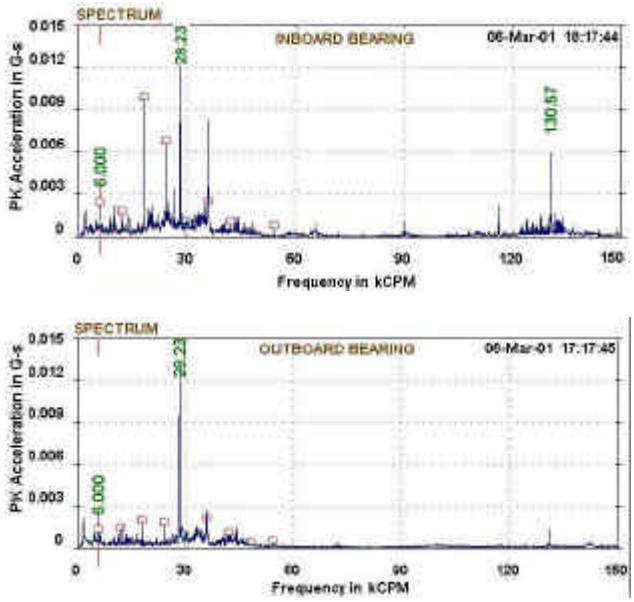


Fig. 12. Espectro de los rodamientos lado motor (inboard) y lado libre (outboard) (Fmáx = 200kcpm).

La causa más probable de la vibración a *130.57 cpm* es que corresponda a la excitación de una frecuencia natural. Se utilizó la técnica de análisis del Peakvue[3] para identificar que componentes de baja frecuencia son las que producen su excitación. Utilizando el peakvue, es posible identificar la periodicidad con que se producen las ondas de esfuerzo que generan tal excitación, Canada et al (1998). Para el análisis con peakvue se requiere de un filtro que corte las componentes de baja frecuencia, por lo tanto se utilizó un filtro pasa alto con frecuencia de corte de 500 hz.

En la figura 13 se muestran los espectros obtenidos con el análisis del peakvue y se pueden identificar frecuencias armónicas de *12.7xRPM*, correspondientes al *BPFI* del rodamiento lado motor del rodillo inferior (*SKF-23160*). Sin embargo, también son notorias frecuencias armónicas de *BPFI/2*, lo cual corresponde típicamente a un comportamiento no lineal de la estructura. La respuesta estacionaria de sistemas no-lineales debido a una excitación periódica, en este caso el *BPFI*, es caracterizado por armónicos y subarmónicos de la frecuencia de excitación, dependiendo de la clase de no linealidad, Harris (1988). Una de las causas más probables del comportamiento no-lineal para este caso, sería la presencia de grietas en el polin.

[3] *Peakvue Analysis* : Es una técnica de análisis patentada por *Computational System Incorporated* (*CSI*).

Considerando además que en los espectros de peakvue de los dos descansos, aparecen componentes a *1xRPM*, *2xRPM* y *3xRPM*, el personal de mantenimiento solicitó un análisis ultrasónico, el cual confirmo la presencia de grietas en el polin y éste debió ser cambiado, evitando así una posible falla catastrófica en la máquina.

El hecho de que las componentes espectrales del *BPFI* no aparezcan en la zona de baja frecuencia, significa que el defecto en la pista interna aún se encuentra en una etapa incipiente de falla. Se recomienda por lo tanto, en este caso monitorear la evolución del defecto y considerar el momento más oportuno para su cambio. Con el análisis de este caso histórico, se ilustra la utilidad de técnicas de análisis poco tradicionales como la del peakvue para detectar incipientemente defectos en rodamientos.

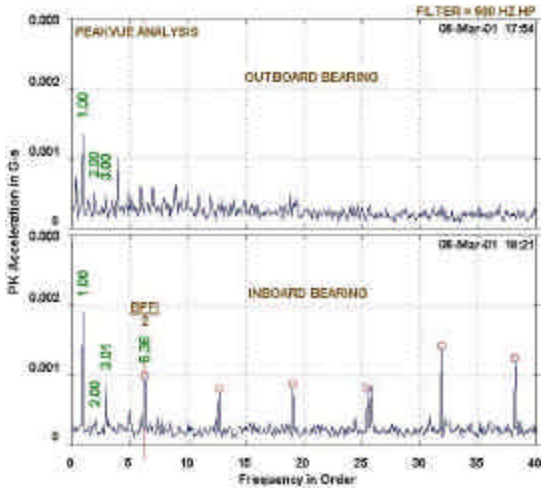


Fig. 13. Espectros de Peakvue de los rodamientos lado motor (inboard) y lado libre (outboard) del polin inferior

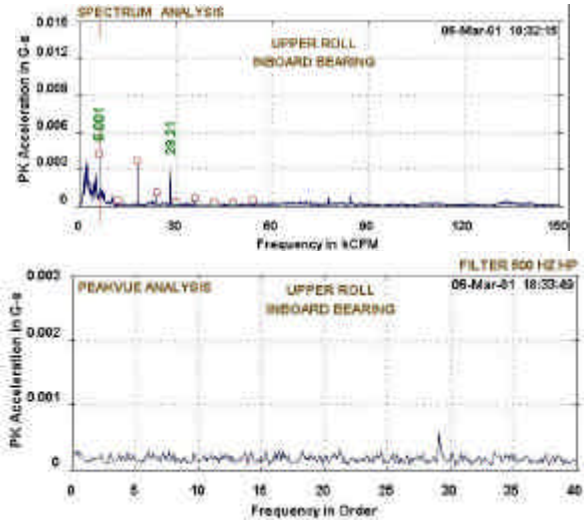


Fig. 14. Espectro normal (arriba) y del Peakvue (abajo) del rodamiento lado motor del polin superior

La figura 14 (superior e inferior) muestra el espectro obtenido de una análisis normal y el espectro del análisis peakvue de la vibración del descanso lado motor del polin superior. Si se comparan únicamente los espectros de vibración de los polines superior e inferior, no es posible determinar exactamente cual de ellos es el defectuoso, debido a que los espectros tienen una apariencia similar. Sin embargo, analizando los espectros del peakvue, figura 13(inferior) y figura 14(inferior) se observa claramente la diferencia entre ellos y se puede afirmar que el polin inferior es la fuente del problema, a pesar de que aparentemente para el operario de la máquina el ruido provenía del polin superior.

CONCLUSIONES

Por medio de este trabajo, se ha podido mostrar que utilizando el análisis de vibraciones es factible monitorear y diagnosticar el estado de la condición mecánica de las máquinas de baja velocidad y en particular de sus rodamientos, considerados como elementos fundamentales para su buen desempeño. Para llegar a un diagnóstico acertado, se hace necesario realizar el estudio de sus vibraciones utilizando de forma integrada varias de las técnicas de análisis disponibles hoy en día en varios de los equipos de análisis de vibración modernos. Para el análisis de las vibraciones de frecuencias más bajas, se debe realizar una adecuada selección y uso de los componentes que conforman la cadena de medición, de forma tal que sus componentes no sean filtradas o atenuadas. En la etapa de medición de la vibración, se deben encaminar grandes esfuerzos hacia el mejoramiento de la razón señal-ruido, con el fin de obtener la información más confiable para el análisis y poder lograr así diagnósticos cada vez más acertados.

BIBLIOGRAFIA

Robinson, J. C., *P/PM Technology*, Vol. 8, 1995, N°6, pp. 47-50.

Tandon, N. Nakra, B. C. *The Shock and Vibration Digest*, Vol. 24, 1992, N°3, pp. 3-10.

Tandon, N. Choudhury, A. *Tribology International*, Vol. 32, 1999, pp. 469-480.

Harris, T. A. *Rolling Bearing Analysis*. John Wiley & Sons, Inc., N.Y., 1966.

Berry, E. B. *Sound and Vibration*, Vol. 25, 1991, N°11, pp. 24-27.

Robinson, J. LeVert F.E, Mott. *Sound and Vibration*, Vol. 26, 1992, N°5, p. 22-30.

Harris, C. M. *Shock and vibration handbook*. McGraw Hill, N.Y., (1988).

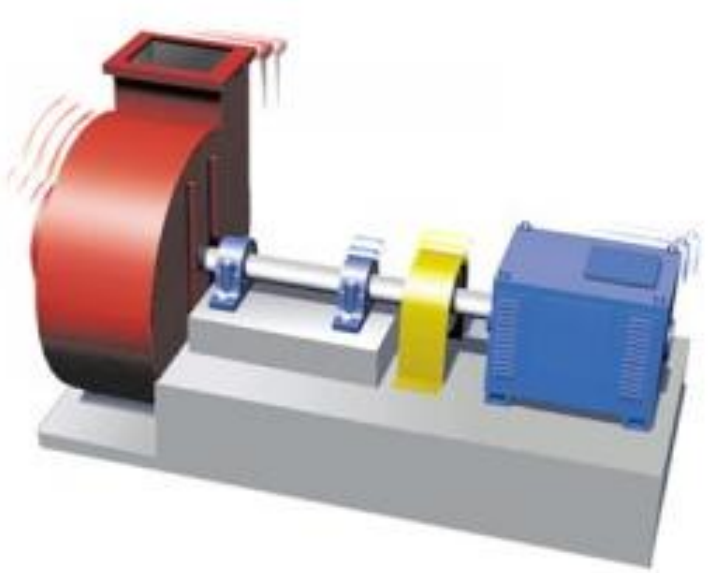
Canada, R., Piety, K and Robinson, J. Application Paper CSI., (1998).

Introducción análisis de vibraciones

Pequeñas charlas de mantenimiento

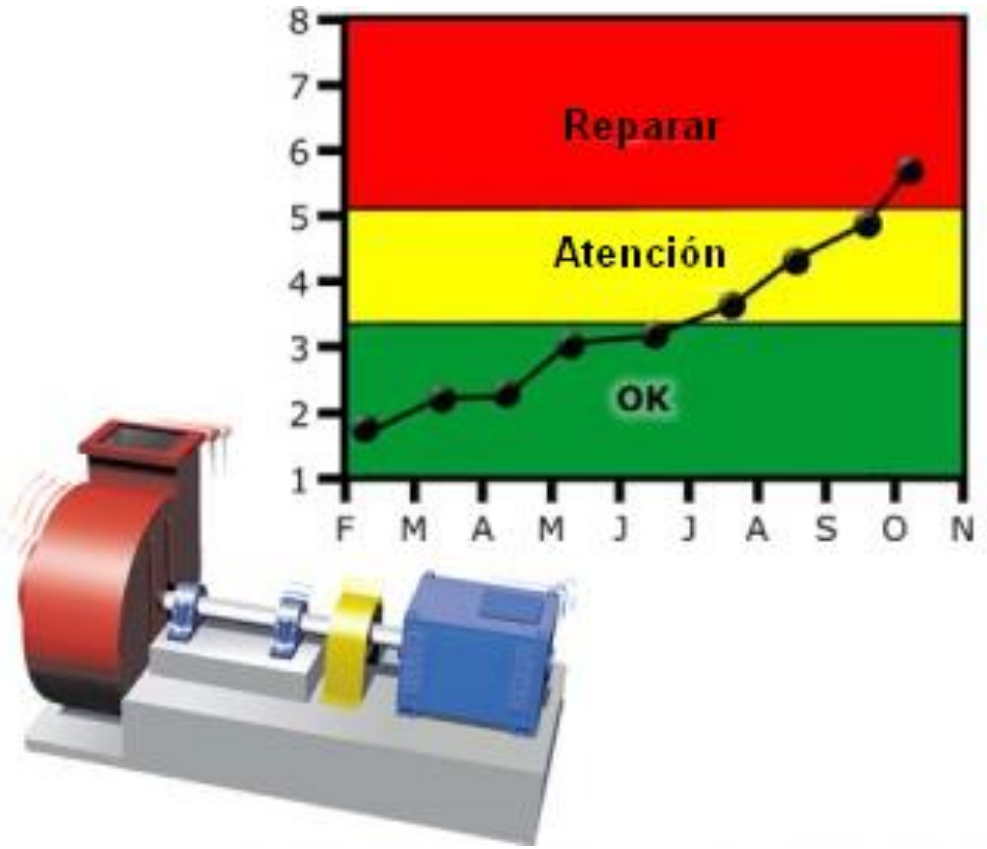
Una introducción a las vibraciones

- Toda máquina vibra.
- El cambio del nivel de vibraciones indica cambio en las condiciones.
- Lo que usted puede oír es sólo una parte de la historia.
- El análisis de las vibraciones pueden ayudar a detectar una amplia variedad de condiciones para la falla.



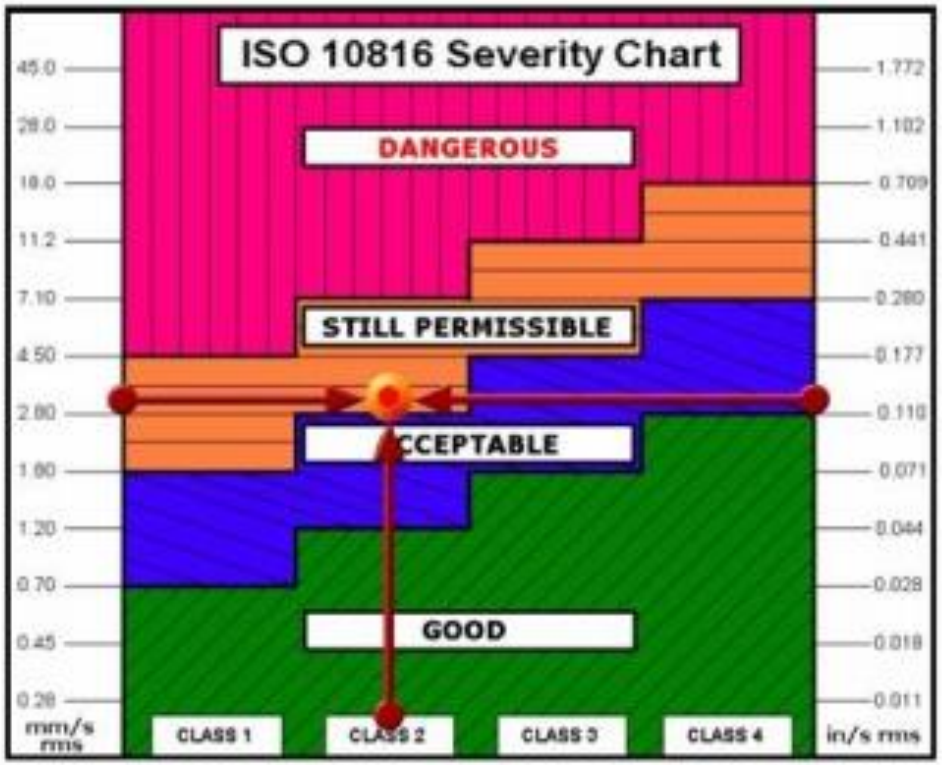
Observe los patrones y el cambio

- El patrón de vibraciones es importante.
- Cuanto cambia el patrón es de igual importancia.
- Una simple lectura puede proveer una información muy útil: nivel de rms, pulso de choque, aumento de la energía y otros.



Vibraciones estándar

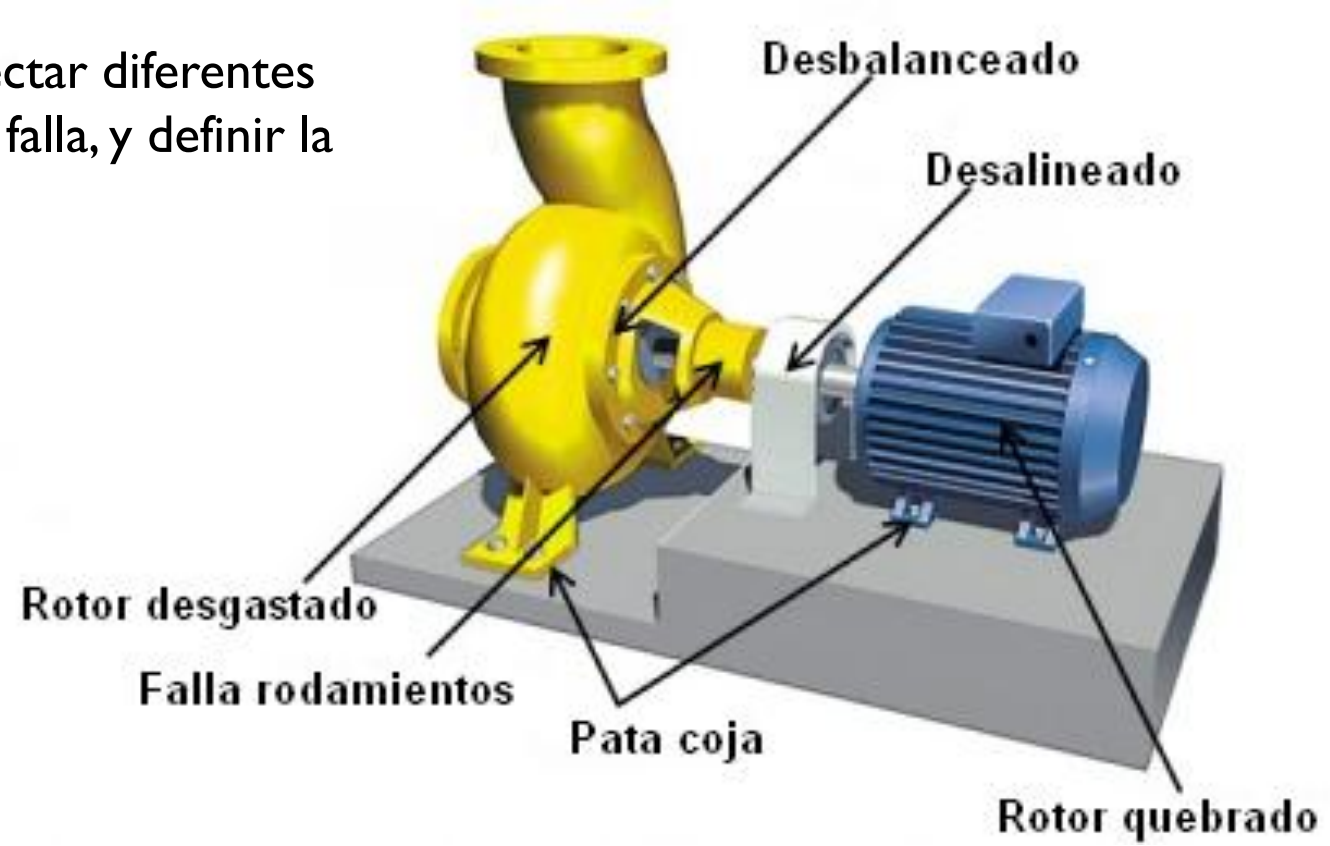
- ¿Cómo saber cuando tomar acciones?
- Los datos estándares o de referencia están disponibles.
- No hay sustituto para el entrenamiento y la experiencia.



Las vibraciones cuentan historias interesantes

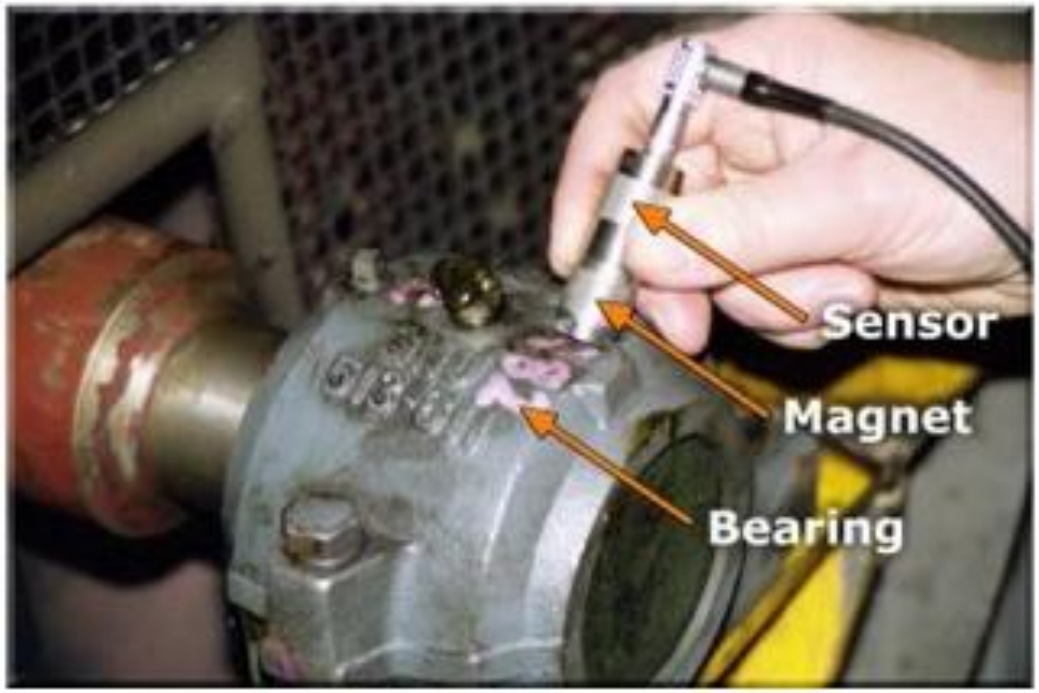
- Las vibraciones pueden revelar mucha información.

- Se pueden detectar diferentes condiciones de falla, y definir la severidad



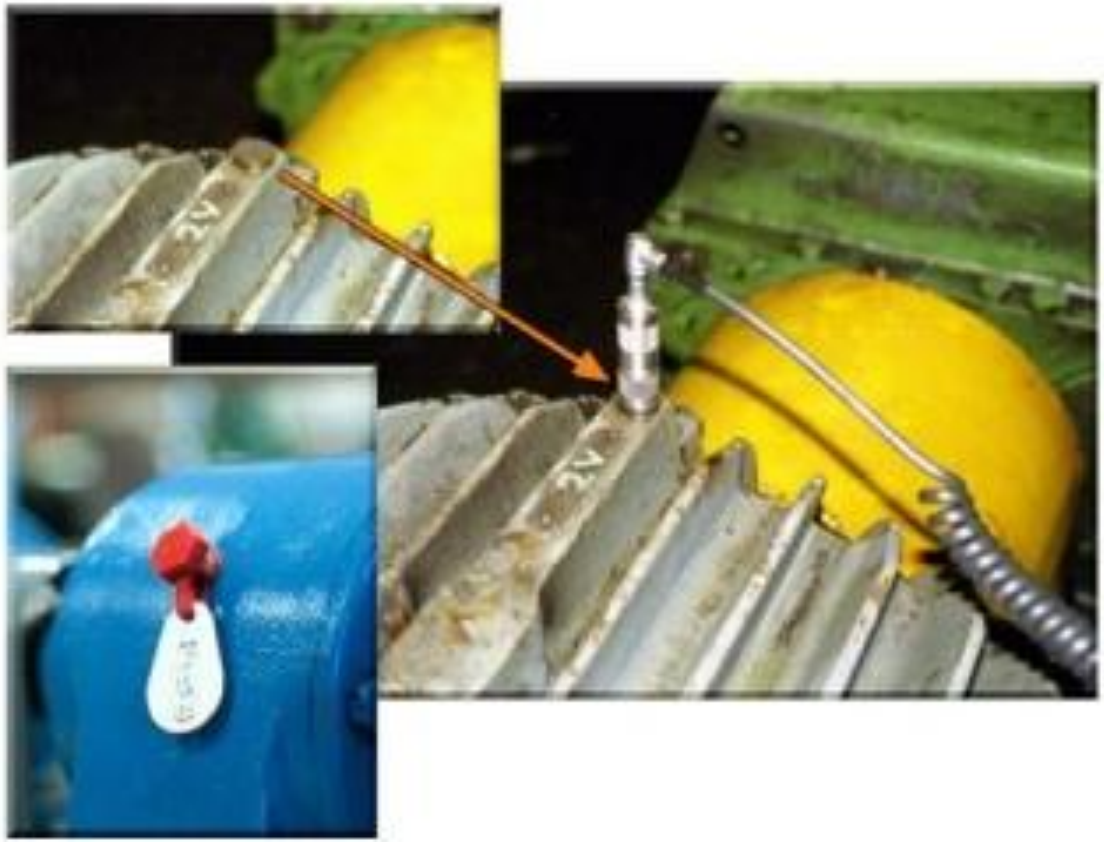
Midiendo

- El sensor convierte la vibración en una señal eléctrica.
- El sensor más común es el acelerómetro.
- El sensor está anclado generalmente vía un magneto.



Instalando el sensor

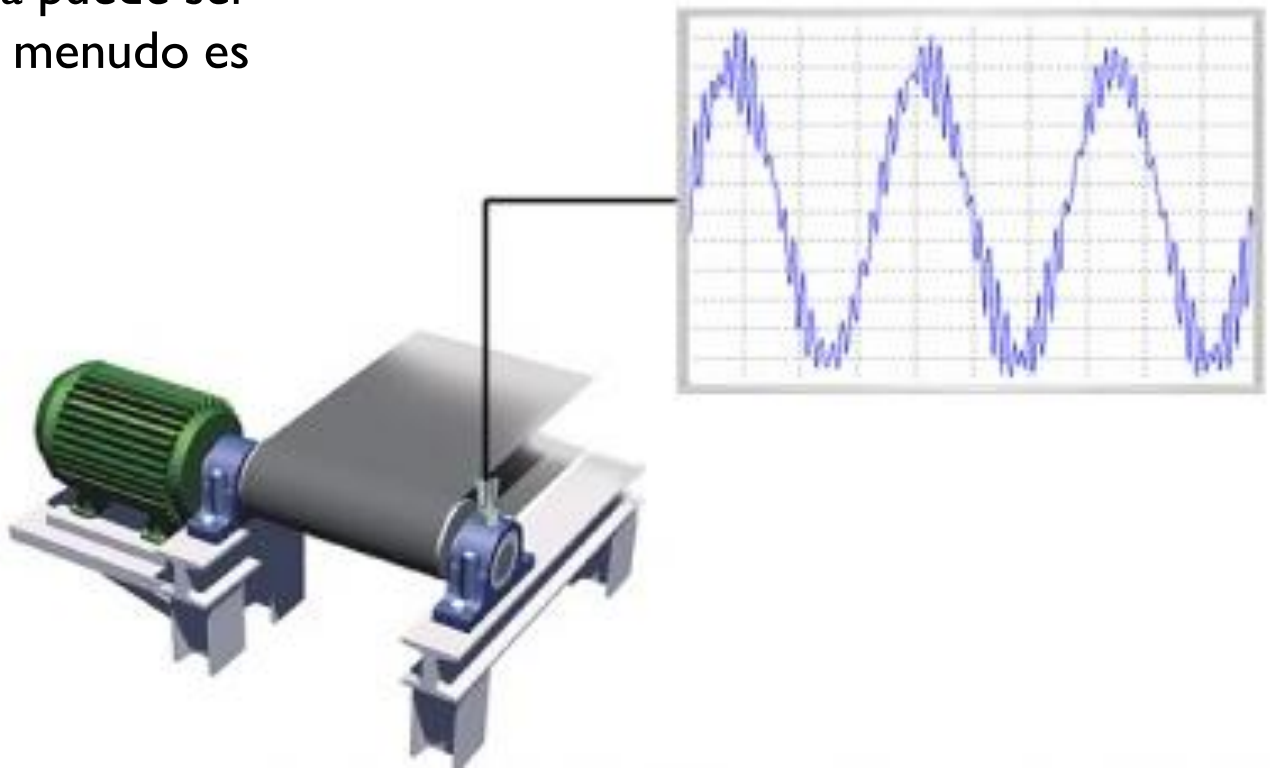
- El montaje es muy importante.
- La "repetibilidad" es esencial.
- Es fácil cometer errores, así que hay que tomar precauciones



La señal de vibración – la forma de la onda

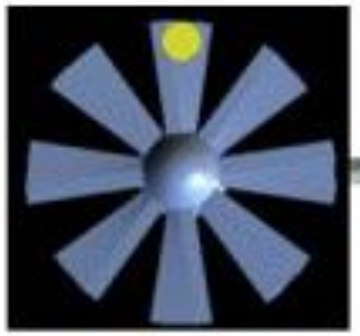
- Esta es la forma de la onda en el tiempo.

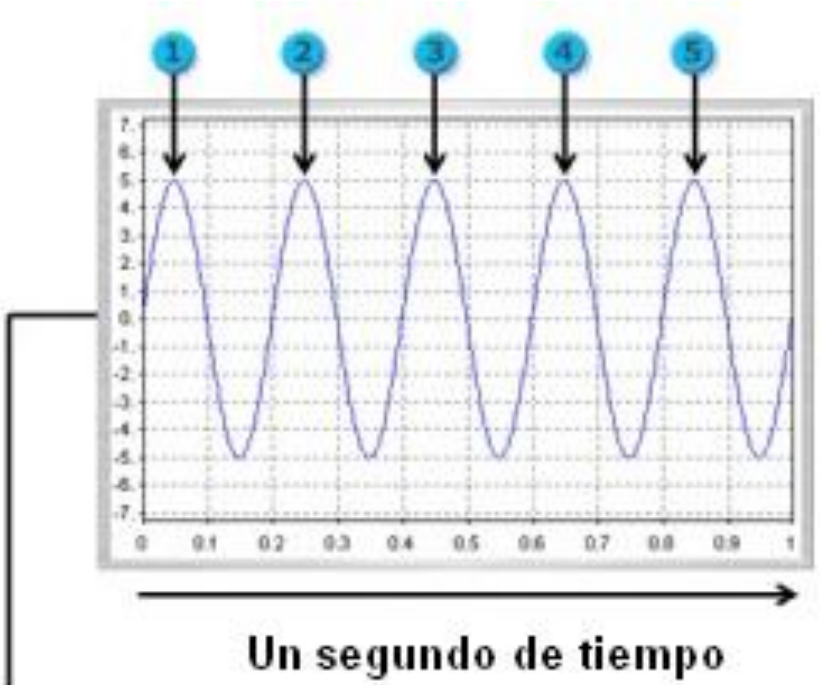
- La forma de la onda puede ser muy simple, pero a menudo es complicada



La señal de vibración

- El ventilador gira cinco veces por segundo.
- Una aumento de masa crea una fuerza de desbalance.





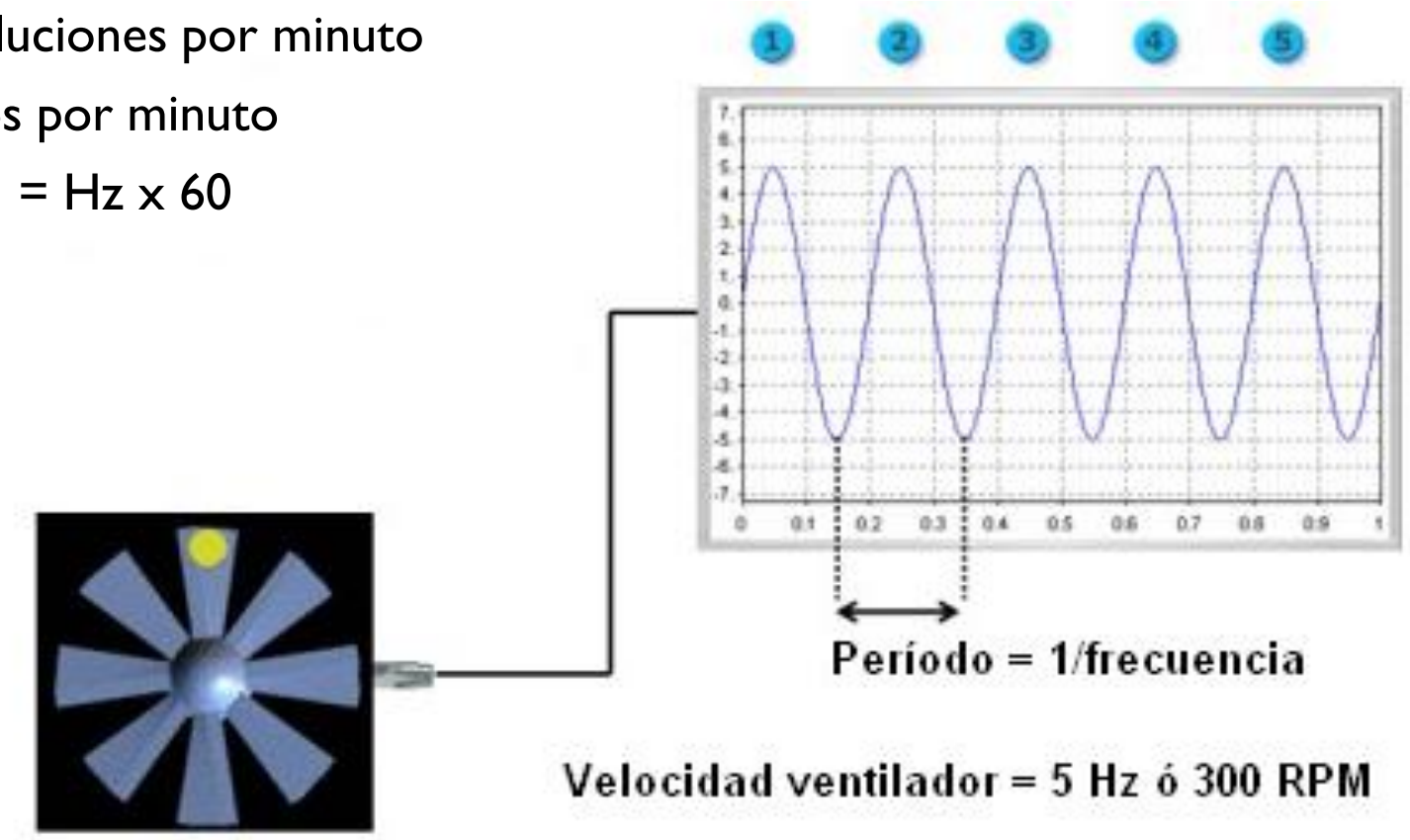
Presentando a la “frecuencia”

- Hertz = Hz = ciclos por segundo

  RPM = revoluciones por minuto

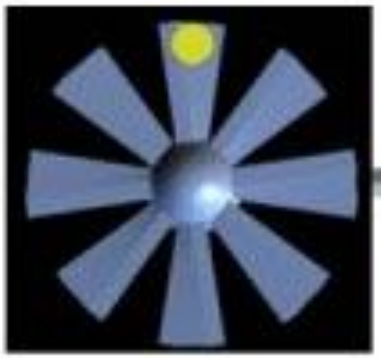
  CPM = ciclos por minuto

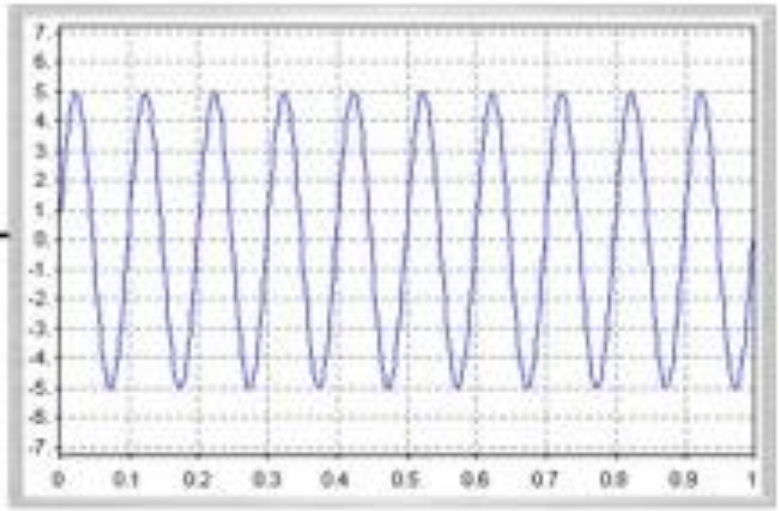
  CPM = RPM = Hz x 60



Aumento en la frecuencia

- El ventilador gira ahora dos veces más rápido.
- Los ciclos en la forma de la onda están más cercanos unos de otros.
- La velocidad del ventilador = 10 Hz ó 600 RPM.

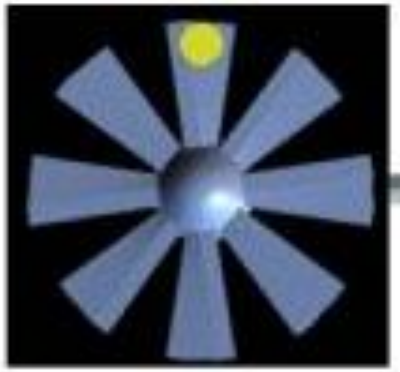


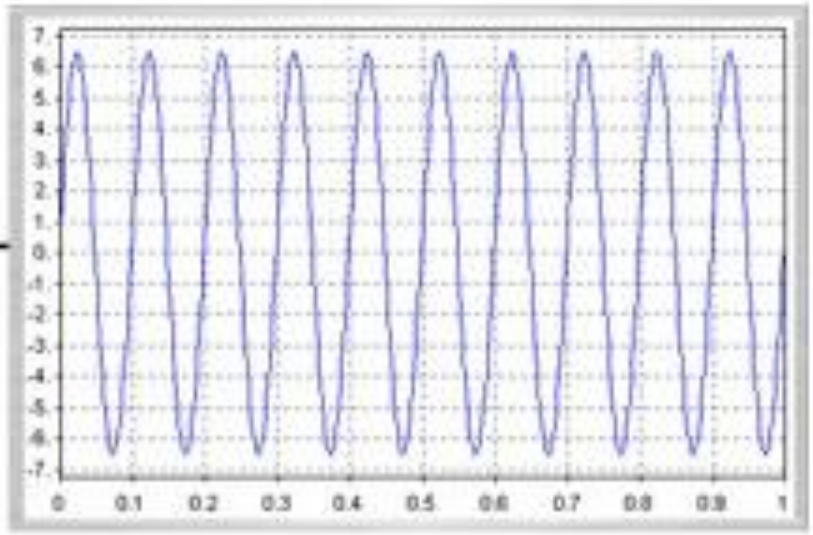


Aumento de la amplitud

- A causa de la concentración de masa en una de las hélices, el nivel de vibraciones aumenta a medidas que aumenta la velocidad del ventilador.

- La altura de la onda es la "amplitud".

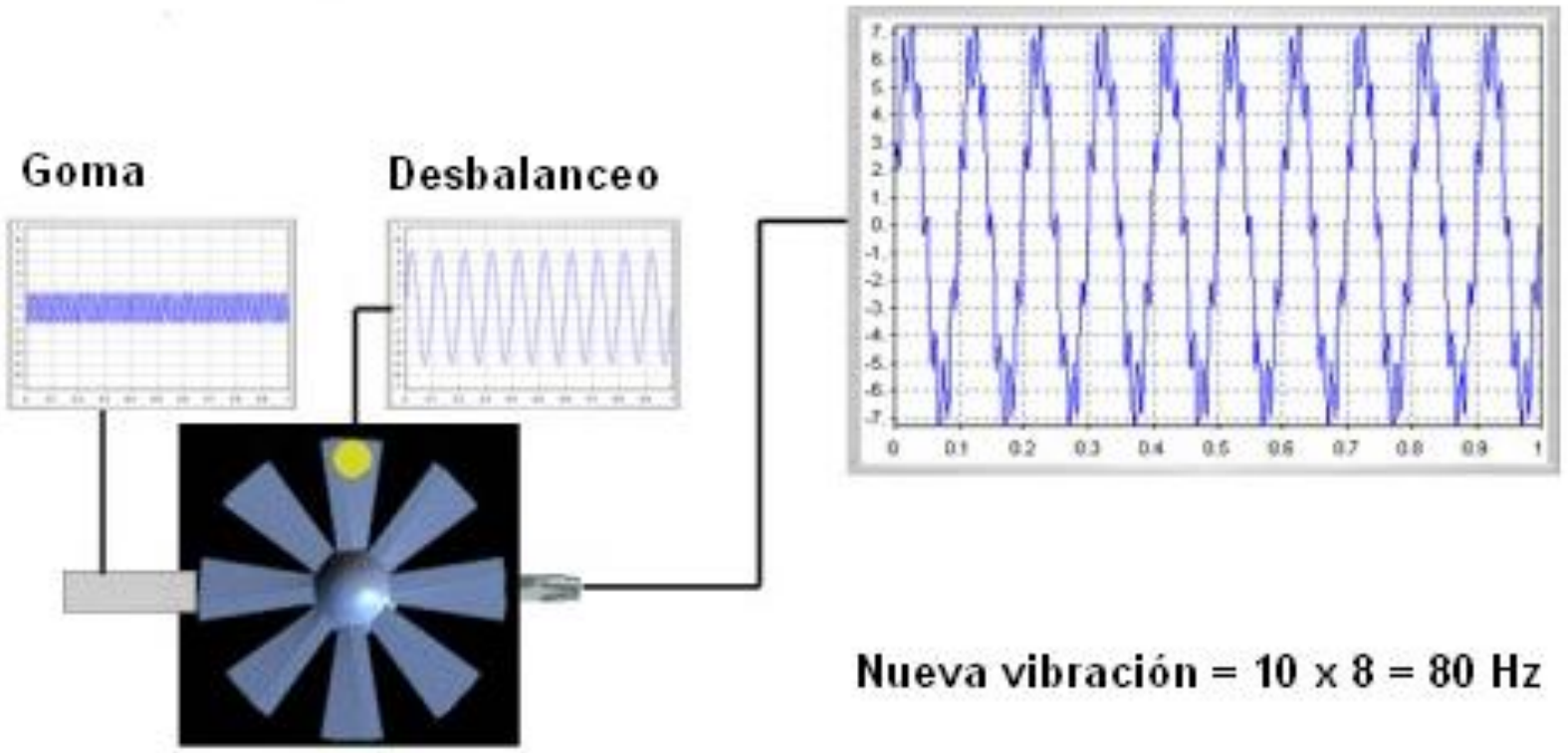




Desplazamiento: mils ó micrón
Velocidad: in/seg ó mm/seg
Aceleración: G

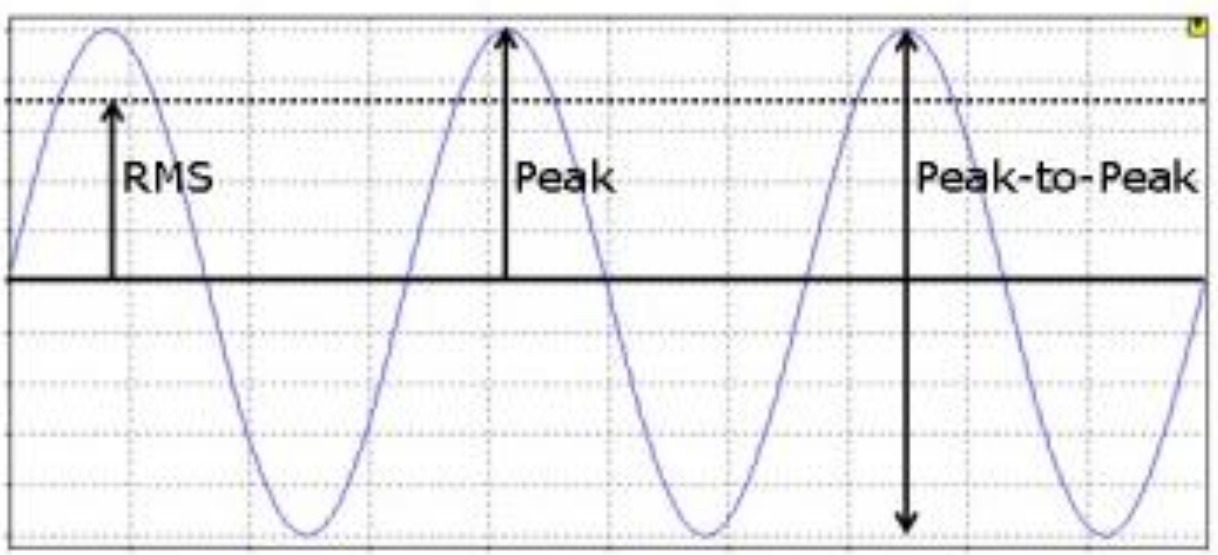
Otras fuentes de vibraciones

- El caucho introduce una nueva fuente de vibraciones.

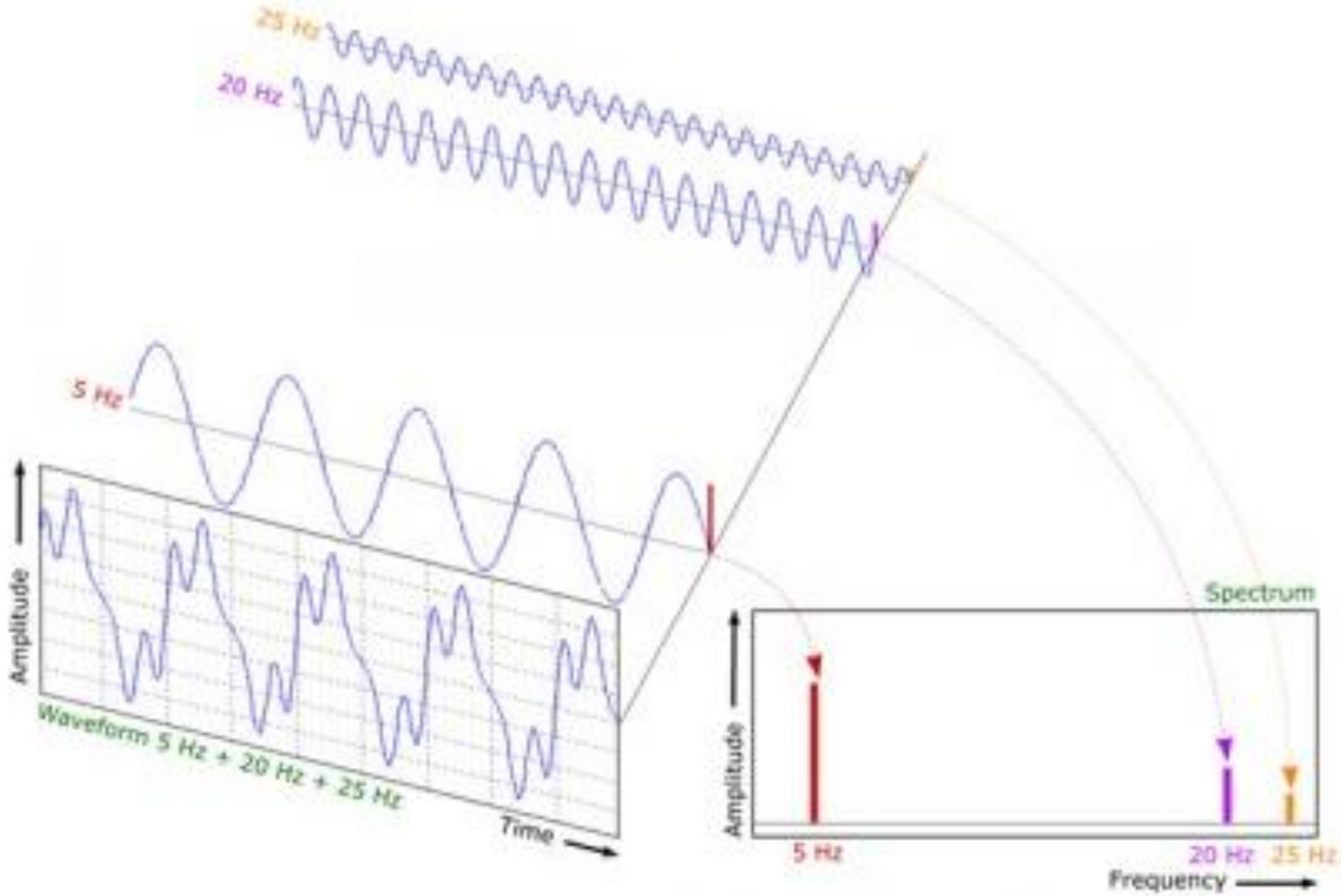


Simplificando el dato de vibración

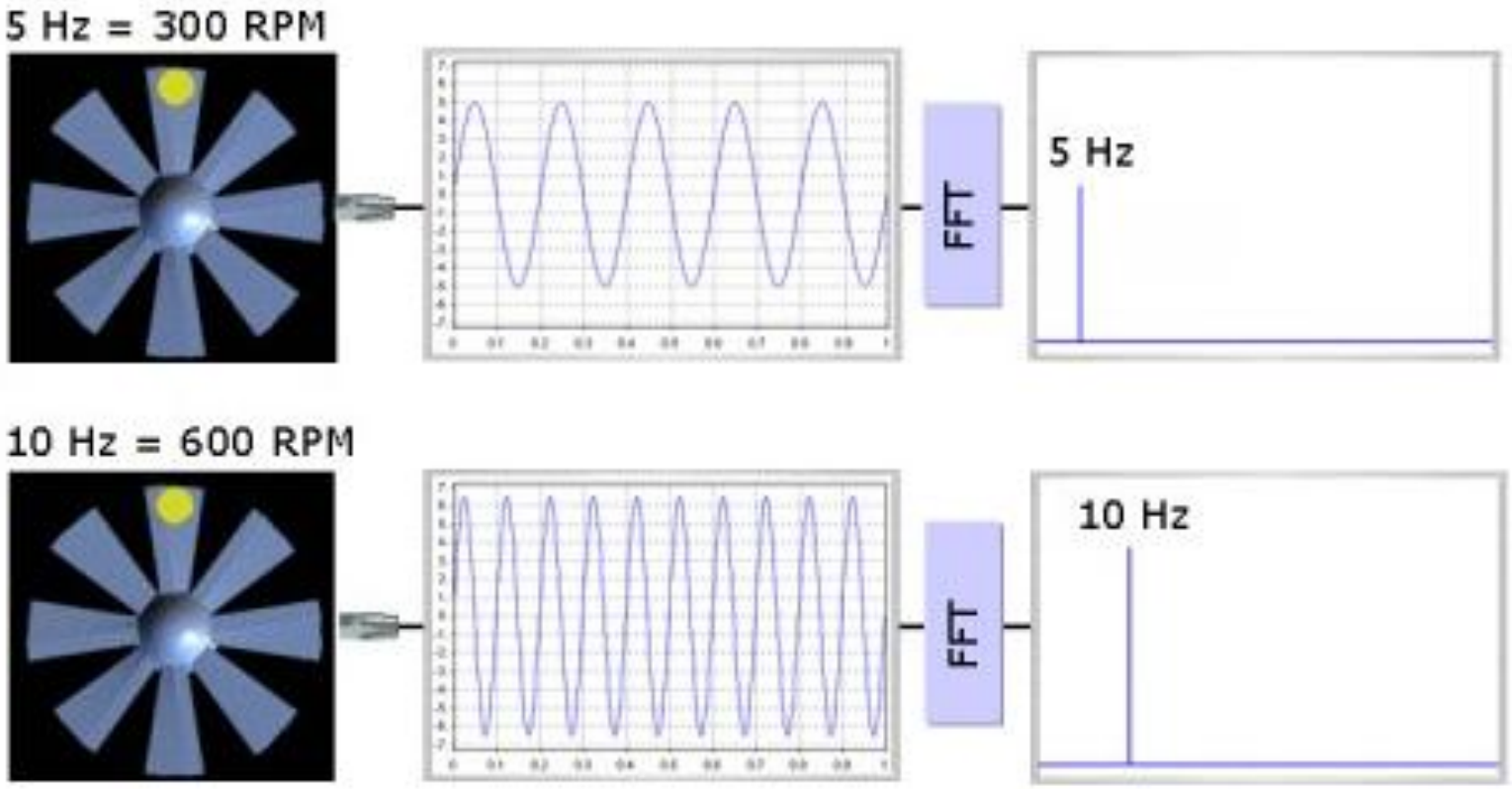
- Los valores de RMS (Root mean Square), Peak y Peak to Peak, han sido recolectados y tratados por muchos años.
- Ellos son fáciles de recolectar y analizar, sin embargo su aplicación es limitada.



Presentando al “espectro”



El espectro en detalle

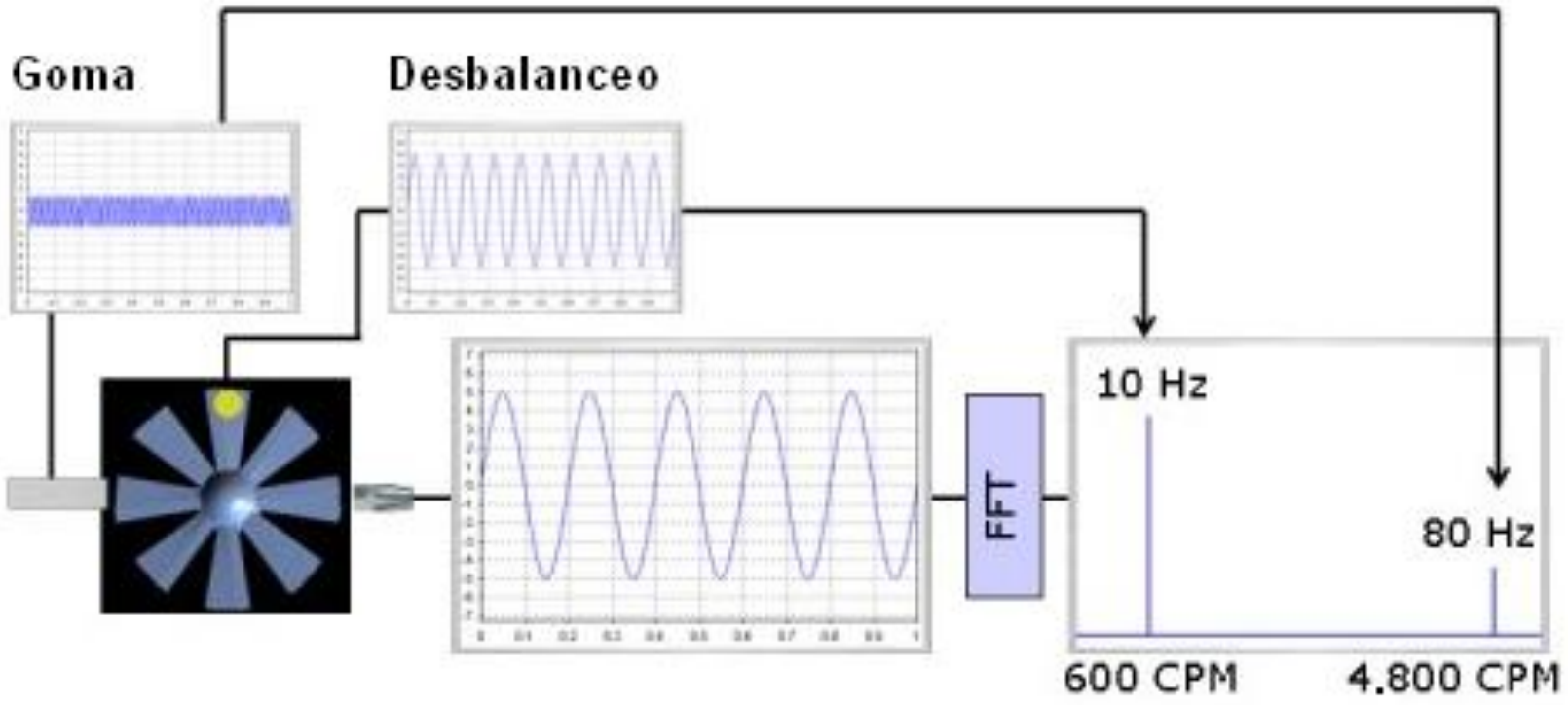


Controlar las condiciones del test

- Las vibraciones cambian cuando la velocidad y la carga cambian.
- La máquina debe operar en el mismo estado durante todo el test.
- Chequee la velocidad y la carga.



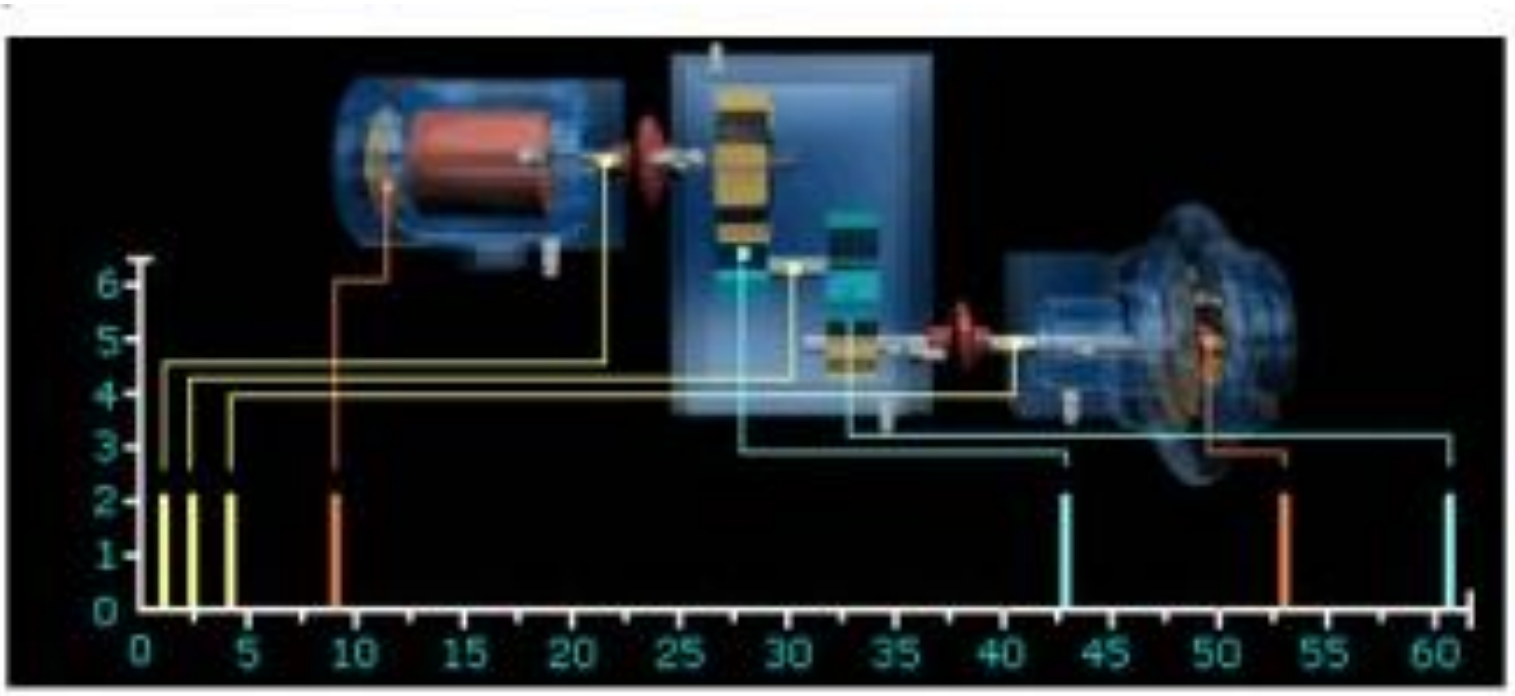
Un espectro más complejo



Presentando a “frecuencias forzadas”

- Cálculos especiales se usan para indicar donde concentrarse en el espectro – llamados “frecuencias forzadas”.

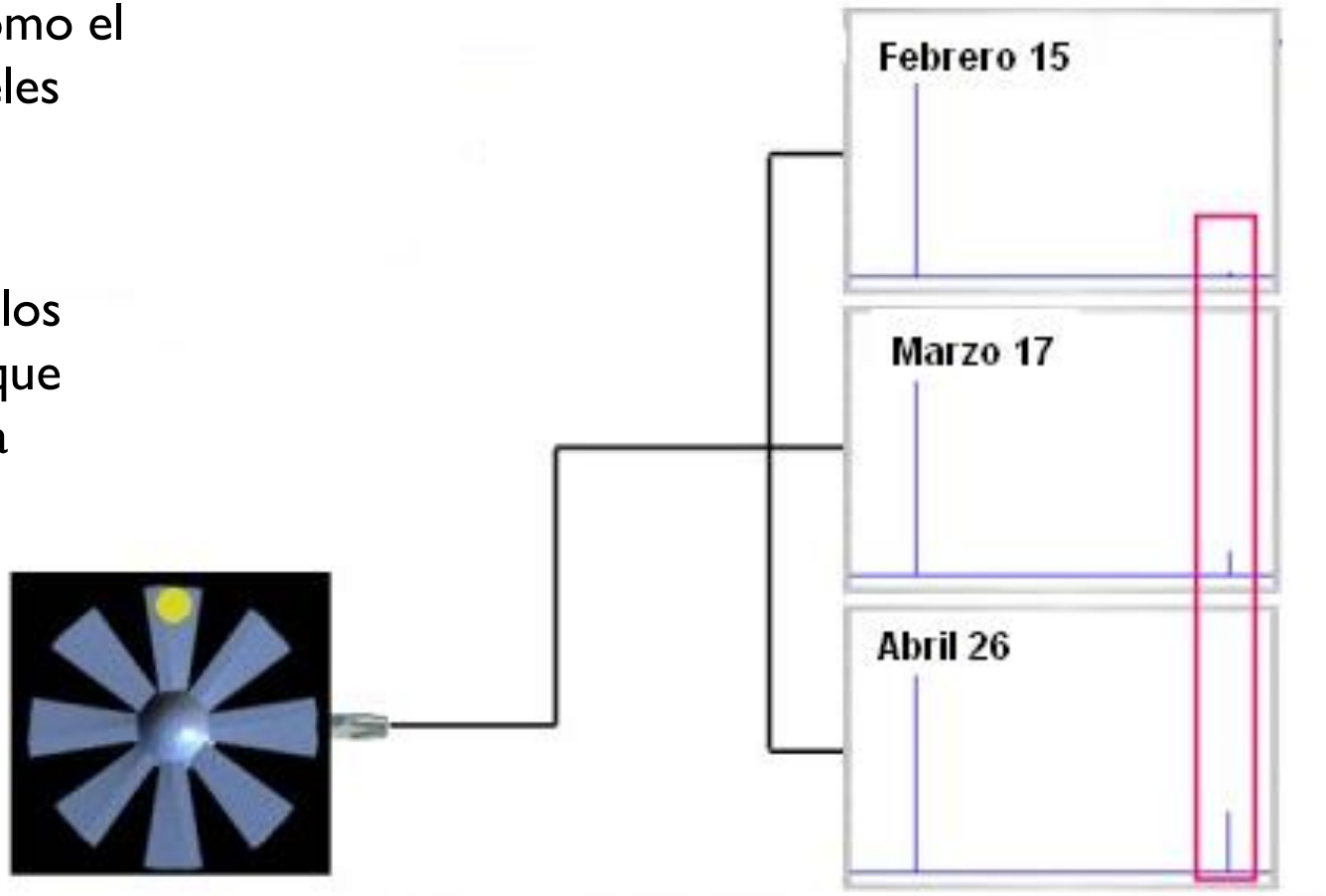
- La mayoría de los programas de análisis de vibraciones ejecutaran esos cálculos.



Una aplicación práctica

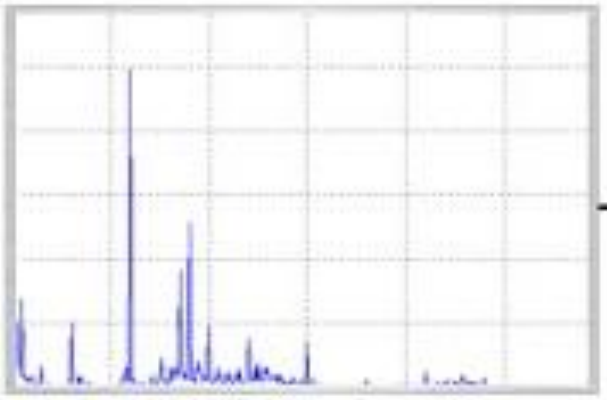
- En la práctica, lo que se observa es como el patrón y los niveles cambian.

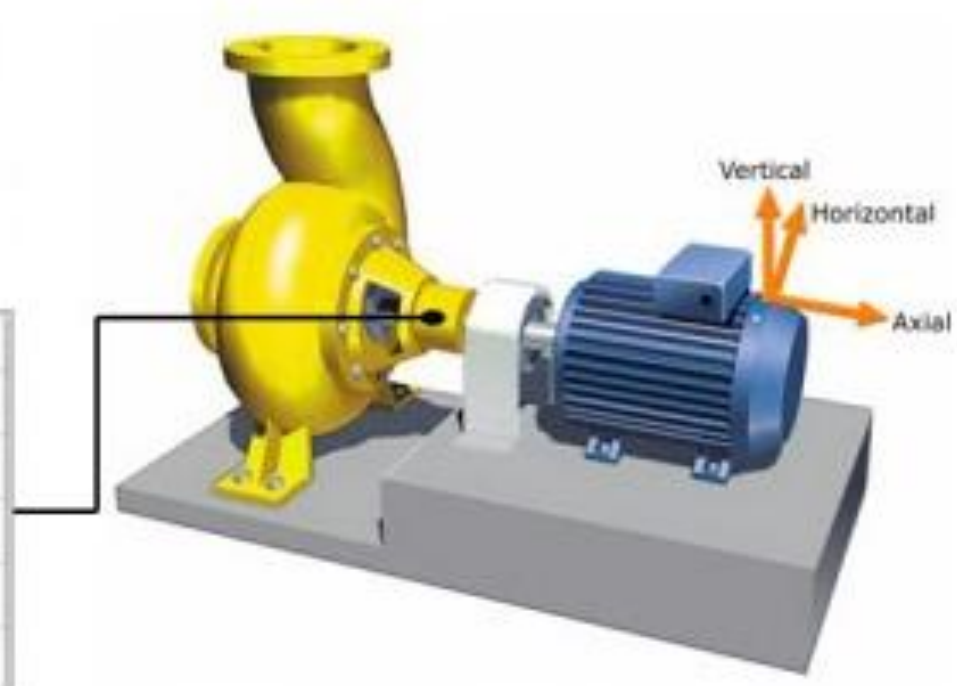
- Relacionaremos los cambios con lo que conocemos de la máquina.



Una aplicación práctica

- Los test son aplicados en general cada 30 días.
- Se testean en una máquina 2 o 3 rodamientos.
- Recolectar dato vertical, horizontal y axial.

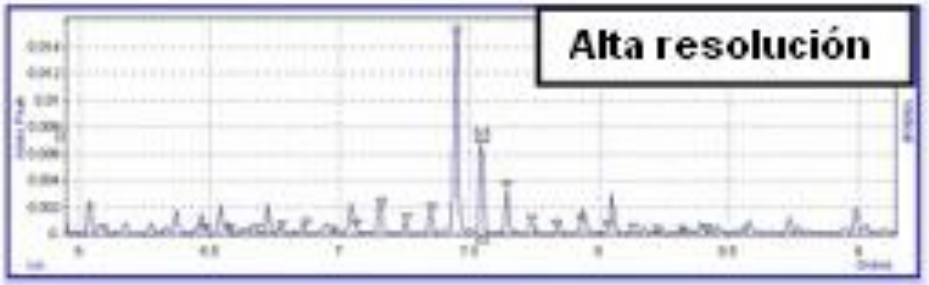


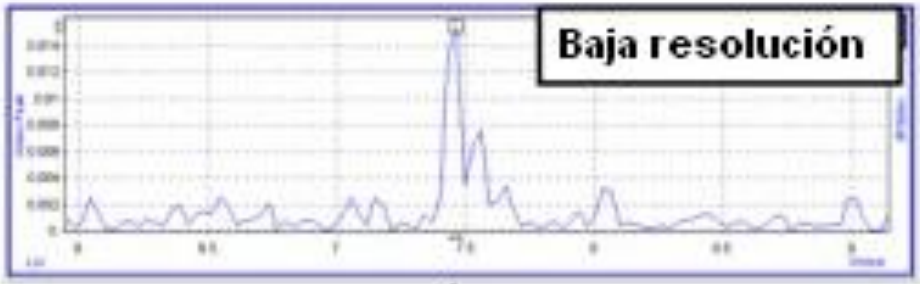


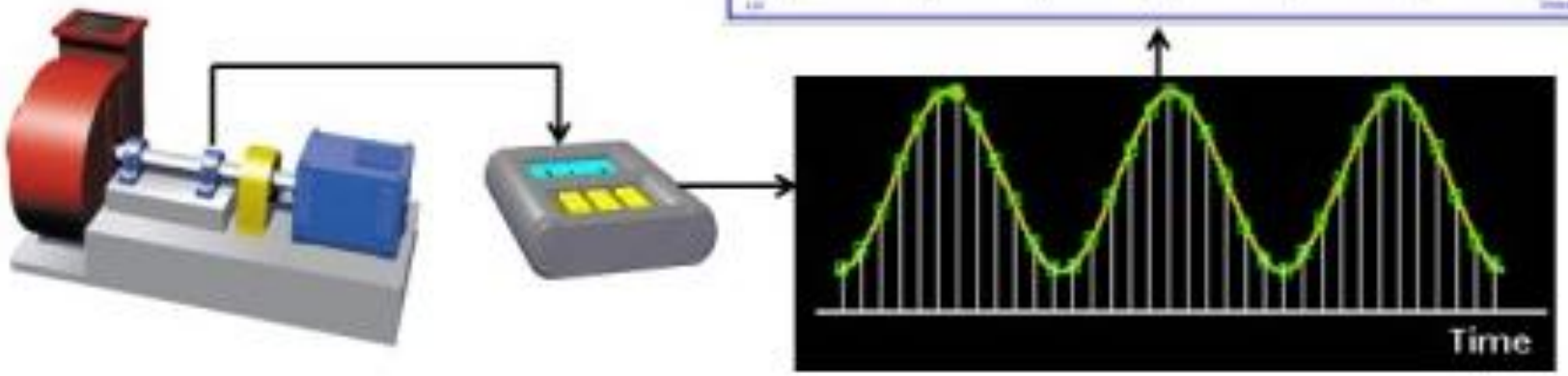
Presentando a la “resolución”

- El recolector de datos graba la señal eléctrica desde el sensor.

- La rapidez de grabación, el número de grabaciones, y la longitud del periodo determinan la “resolución” y el “Fmax”.

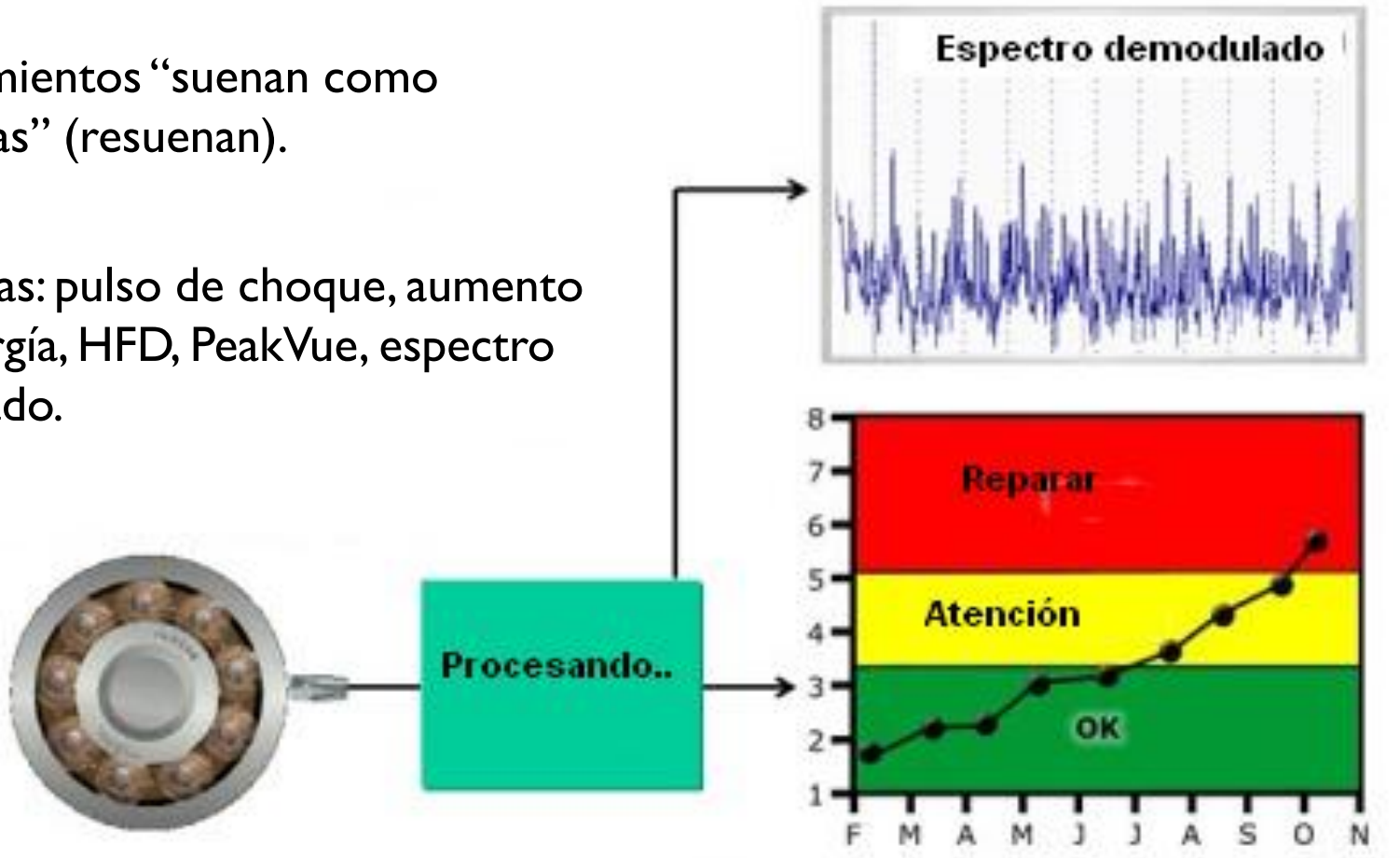






Técnicas para rodamientos de alta frecuencia

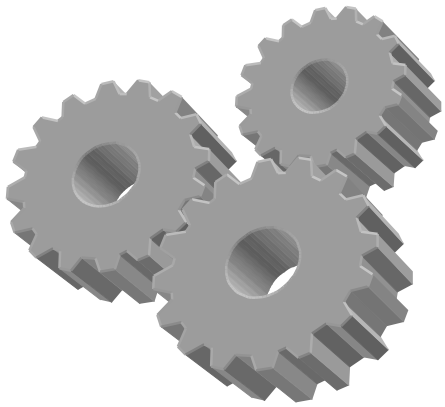
- Defectos en las bolitas/pista de rodadura crean "ondas de choque".
- Los rodamientos "suenan como campanillas" (resuenan).
- Tecnologías: pulso de choque, aumento de la energía, HFD, PeakVue, espectro demodulado.



PROYECTO

METODOLOGIA DE IMPLANTACION PARA EL DESARROLLO DE LA FUNCION MANTENIMIENTO EN UNA EMPRESA O REINGENIERIA DE MANTENIMIENTO

ANEXO METODOS DE GESTION



Autor: Ramon Arizaga Arcelus

TPM

Mantenimiento Productivo Total

1. Introducción
2. Conceptos y definiciones
3. Evolución de la Gestión de Mantenimiento
4. Mudas (desperdicios) de los equipos
5. Medios de mejora del mantenimiento
6. Etapas de implementación
7. Actividades fundamentales
8. Conclusiones
9. Anexo – Mantenimiento Autónomo
10. Bibliografía

1. Introducción

El TPM (Mantenimiento Productivo Total) surgió en Japón gracias a los esfuerzos del Japan Institute of Plant Maintenance (JIPM) en general y del Ingeniero Seiichi Nakajima en particular, como un sistema destinado a lograr la eliminación de *las seis grandes pérdidas de los equipos* , a los efectos de poder hacer factible la producción "Just in Time", la cual tiene como objetivos primordiales la eliminación sistemática de desperdicios.

Estas seis grandes pérdidas se hallan directa o indirectamente relacionadas con los equipos dando lugar a reducciones en la eficiencia del sistema productivo en tres aspectos fundamentales:

- Tiempos muertos o paro del sistema productivo.
- Funcionamiento a velocidad inferior a la capacidad de los equipos.
- Productos defectuosos o malfuncionamiento de las operaciones en un equipo.

El TPM es en la actualidad uno de los sistemas fundamentales para lograr la *eficiencia total* , en base a la cual es factible alcanzar la *competitividad total*. La tendencia actual a mejorar cada vez más la competitividad supone elevar al unísono y en un grado máximo la eficiencia en calidad, tiempo y coste de la producción e involucra a la empresa en el TPM conjuntamente con el TQM.

La empresa industrial tradicional suele estar dotada de sistemas de gestión basados en la producción de series largas con poca variedad de productos y tiempos de preparación largos, con tiempos de entrega asimismo largos, trabajadores con una formación muy especificada y control de calidad en base a la inspección del producto. Cuando dicha empresa ha precisado emigrar desde este sistema a otros más ágiles y menos costosos, ha necesitado

mejorar los tiempos de entrega, los costes y la calidad simultáneamente, es decir, la competitividad, lo que le ha supuesto entrar en la dinámica de gestión contraria a cuanto hemos mencionado: series cortas, de múltiples productos, en tiempos de operaciones cortos, con trabajadores polivalentes y calidad basada en procesos que llegan a sus resultados en "la primera".

Así pues, entre los sistemas sobre los cuales se basa la aplicación del Kaizen, se encuentra en un sitio especial es TPM, que a su vez hace viable al otro sistema que sostiene la práctica del Kaizen que es el sistema "Just in Time".

El resultado final que se persigue con la implementación del Mantenimiento Productivo Total es lograr un conjunto de equipos e instalaciones productivas más eficaces, una reducción de las inversiones necesarias en ellos y un aumento de la flexibilidad del sistema productivo.

2. Conceptos y definiciones

El objetivo del mantenimiento de máquinas y equipos lo podemos definir como conseguir un determinado nivel de disponibilidad de producción en condiciones de calidad exigible, al mínimo coste y con el máximo de seguridad para el personal que las utiliza y mantiene.

Por disponibilidad se entiende la proporción de tiempo en que está dispuesta para la producción respecto al tiempo total. Esta disponibilidad depende de dos factores críticos:

1. la frecuencia de las averías, y
2. el tiempo necesario para reparar las mismas.

El primero de dichos factores recibe el nombre de *fiabilidad*, es un índice de la calidad de las instalaciones y de su estado de conservación, y se mide por el tiempo medio entre averías.

El segundo factor denominado *mantenibilidad* es representado por una parte de la bondad del diseño de las instalaciones y por otra parte de la eficacia del servicio de mantenimiento. Se calcula como el inverso del tiempo medio de reparación de una avería.

En consecuencia, un adecuado nivel de *disponibilidad* se alcanzará con unos óptimos niveles de *fiabilidad* y de *mantenibilidad*. Es decir, expresado en lenguaje corriente, que ocurran pocas averías y que éstas se reparen rápidamente.

3. Evolución de la Gestión de Mantenimiento

Para llegar al Mantenimiento Productivo Total hubo que pasar por tres fases previas.

Siendo la primera de ellas el *Mantenimiento de Reparaciones* (o *Reactivo*), el cual se basa exclusivamente en la reparación de averías. Solamente se procedía a labores de mantenimiento ante la detección de una falla o avería y, una vez ejecutada la reparación todo quedaba allí.

Con posterioridad y como segunda fase de desarrollo se dio lugar a lo que se denominó el *Mantenimiento Preventivo*. Con ésta metodología de trabajo se busca por sobre todas las cosas la mayor rentabilidad económica en base a la máxima producción, estableciéndose para ello funciones de mantenimiento orientadas a detectar y/o prevenir posibles fallos antes que tuvieran lugar.

En los años sesenta tuvo lugar la aparición del *Mantenimiento Productivo*, lo cual constituye la tercer fase de desarrollo antes de llegar al TPM. El Mantenimiento Productivo incluye los principios del Mantenimiento Preventivo, pero le agrega un plan de mantenimiento para toda la vida útil del equipo, más labores e índices destinamos a mejorar la *fiabilidad* y *mantenibilidad.*

Finalmente llegamos al *TPM* el cual comienza a implementarse en Japón durante los años sesenta. El mismo incorpora una serie de nuevos conceptos a los desarrollados a los métodos previos, entre los cuales caben destacar el *Mantenimiento Autónomo*, el cual es ejecutado por los propios operarios de producción, la participación activa de todos los empleados, desde los altos cargos hasta los operarios de planta. También agrega a conceptos antes desarrollados como el *Mantenimiento Preventivo*, nuevas herramientas tales como las *Mejoras de Mantenibilidad*, la *Prevención de Mantenimiento* y el *Mantenimiento Correctivo*.

El TPM adopta cómo filosofía el principio de mejora continua desde el punto de vista del mantenimiento y la gestión de equipos. El Mantenimiento Productivo Total ha recogido también los conceptos relacionados con el *Mantenimiento Basado en el Tiempo* (MBT) y el *Mantenimiento Basado en las Condiciones* (MBC).

El MBT trata de planificar las actividades de mantenimiento del equipo de forma periódica, sustituyendo en el momento adecuado las partes que se prevean de dichos equipos, para garantizar su buen funcionamiento. En tanto que el MBC trata de planificar el control a ejercer sobre el equipo y sus partes, a fin de asegurarse de que reúnan las condiciones necesarias para una operativa correcta y puedan prevenirse posibles averías o anomalías de cualquier tipo.

El TPM constituye un nuevo concepto en materia de mantenimiento, basado este en los siguientes cinco principios fundamentales:

- Participación de todo el personal, desde la alta dirección hasta los operarios de planta. Incluir a todos y cada uno de ellos permite garantizar el éxito del objetivo.
- Creación de una cultura corporativa orientada a la obtención de la máxima eficacia en el sistema de producción y gestión de los equipos y maquinarias. De tal forma se trata de llegar a la Eficacia Global.
- Implantación de un sistema de gestión de las plantas productivas tal que se facilite la eliminación de las pérdidas antes de que se produzcan y se consigan los objetivos.

- Implantación del mantenimiento preventivo como medio básico para alcanzar el objetivo de cero pérdidas mediante actividades integradas en pequeños grupos de trabajo y apoyado en el soporte que proporciona el mantenimiento autónomo.
- Aplicación de los sistema de gestión de todos los aspectos de la producción, incluyendo diseño y desarrollo, ventas y dirección.

La aplicación del TPM garantiza a las empresas resultados en cuanto a la mejora de la productividad de los equipos, mejoras corporativas, mayor capacitación del personal y transformación del puesto de trabajo.

Entre los objetivos principales y fundamentales del TPM se tienen:

- Reducción de averías en los equipos.
- Reducción del tiempo de espera y de preparación de los equipos.
- Utilización eficaz de los equipos existentes.
- Control de la precisión de las herramientas y equipos.
- Promoción y conservación de los recursos naturales y economía de energéticos.
- Formación y entrenamiento del personal.

4. Mudas (pérdidas o despilfarros) de los equipos

- Por un lado se tienen las averías y tiempos de preparación que ocasionan tiempos muertos o de vacío.
- En segundo término tenemos a el funcionamiento a velocidad reducida y los tiempos en vacío, todo lo cual genera pérdidas de velocidad del proceso.
- Y por último tenemos los pérdidas por productos y procesos defectuosos ocasionados por los defectos de calidad y repetición del trabajo.

Estas pérdidas deben ser eliminadas o reducidas a su mínima expresión.

5. Medios de mejora del mantenimiento

AVERIAS	Suprimir las causas
	Anticiparse- Mantenimiento Preventivo
REPUESTOS	Gestion Racional
MANO DE OBRA	Facilitar el Trabajo
	Mejorar la utilizacion de los Medios
	Utilizacion del Personal Operativo

6. Etapas de implementación

La implementación está conformada por un total de cinco fases, las cuales comprenden una serie de fases, las cuales se resumen a continuación:

1	Decisión de la dirección de aplicar el TPM como proyecto de empresa	Formación a la Dirección
2	Información y formación Técnica	Presentación a la Dirección
3	Crear una estructura de pilotaje del TPM (empresas grandes)	- Comisiones
		Animadores
4	Diagnóstico de la situación de partida. Indicadores de progreso técnicos.	Banco de datos de valores técnico económicos (capitalizar el histórico)
5	Redacción de un plan tipo. Objetivos metas y recursos	- Despliegue de objetivos y políticas: se estableces las actividades con responsables y plazo
6	Lanzamiento	-Implicación en las 5S
		- Presentación del plan con responsables y plazo
7	Implantación de la mejora continua en los sistemas y procesos (MTO Condicional)	Análisis de problemas diarios (MTO condicional)
		- Gestión por prioridades
		- Grupo de fiabilización
8	Desarrollo del Automantenimiento y MTO preventivo	- Plan de automantenimiento
		- Formación a los operadores
		- Control de parámetros
9	Desarrollo de mantenimiento programado	-Mejora de la gestión del mantenimiento programado.
		Formación
		- Estudio de las máquinas típicas
		Fiabilización de las máquinas
10	Formación del equipo humano en los métodos y experiencias del mantenimiento global	-Entrevistas/evaluación de competencias
		- Contrato de formación/curso
		- Gestión de la polivalencia
		- Grupos de fiabilización
11	Integrar el TPM en los sistemas de gestión, diseño y construcción de nuevos equipos	Máquinas
		- Compra de nuevos equipos
		-Integración de los indicadores de medida
		Grupos de fiabilización
12	Certificar la aplicación TPM	- Mejorar la formación
		- Auditar-definir nuevos objetivos

7. Actividades fundamentales

- *Mantenimiento Autónomo*. Comprende la participación activa por parte de los operarios en el proceso de prevención a los efectos de evitar averías y deterioros en las máquinas y equipos. Tiene especial trascendencia la aplicación práctica de las *Cinco "S"*. Una característica básica del TPM es que son los propios operarios de producción quieres llevan a término el *mantenimiento autónomo*, también denominado *mantenimiento de primer nivel* . Algunas de las tareas fundamentales son: limpieza, inspección, lubricación, aprietes y ajustes.

- *Aumento de la efectividad del equipo mediante la eliminación de averías y fallos*. Se realiza mediante medidas de prevención vía rediseño-mejora o establecimiento de pautas para que no ocurran.

- *Mantenimiento Planificado*. Implica generar un programa de mantenimiento por parte del departamento de mantenimiento. Constituye el conjunto sistemático de actividades programadas a los efectos de acercar progresivamente la planta productiva a los objetivos de: cero averías, cero defectos, cero despilfarros, cero accidentes y cero contaminación. Este conjunto de labores serán ejecutadas por personal especializado en mantenimiento.

- *Prevención de Mantenimiento*. Mediante los desarrollo de ingeniería de los equipos, con el objetivo de reducir las probabilidades de averías, facilitar y reducir los costos de mantenimientos. Se trata pues de optimizar la gestión del mantenimiento de los equipos desde la concepción y diseño de los mismos, tratando de detectar los errores y problemas de funcionamiento que puedan producirse como consecuencia de fallos de concepción, diseño, desarrollo y construcción del equipo, instalación y pruebas del mismo hasta que se consiga el establecimiento de su operación normal con producción regular. El objetivo es lograr un equipo de fácil operación y mantenimiento, así como la reducción del período entre la fase de diseño y la operación estable del equipo y la elevación en los niveles de fiabilidad, economía y seguridad, reduciendo los niveles y riesgos de contaminación.

- *Mantenimiento Predictivo*. Consistente en la detección y diagnóstico de averías antes de que se produzcan. De tal forma pueden programarse los paros para reparaciones en los momentos oportunos. La filosofía de este tipo de mantenimiento se basa en que normalmente las averías no aparecen de repente, sino que tienen una evolución. Así pues el Mantenimiento Predictivo se basa en detectar estos defectos con antelación para corregirlos y evitar paros no programados, averías importantes y accidentes. Entre los beneficios de su aplicación tenemos: a) Reducción de paros; b) Ahorro en los costos de mantenimiento; c) Alargamiento de vida de los equipos; d) Reducción de daños provocados por averías; e) Reducción en el número de accidentes; f) Más eficiencia y calidad en el funcionamiento de la planta; g) Mejoras de relaciones con los clientes, al disminuir o eliminar los retrasos. Entre las tecnologías utilizadas para el monitoreo predictivo tenemos: a) análisis de vibraciones; b) análisis de muestras de lubricantes; c) termografía; y, d) Análisis de las respuestas acústicas.

8. Conclusiones

La búsqueda de una más eficaz y eficiente utilización de las máquinas y equipos hace menester tanto su planificación, como la capacitación del personal, pero para ello es fundamental que antes los directivos tomen conciencia de todos lo que está en juego a tras de un excelente sistema de mantenimiento. Tanto sea a nivel industrial cómo de servicios, tanto los costos, como la productividad, la calidad, la seguridad, la satisfacción del cliente y el cumplimiento de plazos depende en gran medida del no sólo buen funcionamiento de los equipos sino del muy buen funcionamiento que de ellos pueda obtenerse. Cómo en el caso del control de calidad, incrementar los costos en materia preventiva termina generando no sólo un menor coste total de mantenimiento, sino también un menor coste total.

La notable importancia que tiene el TPM en la eliminación de desperdicios le confiere un lugar especial tanto en el Sistema Kaizen como en el Sistema Just in Time. Todavía una multitud de pequeñas y medianas empresas no han sabido tomar en debida consideración la gran importancia que tiene para el mejoramiento de sus resultados económicos la implementación de sistemas destinados a mejorar el mantenimiento de los equipos, el cambio rápido de herramientas, la reducción de los tiempos de preparación, la mejora del layout en la planta y oficinas, el mejoramiento en los niveles de calidad, el control y reducción en el consumo de energía, la mayor participación de los empleados vía círculos de control de calidad, círculos de incremento de productividad y sistemas de sugerencias entre otros. Son numerosas las armas de las cuales pueden disponer las pequeñas y medianas empresas, y notables los resultados que de ellas pueden obtener.

Un mejor mantenimiento implica no sólo reducir los costes de reparaciones y los costes por improductividades debidos a tiempos ociosos, sino también elimina la necesidad de contar con inventarios de productos en proceso y terminados destinados a servir de "colchón" ante las averías producidas. Al mejorar los servicios a los clientes y consumidores reduce la rotación de estos y reduce el coste de obtención de nuevos clientes, facilitando las ventas de bienes y servicios con carácter repetitivo. Por supuesto que un mejor mantenimiento alarga la vida útil del equipo, como así también permite un mejor precio de reventa. El mejor funcionamiento de las máquinas no sólo evita la generación de productos con fallas, también evita la polución ambiental, elimina los riesgos de accidentes y con ellos disminuye los costes del seguro, reduce o elimina los niveles de contaminación y las consecuente multas, incrementa los niveles de productividad, y por tanto los costes de producción. *Todos éstos son motivos más que suficientes para considerar muy seriamente su implantación*.

Cabría hacerse la pregunta de *porqué existiendo instrumentos o metodologías tan significativas para mejorar los rendimientos de las empresas, las mismas no son utilizadas?* Las razones son numerosas y exponerlas lleva a la necesidad de otras investigaciones y exposiciones, pero entre las principales tenemos: una visión corto placista en la cual se privilegia la obtención de utilidades inmediatas en oposición a la generación sostenida de beneficios a mediano y largo plazo, un segundo factor tiene que ver con la supervivencia de paradigmas taylorianos y fordista propios de otra era del proceso económico productivo. Y un tercer y último factor a mencionar cómo importante es la tradicional resistencia al cambio.

9. Anexo – Mantenimiento Autónomo

Los 7 pasos del Mantenimiento Autónomo son:

0.- Selección del equipo o la línea piloto

1.- Limpieza inicial

2.- Fuentes de contaminación y áreas de difícil acceso

3.- Estándares de limpieza y lubricación

4.- Inspección general

5.- Inspección autónoma

6.- Organización y limpieza en el área de trabajo

7.- Implementación total de Mantenimiento Autónomo

10. Bibliografía

Ingeniería de Mantenimiento – *Rabelo* – Nueva Librería – 1997

Mantenimiento de Máquinas Eléctricas – *Orrego* – Paraninfo – 2002

Gestión Integral de Mantenimiento – *Navarro* – Marcombo – 1997

El mantenimiento. Fuente de beneficios – *Souris* – Díaz de Santos – 1992

MODELO EFQM. GESTION EXCELENTE

CRITERIOS

La satisfacción del cliente, la satisfacción de los empleado y un impacto positivo en la sociedad se consiguen mediante el liderazgo en política y estrategia, una acertada gestión del personal, el uso eficiente de los recursos y una adecuada definición de los procesos, lo que conduce finalmente a la excelencia de los resultados empresariales.



Principios de excelencia

- ORIENTACIÓN A RESULTADOS
- PASIÓN POR EL CLIENTE
- LIDERAZGO Y COHERENCIA EN OBJETIVOS
- GESTION POR PROCESOS Y HECHOS
- DESARROLLO E IMPLICACIÓN DE TODOS
- APRENDIZAJE, INNOVACIÓN, MEJORA CONTINUA
- DESARROLLO DE ALIANZAS
- RESPONSABILIDAD SOCIAL

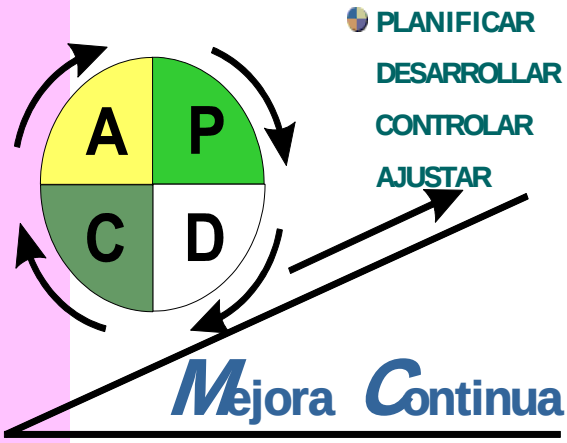
1. LIDERAZGO. Como el comportamiento y las actuaciones del equipo directivo y de los demás líderes de la organización, estimulan, apoyan y fomentan una cultura de gestión de la calidad.
2. POLÍTICA Y ESTRATEGIA. Cómo la organización formula, desarrolla y revisa su política y estrategia y la convierte en planes y acciones
3. GESTION DEL PERSONAL. Como aprovecha la organización todo el potencial de su plantilla
4. RECURSOS. Como gestiona la organización sus recursos de manera eficaz y eficiente.
5. PROCESOS. Como la organización, identifica, gestiona, revisa y mejora sus procesos.
6. RESULTADO EN LOS CLIENTES. Qué éxitos ha conseguido con relación a la satisfacción de los clientes
7. RESULTADO EN LAS PERSONAS. Qué resultados se han obtenido en relación con la satisfacción del personal
8. IMPACTO EN LA SOCIEDAD. Qué se está consiguiendo con relación a la satisfacción de las necesidades y expectativas de la sociedad. Cómo es percibida la manera en que la organización entiende la calidad de vida y entorno.
9. RESULTADOS CLAVES. Qué resultados se han obtenido respecto a los objetivos empresariales planificados y la satisfacción de las necesidades y expectativas de todos aquellos que tengan intereses en la organización

Objetivos modelo EFQM

- **Detección de Puntos fuertes**
- **Areas de mejora**
- **Diseño y desarrollo continuo de planes y acciones de mejora**

Fase Previa

El Origen de todo. El motor del modelo EFQM



- PLANIFICAR
- DESARROLLAR
- CONTROLAR
- AJUSTAR

Investigar al cliente

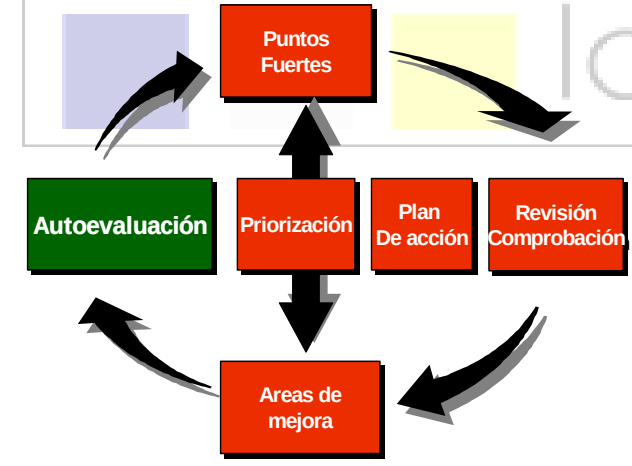
Gestión procesos

Trabajo en equipo

- Satisfacción del cliente
- Mejora continua
- Participación de todos

Liderazgo sólido

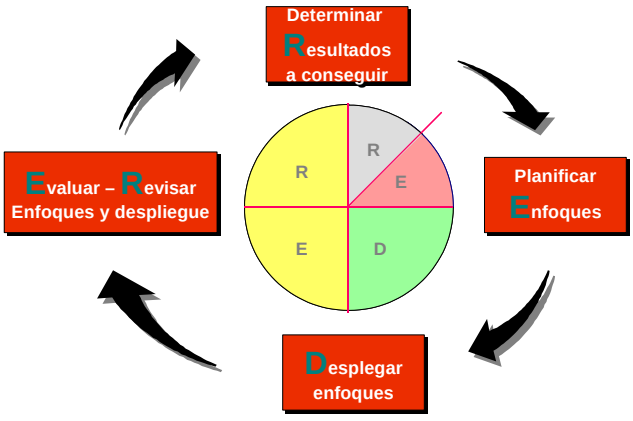
La base del modelo EFQM



La base del modelo es la **Autoevaluación.**

Realizamos un examen global y sistemático de las actividades **(AGENTES)** y resultados **(RESULTADOS)** de mi organización y la comparamos con un modelo de excelencia empresarial **(EMPRESA PUNTERA).**

La **Autoevaluación** permite a mi organización identificar claramente los **PUNTOS FUERTES y AREAS DE MEJORA**, y al equipo directivo, reconocer las carencias más significativas, induciendo a sugerir planes de acción con los que mejorar.



Las reglas de evaluación para cada uno de los criterios definidos (LIDERAZGO, ESTRATEGIA, PERSONAS, RECURSOS, PROCESOS, RESULTADOS), se basan en la **lógica REDER**

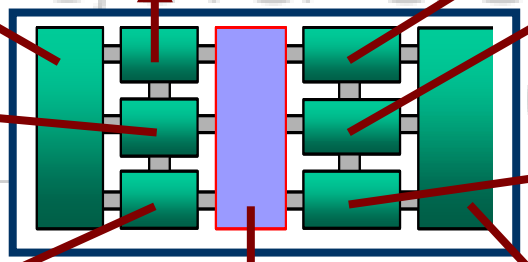
Fase Previa

Pilar Básico. Las Personas

Las organizaciones son lo que las personas que en ella trabajan quieran ser y para conseguir que algo se haga...

Y para saber si se ha conseguido, hay que evaluar, midiendo los resultados...

- Que quiera hacerlo
  LIDERAZGO
- Que haya quién lo haga
  PERSONAS
- Que sepa qué y por qué hacer
  POLÍTICA Y ESTRATEGIA



- Que tengan los medios
  RECURSOS
- Que sepa cómo hacerlo
  PROCESOS

- En los empleados
  PERSONAS
- En los clientes
  CLIENTES
- En la sociedad
  SOCIEDAD
- Para los accionistas-organización
  CLAVE

Fase Previa

Ejemplo de aplicación: AEROPUERTO

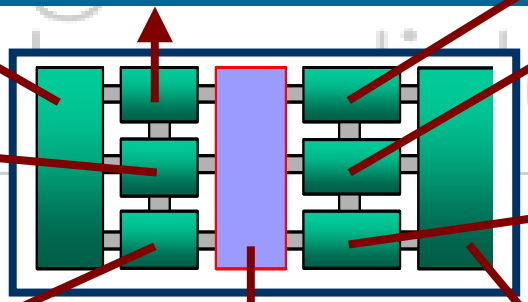
Idea sobre la aplicación práctica del modelo EFQM. **Identificar los principales actores.**

Vosotr@s sois los gerentes

LIDERAZGO
¿Cómo dirigen los líderes el aeropuerto?
Desarrollo de la Misión Visión
Garantizan la mejora continua
Relación con clientes y G.Interés
Reconocimiento del Personal

PERSONAS
Gestión
Informática
Mantenimiento
Seguridad
Limpieza
...

POLÍTICA Y ESTRATEGIA
¿Servicio local o Internacional?
¿Plan estratégico?
¿Servicio en función de las necesidades del cliente?
Comunicar el Plan



CLIENTES
Pasajeros
Tripulaciones
Otras compañías aéreas

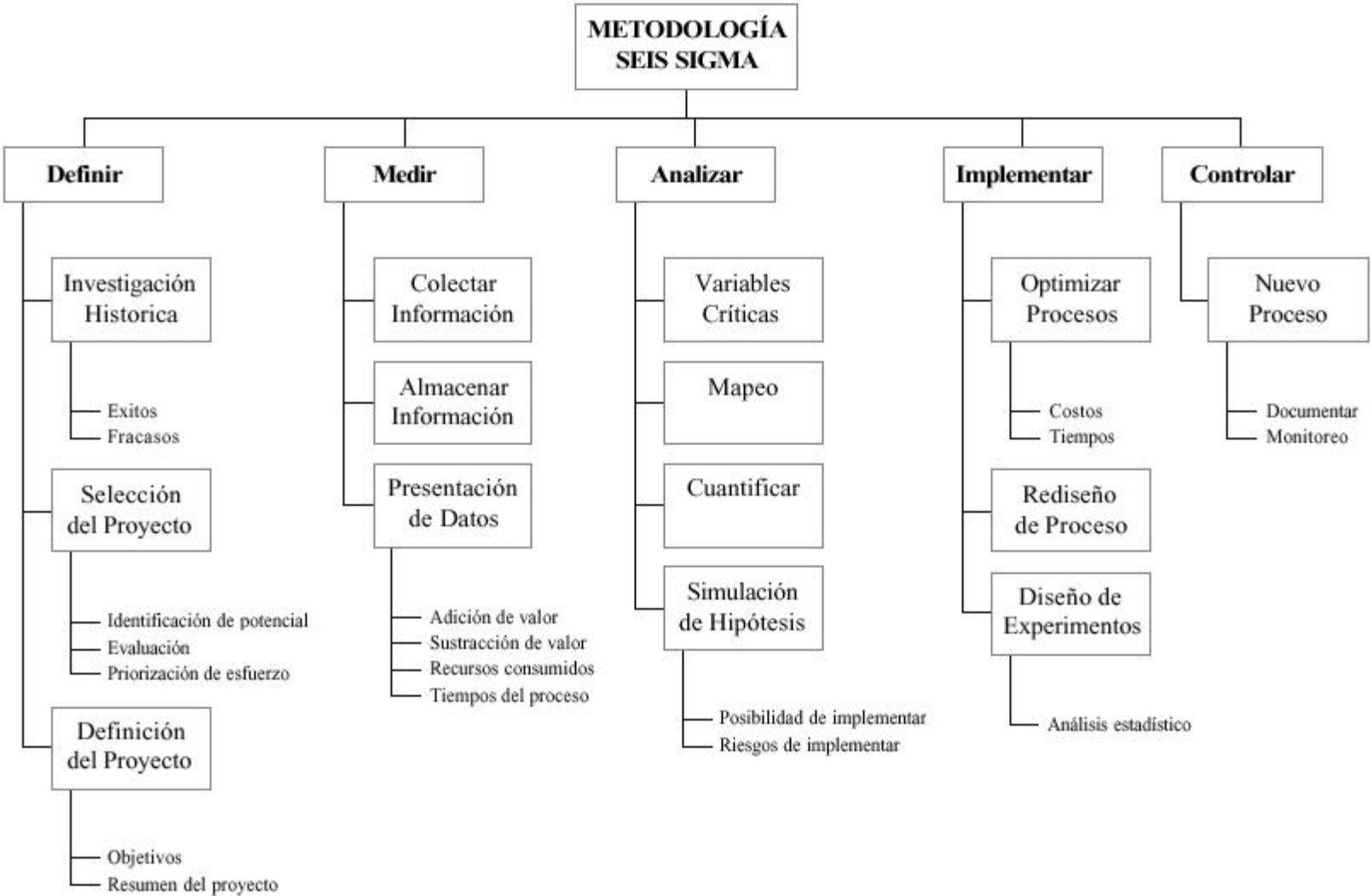
SOCIEDAD
Politica medioambiental
Ruidos
Investigación consumo
Avances tecnológicos aplicables

ALIANZAS Y RECURSOS
Económicos, materiales
Gestión Tecnlogía e información
Equipamiento, financiación
Sistemas de información
Aianzas con ayuntamientos, gobierno

PROCESOS
Facturación
Embarque y desembarque
Rutas
Relación con clientes
...

Fase Previa

Fase Previa


METODOLOGÍA SEIS SIGMA
Definir
Investigación Historica
Exitos
Fracasos
Selección del Proyecto
Identificación de potencial
Evaluación
Priorización de esfuerzo
Definición del Proyecto
Objetivos
Resumen del proyecto
Medir
Colectar Información
Almacenar Información
Presentación de Datos
Adición de valor
Sustracción de valor
Recursos consumidos
Tiempos del proceso
Analizar
Variables Críticas
Mapeo
Cuantificar
Simulación de Hipótesis
Posibilidad de implementar
Riesgos de implementar
Implementar
Optimizar Procesos
Costos
Tiempos
Rediseño de Proceso
Diseño de Experimentos
Análisis estadístico
Controlar
Nuevo Proceso
Documentar
Monitoreo

ESTRATEGIA SEIS SIGMA EN MANTENIMIENTO

Charlas para la gestión del mantenimiento

Fernando Espinosa Fuentes

¿Que es Six Sigma?

- Six Sigma es una metodología de la gerencia de calidad que provee a las empresas de herramientas para mejorar la capacidad de sus procesos de negocios.

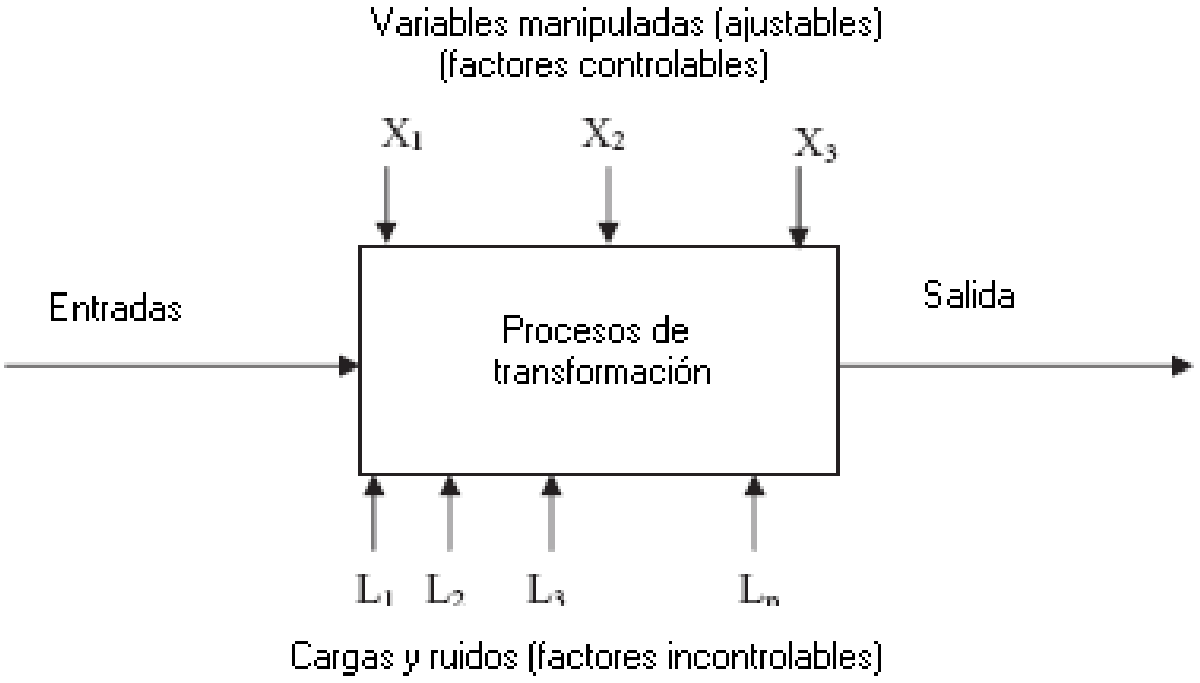
- Este aumento en el desempeño y la disminución de la variación de los procesos conducen a la reducción de defectos y a la mejora de los beneficios, de la moral del empleado y de la calidad del producto.

- **Se centra en el control de un proceso para llevarlo desde su línea de partida hasta el punto six sigma (desviaciones del estándar) es decir, a un nivel de 3,4 defectos por un millón de productos producidos.**

- La Estrategia Seis Sigma es un nuevo enfoque de mejora continua.

- En términos matemáticos, el valor de la respuesta de la variable dependiente Y cambia como función de las variables independientes (o variables ajustables) x_1, x_2, x_3, …, x_n de n factores cuantitativos, tal como:
- Salida = f(Entradas) o Y = f(x) = f(x_1, x_2, x_3, …, x_n)

- Donde f es llamada la función respuesta e Y es la variable dependiente (en términos Six Sigma es la medida del objetivo estratégico o síntoma) y x es la variable independiente (o causa)



Y : tiempo de entrega
x : elección del transporte, tiempo abastecimiento, seguridad en la entrega, servicios de información.
Y : Período de falla
x: experiencia, técnicas de análisis de fallas y mantenimiento

Sigma

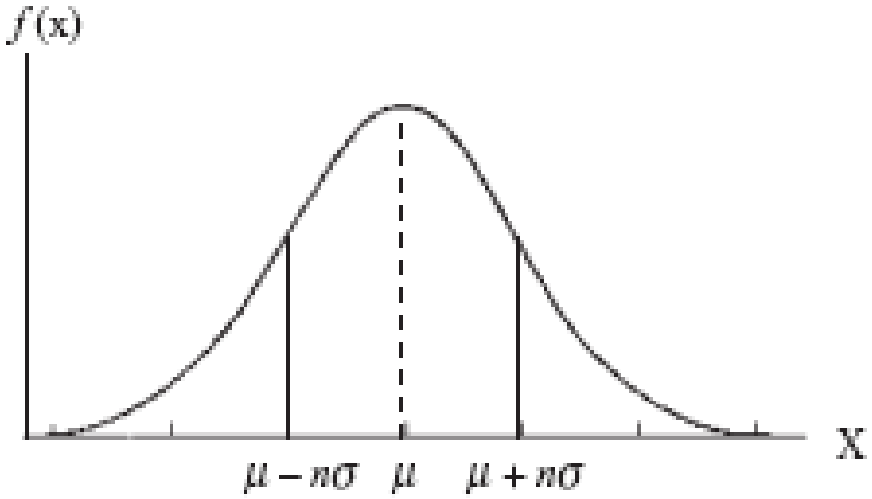
- Las x(s) son llamadas variables independientes (causa) e y(s) las dependiente (síntoma). La representación polinomial puede ser expresada mediante la ecuación de la regresión:

- $yn = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \ldots + b_{11}x_1^2 + \ldots + b_{12}x_1x_2 + \ldots + b_{111}x_1^3 + \ldots$

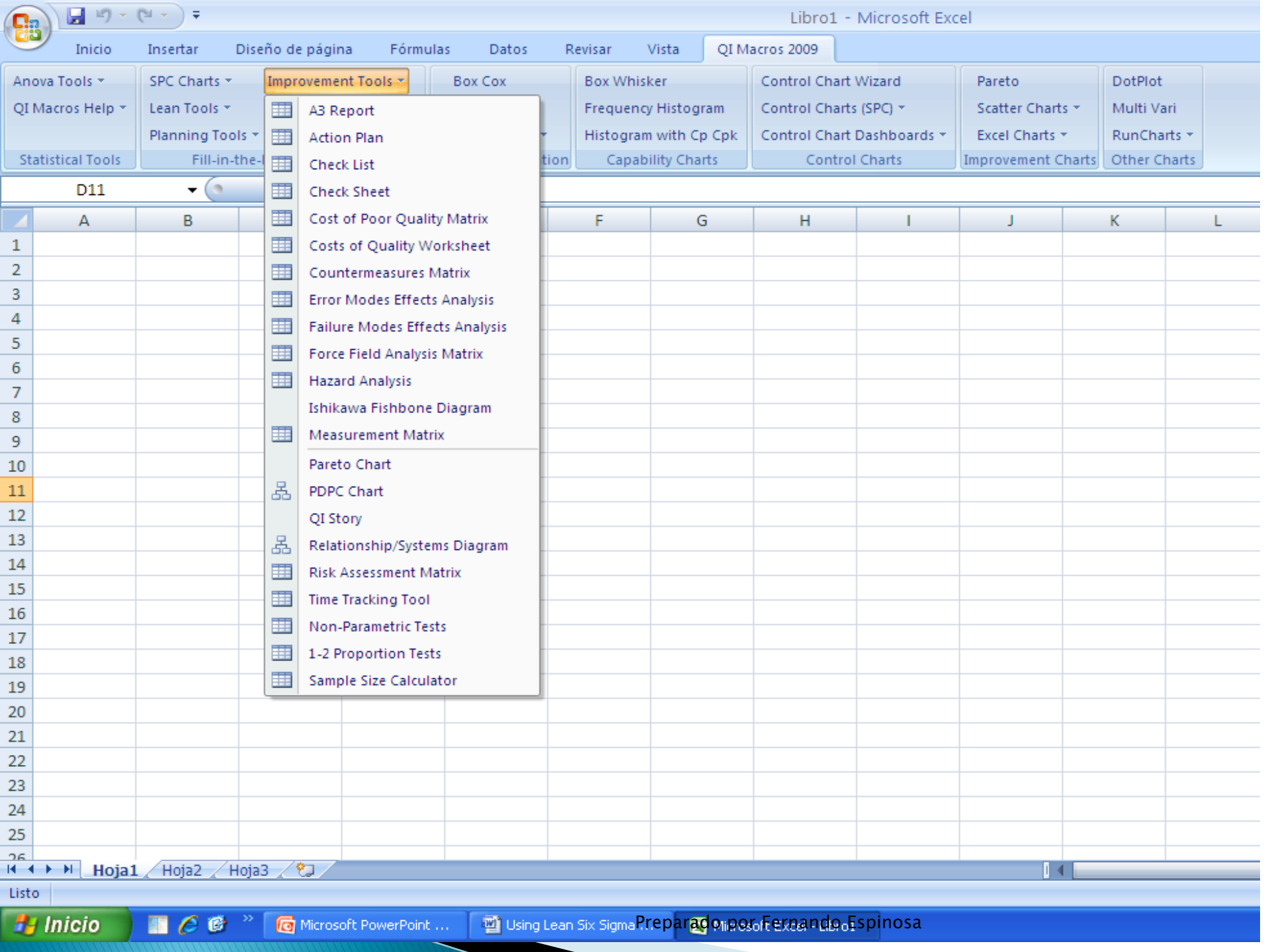
- Por definición *sigma (σ), una letra griega,* es la medida de la calidad estadística de la desviación estándar desde la media.

- *Six Sigma* describe como un proceso se desarrolla cuantitativamente. En otras palabras es la medida de la variación de la eficiencia.

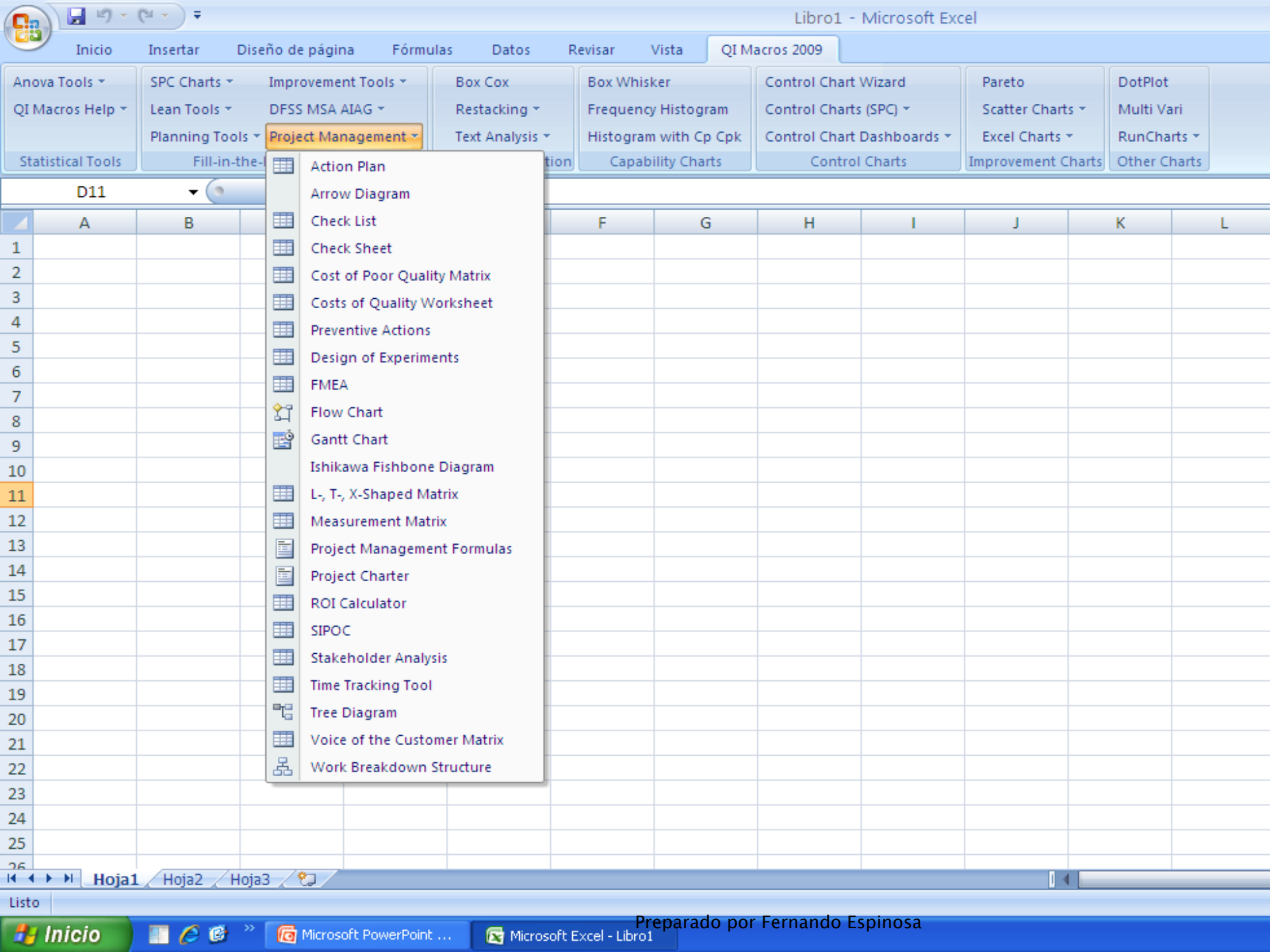
Six Sigma (6 σ)			
Sigma	% Buenos	% Defectuosos	DPMO
1	30,9	69,1	691.462
2	69,1	30,9	308.538
3	93,3	6,7	66.807
4	99,38	0,62	6.210
5	99,977	0,023	233
6	99,9997	0,00034	3,4



Resuelve los principales problemas encontrados por organizaciones en la implantación del Control Total de Calidad, aprovecha los principios Kaizen, emplea la tecnología estadística disponible y se adapta en la cultura occidental de fuerte liderazgo de la dirección superior, gestión de resultados y un enfoque a los resultados económicos del negocio y a la calidad final que recibe el cliente.



Preparado por Fernando Espinosa

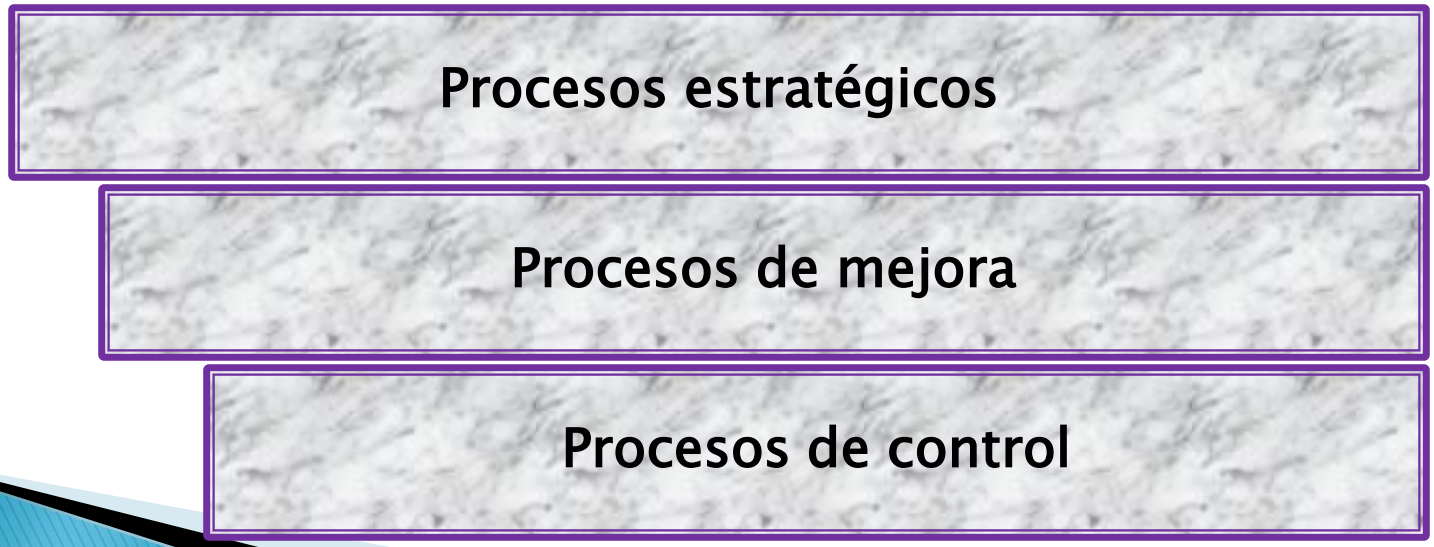


Preparado por Fernando Espinosa

- La Estrategia Seis Sigma en la función de mantenimiento se aplica en idénticas condiciones que en otro tipo de áreas funcionales y negocios.

- El origen japonés del Six Sigma se puede observar por el sistema de cinturones que usa. Si se es nuevo en el Six Sigma estará en un entrenamiento básico por tanto se es un cinturón verde. Personas con responsabilidad serán cinturón negro.

- En la metodología Seis Sigma se destacan tres grandes bloques:



- A continuación se explica la metodología Seis Sigma con la óptica de la función de mantenimiento:

- Los procesos estratégicos están relacionados con la identificación de los procesos críticos del negocio que tienen alto impacto en el logro de los objetivos estratégicos de la compañía. Su propósito final es la de identificar los *core process, clientes y objetivos clave.*

- Los procesos de mejora tienen que ver con los mecanismos utilizados para medir el estado actual de los procesos clave seleccionados, valorar las posibilidades de ser optimizados, identificar las variables sobre las que se debe actuar y diseñar planes concretos de mejora.

- Los procesos de control están relacionados con las actividades de gestión de las acciones cotidianas para asegurar que los logros se mantienen a través del tiempo.

- La metodología Seis Sigma más difundida en la industria y negocios internacionales es la de General Electric, descrita como DMAIC:

  - **Definir**: Se trata de identificar los procesos críticos que afectan los resultados de la función o el negocio. Una vez identificados los procesos, se definen los clientes, sus necesidades y las metas a alcanzar en la optimización de los procesos clave.
  - **Medir**: Se definen las medidas clave de los procesos, sus inputs y outputs con el propósito de conocer el estado actual y las posibilidades de ser mejorados. Las medidas se expresan en términos de sigma.
  - **Análisis**: se formulan hipótesis que se deben comprobar para identificar las variables clave que se deben optimizar.
  - **Mejora (improve)**: Se desarrollan actividades que permitan reducir la variabilidad de las características seleccionadas para la optimización del proceso, se implantan soluciones y diseñan sistemas de seguimiento.
  - **Control**: Se asegura el sostenimiento de las mejoras a través del tiempo.

Pasos para una organización de mantenimiento :

- 1. Tener una postura estratégica clara de cómo la función de mantenimiento contribuye al logro de los objetivos estratégicos del negocio.

- Con esta visión se seleccionan los procesos clave que desarrolla mantenimiento; define los clientes clave y objetivos a alcanzar.

- Definir el equipo gestor del proyecto de mejora (Los términos black belt y green belt, son empleados por GE para definir los roles de las personas que intervienen en el equipo del proyecto de mejora)

- 2. Establecer las métricas o medidas que permitan conocer el estado de las variables de los procesos clave seleccionados.

- Dependiendo del proceso seleccionado se aplicarán métodos cuantitativos o cualitativos para la medición.

- Se busca identificar las causas de variabilidad del proceso y las variables que introducen esta variabilidad. Algunos estudios R&D podrán ser útiles en aquellos casos en que las variables son cuantitativas.

- Una vez identificado el estado actual de las variables críticas, se procede a formular objetivos de mejora. Por ejemplo se puede seleccionar como variables críticas de su proceso la medición y control del MTBF de sus equipos críticos.

- 3. Para el análisis de las causas de variabilidad se pueden emplear numerosas técnicas.

- Las más habituales son: análisis de flujo de procesos, estratificación de información, principio de Pareto, diagramas de afinidad y relaciones, histogramas, análisis de capacidades de procesos y otras técnicas estadísticas simples.

- Como resultado de la aplicación de estas técnicas, se identifican las causas clave sobre las que se debe actuar.

- 4. Formulación de planes de acción. En esta fase del proyecto se diseñan acciones correctivas las cuales se deben implantar para eliminar las causas clave de la variación del proceso. Si es necesario se rediseña un nuevo proceso para realizar un trabajo o prestar un servicio.

- 5. Los gráficos de control estadísticos por atributos o variables son instrumentos útiles para seguir el avance de las acciones implantadas.

Lean Six Sigma es ampliamente utilizado en la producción, y con los mismos principios se puede aplicar en las funciones de mantenimiento.

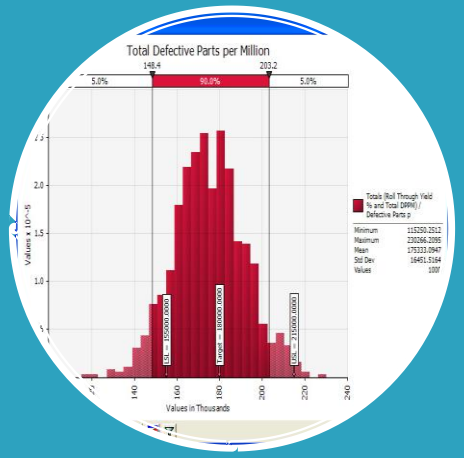
Impulsar el cambio en las operaciones de mantenimiento es una tarea difícil. La mayoría del personal de mantenimiento se perfecciona en el trabajo o aprender de sus propias técnicas en el transcurso de varios años.

Su experiencia en situaciones de fallo, que obligue a hacer reparaciones rápidas para conseguir el equipo vuelva a funcionar, les lleva a realizar cambios sin pleno alcance del problema o uso de datos para tomar decisiones.

- Esto crea el reto: ¿Cómo una empresa implementa un sistema de medición utilizando los datos para identificar las causas raíz, priorizar las cargas de trabajo y las mejoras de la unidad en una operación de mantenimiento?

- Aunque la mayoría de las empresas medianas y grandes tienen un sistema computarizado para el apoyo de la gestión de mantenimiento (CMMS), muchos no se toman el tiempo para utilizar la información para mejorar el mantenimiento.

- La información se limita tan sólo a una herramienta de contabilidad para los gastos de mantenimiento. La mayoría de los sistemas de CMMS disponen de una herramienta de archivo capaz de hacer el seguimiento de la información para el tiempo de inactividad mediante un código de búsqueda, sin embargo, este campo se utiliza muy poco



Para comenzar a resolver los problemas de mantenimiento, el administrador de la organización debe hacer uso adecuado del sistema de CMMS.



Los datos que ayudarán:

- Identificar las oportunidades de mejoramiento dentro de la organización
- Desarrollar el indicador para el tiempo medio entre fallos de todo el equipo crítico
- Identificar las causas raíces para los fallos inesperados en los equipos críticos.

- El uso adecuado de las métricas de mantenimiento en el sistema de CMMS es esencial para el éxito de cualquier departamento de mantenimiento y debe incluir las siguientes mediciones:

  - Métricas para el tiempo de falla en todos los equipos críticos (tiempo de falla (inactividad) se define como cualquier momento donde el equipo está programado para la producción aún no produce los productos).
  - Razón de cada caso del tiempo de inactividad.
  - Horas extraordinarias por causales.
  - Estado de los proyecto para todos los procesos y los futuros proyectos.
  - Estado de la acumulación de trabajos.
  - Porcentaje de trabajo programado contra el total de órdenes de trabajo.
  - Información sobre inventario crítico de repuestos y rotación.

- En las empresas donde no existe un sistema de CMMS, un sistema eficaz que utiliza las técnicas recolección los datos en papel es una alternativa aceptable.

- Los operarios del mantenimiento deben registrar el trabajo realizado en la máquina utilizando métricas de datos tales como:
  - Fecha del evento del tiempo de inactividad, hora de inicio y fin, número de equipo o el nombre.
  - Razón de tiempo de inactividad.
  - Nombre del técnico de mantenimiento.
  - Resumen de la reparación.
  - Partes utilizadas en la reparación.
  - Si el evento fue programado o no programado.

¿Qué debe ser hecho?

Algunos puntos son importantes para un buen programa de mantenimiento:

- En los primeros meses de la implementación del Six Sigma, todos en la organización deben estar informados e involucrados. Si sólo algunos estamentos están involucrados el programa fallará.
- Los roles y las responsabilidades deben estar claramente definidos.
- Compensaciones, planes de carrera y programas de retención deben ser definidos para aquellos que se involucran . Tenga presente que se está preparando gente con un alto potencial.
- Es importante encontrar los puntos comunes entre los distintos grupos (personas del control de calidad, administradores, supervisores, controladores, etc.)

- Se debe establecer un conjunto coherente de metas y objetivos.
- Realizar un proceso efectivo de selección de los Black Belt y Green Belt para encontrar los mejores talentos en la compañía.
- Un fuerte convencimiento de los altos líderes es esencial.
- Programas extras deben ser desarrollados para retroalimentar a los líderes Black Belts y Green Belts por parte de la alta gerencia.
- Actividades futuras deben ser definidas para los Black Belts después de la fase de aprendizaje ya que ellos estarán en posición de influir en la estructura del departamento.
- Apoyo debe estar disponible para los trabajos y proyectos. Los Green Belts asisten a los Black Belts y ellos no trabajan tiempo completo. La experiencia muestra que no todos los Green Belts entrenados terminan sus proyectos. Recuerde que hay recursos que se están gastando y se esperan buenos resultados.

- Si el departamento de mantenimiento ya está aplicando técnicas avanzadas (TPM, RCM, CMMS, mantenimiento predictivo etc.) será más fácil aplicar Six Sigma ya que habrá una buena base para comenzar el trabajo.

- Los departamentos que son liderados por administrados que no tienen visión o metas no crean el ambiente que estimule el crecimiento del programa. Se hace necesario un cambio de cultura organizacional.

- El departamento de mantenimiento debe estar estratégicamente localizado dentro de la organización ya que estará en la vitrina.

- Los grupos de trabajo necesitan ser capaces de funcionar en forma independiente y ser analistas de resultados. El grado de especialización y los periodos de trabajo a veces amenazan las nuevas prácticas. Los líderes deberían ser todos profesionales.

- Finalmente, lo más importante es la creatividad. Proyectos, actividades, métodos, programas de calidad, etc., en el área de mantenimiento pueden no ser comprendidos. La adaptación es la clave del éxito.

- La Estrategia Seis Sigma combina el fuerte liderazgo de los responsables del proyecto de mejora (black belts) con la aplicación eficaz de los métodos estadísticos. Las soluciones numéricas por sí solas no darán frutos.

- Es necesario que la dirección se involucre activamente en la realización de los proyectos de transformación del negocio. Este es el factor clave de los miles de dólares alcanzados con las mejoras realizadas en las corporaciones que aplican Seis Sigma.


Certificate of Achievement

Six Sigma Black Belt Certificate

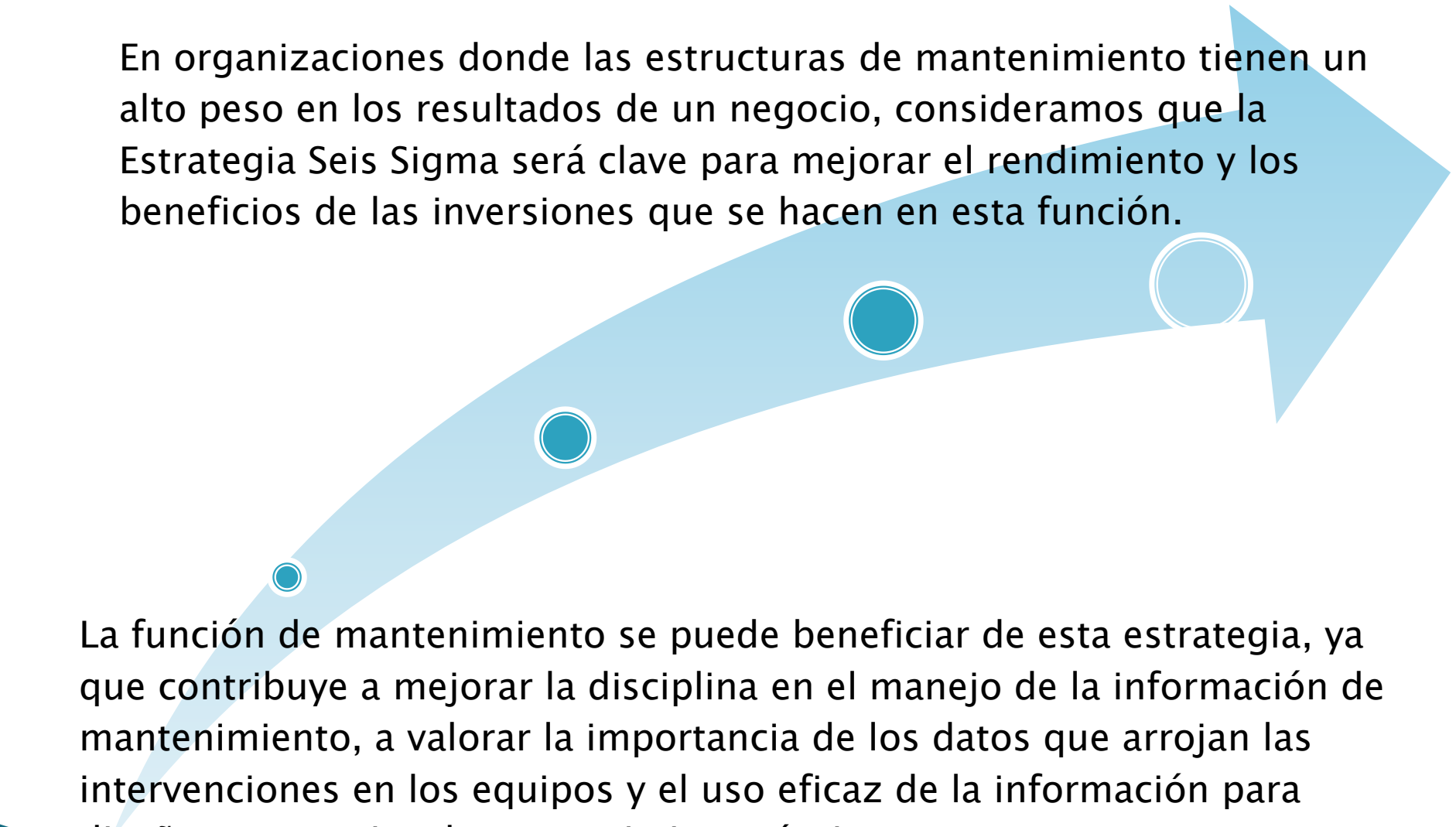
John Doe

has successfully completed the Qi² four-week Six Sigma Black Belt training program and passed the written examinations and should be granted all rights and privileges as a Qi² Certified 6 σ Black Belt

Qi²

President, Qi²

En organizaciones donde las estructuras de mantenimiento tienen un alto peso en los resultados de un negocio, consideramos que la Estrategia Seis Sigma será clave para mejorar el rendimiento y los beneficios de las inversiones que se hacen en esta función.



La función de mantenimiento se puede beneficiar de esta estrategia, ya que contribuye a mejorar la disciplina en el manejo de la información de mantenimiento, a valorar la importancia de los datos que arrojan las intervenciones en los equipos y el uso eficaz de la información para diseñar estrategias de mantenimiento óptimas.

MANUAL DE LAS 5 S´s.



La diferencia vital entre los países ricos y los países pobres consiste en el número de personas que rechazan o se adaptan a la cultura de la pobreza.

John Kenneth Galbraith

INTRODUCCIÓN



Es necesario crear entornos dentro de las Organizaciones que permitan maximizar los recursos, el tiempo y la productividad personal.

Para ese fin se creó una técnica denominada **5 S's**, por sus siglas en japonés, que han sido implantadas en miles de compañías e instituciones en el mundo con extraordinarios resultados.



A partir de la instrumentación de la **técnica 5 S's** en las empresas, se pueden implantar con mucho mayor facilidad y éxito, otros sistemas de calidad modernos, sobretodo aquellos relacionados con ISO 9000.

OBJETIVOS

GENERAL.

Que los participantes uniformicen en el ámbito organizacional el concepto de 5 S's, y que adquieran lineamientos y estrategias generales para la implantación de un sistema de calidad con dichas características.

ESPECIFICOS.



- Conocer la metodología para instrumentar un sistema de calidad 5 S's en su organización, que les permita a usted y a sus colaboradores desempeñarse con altos niveles de productividad.
- Comprender en que consisten cada uno de los términos japoneses y los beneficios que nos brinda el implantarlos.
- Crear una nueva cultura organizacional, basada en el compromiso, la disciplina y la creación de las condiciones para la productividad y la calidad en el entorno.

TEMARIO

- INTRODUCCIÓN.
- OBJETIVOS.
- I. Antecedentes.
  - ¿Cuál es el Objetivo Principal de las 5 S´s?
  - ¿Qué son las 5 S´s?
  - Resistencias.
- II. Las 5 S´s y su significado
  - Beneficios directos.
- III. Estudio y descripción de las 5 S's
  - 1S Seiri. Seleccionar.
  - Beneficios.
  - 2S Seiton. Organizar.
  - Beneficios.
  - 4S Seiketsu. Sanear.
  - Beneficios.
  - 3S Seiso. Limpiar.
  - Beneficios.
  - 5S Shitsuke. Autodisciplina.
  - Beneficios.
- IV. Actividades previas a la implantación de las 5 S´s.
- V. Las 5 S's en las oficinas.
- VI. Metodología de implantación.









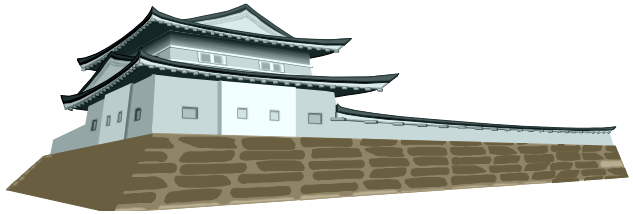
ANTECEDENTES

Las 5's iniciarón en Japón durante los años 60's obteniendo beneficios tales como:



- Eliminación de desperdicios.
- Reducción de materiales en procesos.
- Incremento en la productividad laboral.
- Evitar accidentes.
- Optimizar espacios.
- Incrementar la velocidad de mejora.

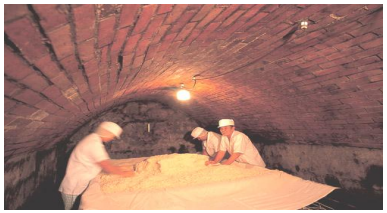




¿CUÁL ES EL OBJETIVO PRINCIPAL DE LAS 5 S´s.?

Desarrollar un ambiente de trabajo agradable y eficiente, en un clima de seguridad, orden, limpieza y constancia que permita el correcto desempeño de las operaciones diarias, logrando así los estándares de calidad de los servicios requeridos por la ciudadanía.





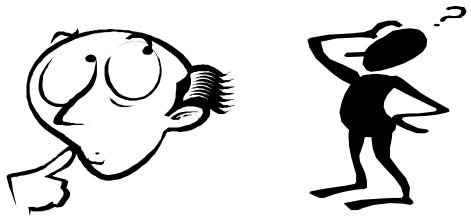
¿QUÉ SON LAS 5 “S”?

Es una herramienta de calidad que permite implementar y establecer estándares para tener áreas y espacios de trabajo en orden y realizar eficazmente las actividades.

際交流基金

RESISTENCIAS

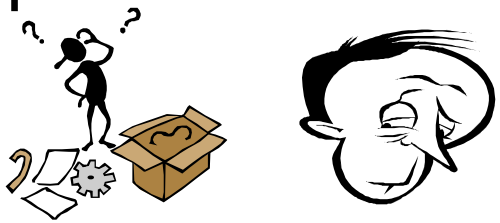
- ¿Qué tan importantes pueden ser las 5 S´s y su aplicación?



- ¿Para qué limpiar si se vuelve a ensuciar?



- Mi sistema de archivo es un desorden, pero… ¡yo sé de mi propia forma de llevarlo



LAS 5 S´s

SEIRI
SELECCIONAR



SEITON
ORGANIZAR



SEISO
LIMPIEZA



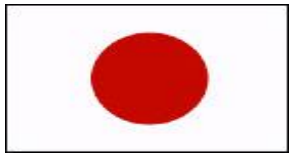
SEIKETSU
ESTANDARIZAR



SHITSUKE
DISCIPLINA



SIGNIFICADO DE LAS 5 S's





En japonés:

1. Seiri
2. Seiton
3. Seiso
4. Seiketsu
5. Shitsuke

En español:

- ✶Seleccionar
- ✶Organizar
- ✶Limpiar
- ✶Estandarizar
- ✶Disciplina

BENEFICIOS DIRECTOS DE LAS 5 S's

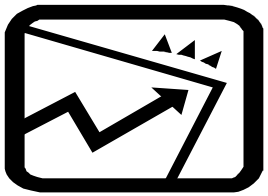
- Seguridad:
  - Menor índice de Accidentes.
  - Reducción drástica de Ausentismo.



- Calidad:
  - Satisfacción de los clientes.
  - Velocidad de respuesta y mejora.

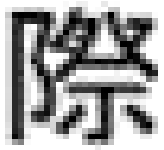


- Eficiencia:
  - Productividad.
  - Energía positiva.



- Eliminación de desperdicios:
  - Mantenimiento preventivo.
  - Sugerencia de mejora.





1ERA. S: SEIRI

SELECCIONAR

Significa eliminar del área de trabajo todos los elementos innecesarios y que no se requieren para realizar nuestra labor.



El SEIRI-CLASIFICACIÓN, CONSISTE EN:

- Separar en el sitio de trabajo las cosas que realmente sirven de las que no sirven.
- Clasificar lo necesario de lo innecesario para el trabajo rutinario.
- Mantener lo que necesitamos y eliminar lo excesivo.
- Separar los elementos empleados de acuerdo a su naturaleza, uso, seguridad y frecuencia de utilización con el objeto de facilitar la agilidad en el trabajo.
- Eliminar información innecesaria y que nos puede conducir a errores de interpretación o de actuación.

1ERA. S:
SELECCIONAR

- Mantener solo lo necesario
  - Revisar el área de trabajo.
  - Separar lo que sirve de lo que no sirve.
  - Definir un lugar donde poner temporalmente lo que no se necesita, pero puede servir a alguien.
  - Decidir que se hará con las cosas.

Una vez **CLASIFICADO** lo necesario, se selecciona por frecuencia de uso:



JUNTO	CADA HORA
CERCA	VARIAS VECES AL DÍA
EN EL ÁREA	UNA VEZ A LA SEMANA
EN OTRA ÁREA	UNA VEZ AL MES
EN BODEGA O ARCHIVO	UNA VEZ AL AÑO, O SE PUEDE USAR

Si su USO es:



BENEFICIOS DE SEIRI - SELECCIÓN

- Mejor distribución de recursos.
- Liberar espacio útil en plantas y oficinas.
- Se descartan artículos obsoletos.
- Eliminación de desperdicios

SELECCIONAR

- Reducción en inventarios
- Abrir espacios
- Facilitar el control visual de las materias primas que se van agotando y que se requieren para un proceso.

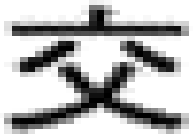
AUTO-EXAMEN
¿ UTILIZO o PUEDO UTILIZAR LA SELECCIÓN ?



No. de 5 S´s	EVALUACIÓN			PUNTUACIÓN		
S E L E C C I Ó N	No.	ASPECTOS	QUE VERIFICAR (SUGERENCIAS)	MB	R	M
	1	Objetos presentes y sin uso en el área.	Materiales o herramientas innecesarias			
	2	Objetos personales	Hallazgos frecuentes de los mismos.			
	3	Clasificación de lo que sirve y necesita.	Ubicación de objetos por frecuencia de uso.			

PUNTUACIÓN
- MB. Muy Bien.
- R. Regular.
- M. Mal.

CALIFICACIÓN: _____
PREDOMINANTE



2DA. S: SEITON
ORGANIZAR

Consiste en organizar los elementos que hemos clasificados como necesarios de modo que se puedan encontrar con facilidad.

La ORGANIZACIÓN permite:

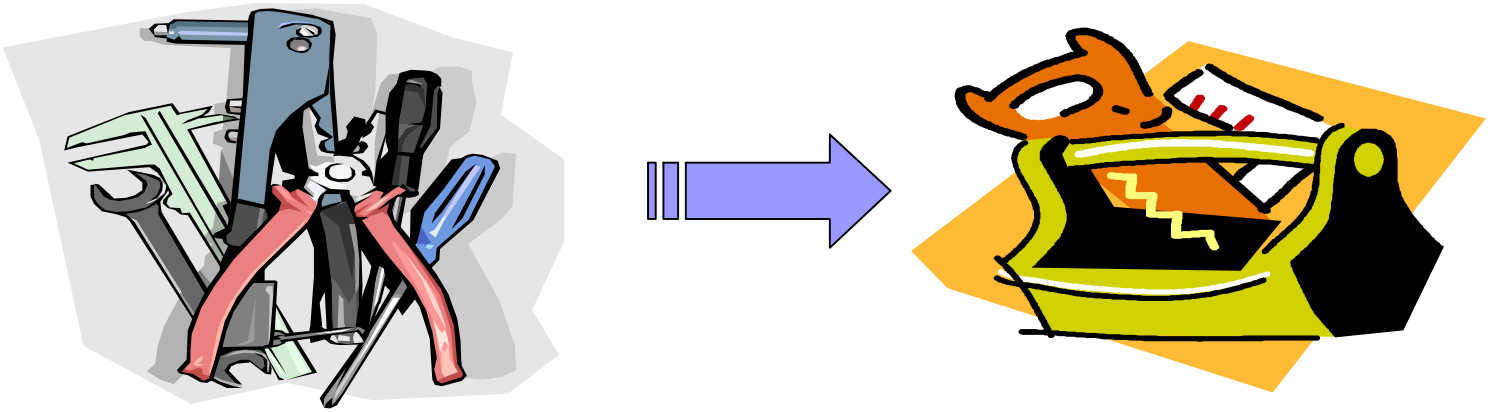
- Disponer de un sitio adecuado para cada elemento utilizado en el trabajo de rutina, para facilitar su acceso y retorno al lugar.
- Facilita el acceso rápido a elementos que se requieren para el trabajo.
- Mejorar la información en el sitio de trabajo para evitar errores y acciones de riesgo potencial.
- El aseo y la limpieza se pueden realizar con mayor facilidad y seguridad.
- Se libera espacio.

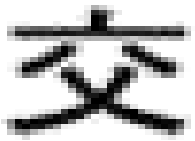
2DA. S:

ORGANIZAR

“ Un lugar para cada cosa y cada cosa en su lugar”

Colocar o distribuir las cosas en el lugar que les corresponde, mantener esa ubicación con adecuada disposición de las cosas, para que estén listas en el momento que se soliciten.





BENEFICIOS DE SEITON - ORGANIZAR

- Eliminar tiempos de búsqueda.
- Velocidad de respuesta.
- Mejorar la seguridad.
- Minimizar errores.
- Eliminación de perdidas por errores.

ORGANIZAR

- Velocidad de mejora.
- Prevenir desabasto de suministros y/o productos.
- La empresa puede contar con un sistema simple de control visual de materiales y materias primas

AUTO-EXAMEN



¿ UTILIZO o PUEDO UTILIZAR LA ORGANIZACIÓN ?

No. de 5 S´s	EVALUACIÓN			PUNTUACIÓN		
	No.	ASPECTOS	QUE VERIFICAR (SUGERENCIAS)	MB	R	M
O R D E N	1	Identificación de cada clase de tema.	¿Todo está identificado por nombre, tema, área y tipo?			
	2	Detección de faltantes.	¿Existen indicadores visuales de la falta de algo?			
	3	Existen sistemas auto explicativos de localización congruentes.	Existen sistemas auto explicativos de localización congruentes.			
	4	Lugares específicos para papelería y archivo.	Lugares específicos para papelería y archivo.			
	5	Se prevee el desabasto y los sobre inventarios de papelería y materiales de oficina.	¿Existen indicadores de máximos y mínimos?			
	6	Orden en instalaciones y bien señalizados.	Orden en instalaciones y bien señalizados.			

Calificación: _____

3DA. S: SEISO
LIMPIAR

Significa eliminar el polvo y suciedad de todos los elementos de mi lugar de trabajo (escritorio, maquinaria, etc.).

La limpieza implica no únicamente mantener los equipos dentro de una estática agradable permanentemente, implica un pensamiento superior a limpiar. Exige que realicemos un trabajo creativo de identificación de las fuentes de suciedad y contaminación para tomar acciones de raíz para su eliminación, de lo contrario será imposible mantener limpio y en buen estado el área de trabajo.

Para aplicar la LIMPIEZA se debe::

- Integrar la limpieza como parte del trabajo diario.
- Asumir la limpieza como una actividad de mantenimiento autónomo.



3DA. S:
LIMPIAR

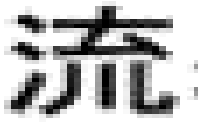
Un sitio sucio y desordenado; es un lugar inseguro que puede provocar un accidente y llegar a afectar la calidad del producto.

El éxito en la limpieza de una empresa depende de la actitud de su personal.

Las 3 etapas de la Limpieza :

- Área individual.
- Áreas comunes.
- Áreas difíciles.





BENEFICIOS DE SEISO - LIMPIAR

- Un lugar impecable de trabajo.
- Tomar acciones correctivas inmediatas.
- Evitar accidentes y enfermedades.
- Disminuir reparaciones costosas.

LIMPIAR

- Prevenir contaminación en los procesos.
- Mejora el bienestar físico y mental del trabajador.
- Prolongar la vida útil de las instalaciones y equipos.

AUTO-EXAMEN

¿ UTILIZO o PUEDO UTILIZAR LA LIMPIEZA ?



No. de 5 S´s	EVALUACIÓN			PUNTUACIÓN		
	No.	ASPECTOS	QUE VERIFICAR (SUGERENCIAS)	MB	R	M
L I M P I E Z A	1	Suciedad y polvo en el área de trabajo y equipo.	¿Revisa la parte posterior de los muebles y máquinas, debajo de mesas, escritorios, así como la limpieza de máquinas, teléfono y computadora?			
	2	Control de ceniceros, tazas, pizarrón, etc.	¿Existen tazas y ceniceros sucios y sin uso?			
	3	Limpieza diaria sobre escritorios y muebles.	Verificar el control del aseo (si existe)			

Calificación: _____

4TA. S: SEIKETSU SANEAR

Es la metodología que nos permite mantener los logros alcanzados con la aplicación de las tres primeras “S”. Si no existe un proceso para conservar los logros, es posible que el lugar de trabajo nuevamente llegue a tener elementos innecesarios y se pierda la limpieza alcanzada con nuestras acciones.

El SANEAR pretende:

- Mantener el estado de limpieza alcanzado con las tres primeras S.
- Ensañar al operario realizar normas con el apoyo de la dirección y un adecuado entrenamiento.
- El empleo de los estándares se debe auditar para verificar su cumplimiento.
- Las normas de limpieza, lubricación y aprietes son la base del mantenimiento autónomo.





4TA. S:
SANEAR

Se recomienda:

Elaborar por departamento el Manual de las aplicaciones en 5 S´s, el cual deberá contener lo siguiente:

- Evidencia de las condiciones anteriores.
- Distribución general de áreas, mobiliario y equipos.
- Descripción de cada área y mobiliario.
- Identificación de cada documento y artículo.





4TA. S:

SANEAR

Por ejemplo:

En un aula de capacitación, al término de la sesión el instructor debe:



- Dejar limpio el pizarrón.
- Devolver el equipo utilizado a su lugar.
- No dejar nada sobre la mesa y acomodar las sillas.
- Verificar que no quede ningún objeto que no sea del aula.
- Apagar el clima y la luz.



¿CÓMO MANTENER EL CONTROL VISUAL EN EL SANEAMIENTO?

Usar símbolos, colores o letreros para que el estándar se explique por sí mismo.

La empresa debe definir los estándares de colores generales para la empresa como el color de las paredes, equipos, tuberías, etc.



BENEFICIOS DE SEIKETSU - SANEAR

- Se guarda el conocimiento producido durante años de trabajo.
- Sistemas autoexplicativos.
- Se mantiene por escrito cómo mantener lo logrado.
- Facilita el mantenimiento.

SANEAR

- Mejora la comunicación.
- Disminuir el tiempo de búsqueda.
- Elegir adecuada toma de decisiones.
- Asegurar que nuestros productos y servicios sean de calidad consistente.

AUTO-EXAMEN

¿ UTILIZO o PUEDO UTILIZAR EL SANEAMIENTO ?



No. de 5 S´s	EVALUACIÓN			PUNTUACIÓN		
SANEAMIENTO	No.	ASPECTOS	QUE VERIFICAR (SUGERENCIAS)	MB	R	M
	1	Procedimiento de Limpieza	¿Existen? ¿Responsables? ¿Controles?			
	2	Procedimientos de Trabajo	Revisar estándares y procedimientos de trabajo.			
	3	Uso de ropa y equipo	¿ Se está usando la ropa y el equipo adecuado?			

Calificación: _____

5TA. S: SHITSUKE
AUTO-DISCIPLINA

Significa convertir en hábito el empleo y utilización de los métodos establecidos y estandarizados para la limpieza en el lugar de trabajo.

Si se estimula que cada uno de nosotros como empleados aplique el Círculo de Deming en cada una de las actividades diarias, es muy seguro que en la práctica la Autodisciplina no tendría ninguna dificultad.





5TA. S:
AUTO-DISCIPLINA

La AUTODISCIPLINA implica:

- El respeto de las normas y estándares establecidas para conservar el sitio de trabajo impecable.
- Realizar un control personal y el respeto por las normas que regulan el funcionamiento de una organización.
- Promover el hábito de autocontrolar o reflexionar sobre el nivel de cumplimiento de las normas establecidas.
- Mejorar el respeto de su propio ser y de los demás.

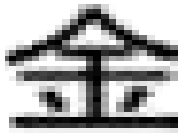
LA AUTODISCIPLINA…

Se puede ser autodisciplinado y sin embargo no estar comprometido

Compromiso es:

¡Entusiasmo!





BENEFICIOS DE SHITSUKE - AUTODISCIPLINA

- Se crea una cultura de sensibilidad, respeto y cuidado de los recursos de la secretaria.
- La persona comprometida demuestra persistencia en el logro de sus fines.
- La autodisciplina es una forma de cambiar los hábitos.
- La moral en el trabajo se incrementa.

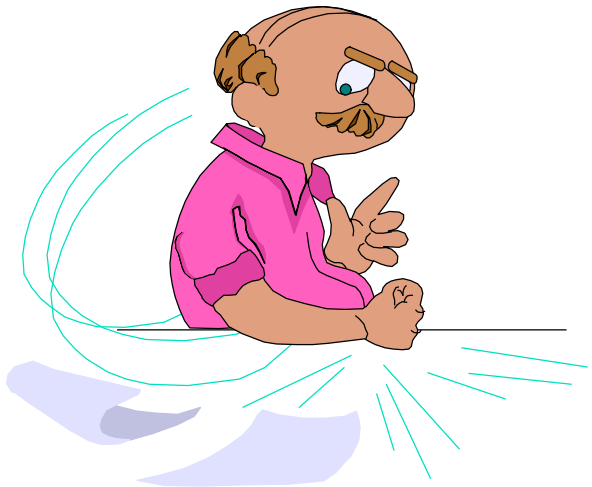
AUTODISCIPLINA

- El cliente se sentirá más satisfecho ya que los niveles de calidad serán superiores debido a que se han respetado íntegramente los procedimientos y normas .
- El sitio de trabajo será un lugar donde realmente sea atractivo llegar cada día.

¿CÓMO SE ADMINISTRA UN PROGRAMA DE 5 S's?

Aplicar las 5 S's implica un proceso que consta de varias actividades:

- Sistema de 5 S's
- Sensibilización
- Documentación
- Auditorías
- Acciones correctivas
- Retroalimentación



DIFUSIÓN

La difusión se realizará de forma permanente durante todo el desarrollo de implementación y mantenimiento de las 5 S's; la cual será a criterio de cada instructor.

La Difusión se puede dar a través de:

- Carteles,
- Trípticos,
- Folletos etc.



AUDITORIAS INTERNAS

El propósito de las auditorias internas es el reunir evidencia objetiva que permita arribar a un conocimiento y a una decisión veraz acerca del continuo estado del sistema de 5 S's.



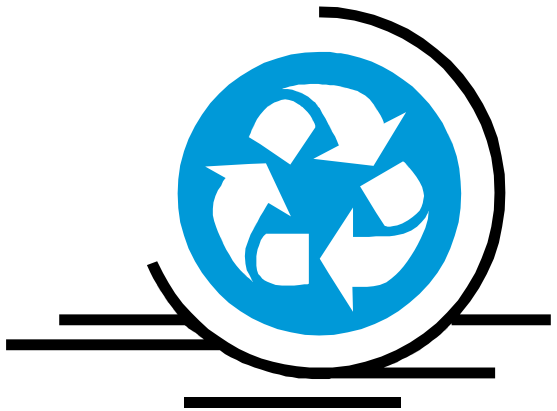
ACCIONES CORRECTIVAS

- Identificación de No-Conformidades.
- Determinar causas verdaderas.
- Implementar solución.
- Evaluar la efectividad.
- Re-auditar para verificar la finalización.
- Evidencia (registros).



RETROALIMENTACIÓN

- Indicadores
- Nos permiten establecer la eficiencia y efectividad del sistema:
  - Desempeño de cada área
  - Fallas internas
  - Fallas externas
  - Tendencias
  - Satisfacción del cliente

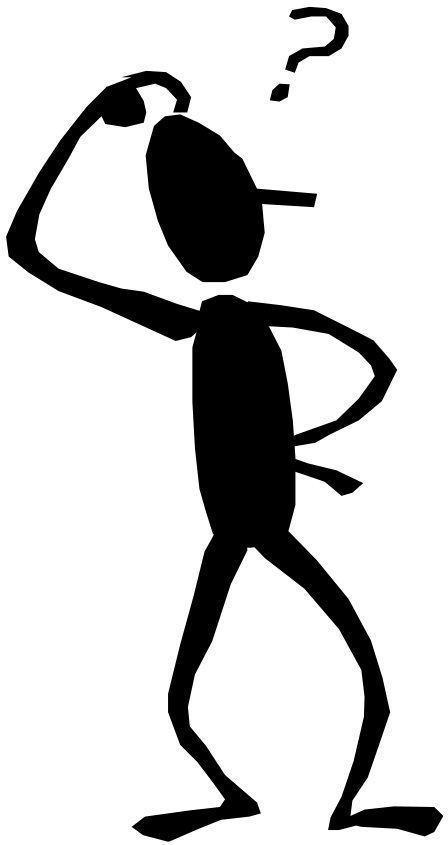


IMPLANTACIÓN

- Identificar la Situación Actual.
- Seleccionar los puntos específicos.
- Asignar la responsabilidad.
- Documentar y exhibir apropiadamente.
- Establecer actividades de mejora.
- Evaluar periódicamente el avance.
- Retroalimentar el proceso y Reconocimiento.
- Llevar a cabo un proyecto piloto.



PROBLEMAS CON LA IMPLANTACIÓN DE UN SISTEMA DE 5 S'S



- Gran esfuerzo.
- Shock cultural.
- Burocracia.
- Costo.

ACTIVIDADES PREVIAS A LA IMPLANTACIÓN DE LAS 5 S`s

- Preparación del Entorno.
- Definir actividades urgentes de importantes.
- Buscar un cambio cultural.
- Utilizar el sentido común al implantarla.
- Buscar participación de los afectados.
- Evidencia de las áreas.
- Llevar a cabo la limpieza Mayor de las áreas.

CONCLUSIONES

La creación de un Entorno Productivo es:

- Tarea de todos.
- Es requisito para procesos competitivos.
- Reduce adicción a la urgencia.

Aplicar las 5'S a profundidad requiere:

- De un gran esfuerzo consciente.
- Genera un Cambio Cultural.

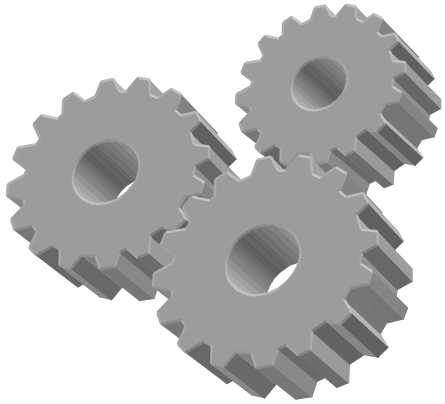


DEBE SER UNO DE LOS PRIMEROS PASOS
Y MÁXIMA PRIORIDAD

PROYECTO

METODOLOGIA DE IMPLANTACION PARA EL DESARROLLO DE LA FUNCION MANTENIMIENTO EN UNA EMPRESA O REINGENIERIA DE MANTENIMIENTO

ANEXO INFORMACIÓN PRODUCTOS COMERCIALES

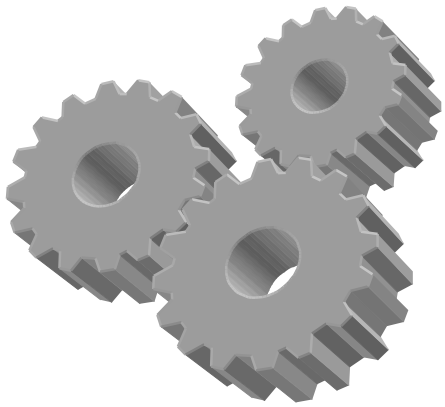


Autor: Ramon Arizaga Arcelus

PROYECTO

METODOLOGIA DE IMPLANTACION PARA EL DESARROLLO DE LA FUNCION MANTENIMIENTO EN UNA EMPRESA O REINGENIERIA DE MANTENIMIENTO

PROGRAMAS GMAO



Autor: Ramon Arizaga Arcelus

CBM. Un paso hacia la inteligencia del mantenimiento



J.Mª Borda Elejabarrieta
Director General de Sisteplant



Luis E. Calderón
Director de Proyectos Tecno-i mant - Sisteplant

NECESIDADES DE LA INDUSTRIA ACTUAL

La industria europea y la española pierden competitividad aceleradamente. El mercado es internacional y competir no requiere exclusivamente medidas de contención salarial; es necesario innovar en productos y procesos para subsistir en el escenario actual en el que la industria occidental se encuentra inmersa en un proceso de alta personalización y series cortas con alta variabilidad de referencias por el traslado inexorable de la producción en masa a los países emergentes y de bajo coste.

En este contexto, cobran cada vez más importancia los sistemas ágiles y flexibles con polivalencia integrada en los diseños de los equipos productivos y que garanticen alta calidad (6 Sigma). Únicamente bajo estas premisas se podrán afrontar los retos productivos en la industria moderna.

El mantenimiento industrial debe adaptarse a dichas circunstancias. Filosofías anteriores de mantenimiento correctivo y preventivo, deben evolucionar progresivamente hacia un entorno en que basemos las políticas en principios del control por excepción y máxima fiabilidad.

En paralelo, esta estrategia de mantenimiento conducirá sin duda alguna a un aquilatamiento de costes que permitan mejorar márgenes (o precios) y competir en un mercado muy concurrido.

En este escenario, empresas que no modernicen su mantenimiento tendrán problemas crecientes y saldrán del mercado pues no es posible competir si dejamos un "cabo suelto". Sin embargo, en la situación de crisis actual es cada vez más frecuente encontrar empresas que tratan de librarse de la función mantenimiento a través de políticas erráticas, sin el rumbo fijo de un plan director basado en un mantenimiento que produzca fiabilidad al menor coste.

La visión innovadora del mantenimiento debe llevarnos a la gestión íntegra del ciclo de vida de los activos, mediante el rediseño de políticas de mantenimiento basado en Fiabilidad, el manejo de herramientas avanzadas y a la integración de los sistemas de diagnóstico y pronóstico en las tareas propias del mantenimiento.

LA EFICIENCIA COMO RETO. EL CAMBIO DE CONCEPTO EN MANTENIMIENTO

La eficiencia productiva de los equipos es el indicador principal de las plantas enfocadas a la mejora continua de sus procesos y tienen una alta implicación en la ingeniería de producto. Ningún sistema con bajo nivel de eficiencia global será capaz de proveer al mercado productos eficientes en costes y eficaces en calidad; dañando notablemente la capacidad competitiva de nuestras empresas.

La fiabilidad de los equipos debe ser tal que proporcione niveles de producción 6-sigma en proceso, de una manera robusta y sostenida en el tiempo. Por lo tanto, eficiencia global y robustez de procesos son condiciones *sine qua non* para competir en la industria actual.

¿Qué parte juega el mantenimiento moderno en este escenario? Podemos decir que mantenimiento está en la base de los procesos robustos y con nivel de defectivo cero. Para ello deberemos dotar a los equipos de mantenimiento de herramientas avanzadas de diagnóstico basándonos en la condición.

Esto supondrá un salto cualitativo en la ingeniería de mantenimiento y de diseño de los equipos productivos. Políticas de DFM&R (Design for Maintainability & Reliability) deberán pasar a formar parte del saber-hacer de las empresas y del normal desarrollo de la actividad de los departamentos de ingeniería.

Por suerte, la alta tecnificación de los fabricantes de elementos de medida y monitorización y el valor añadido al proceso de medición, más allá que del mero transporte o mecanización de procesos, establecen un escenario mucho más propicio a la hora de diseñar e integrar este tipo de innovaciones a las máquinas que hoy utilizamos en planta.

HACIA 0 AVERÍAS: EL PROCESO DE DETECCIÓN PRECOZ

En este escenario tan exigente, donde mantenimiento pasa de ser un departamento de coste a ser un centro de inversión en la planta no estamos solos.

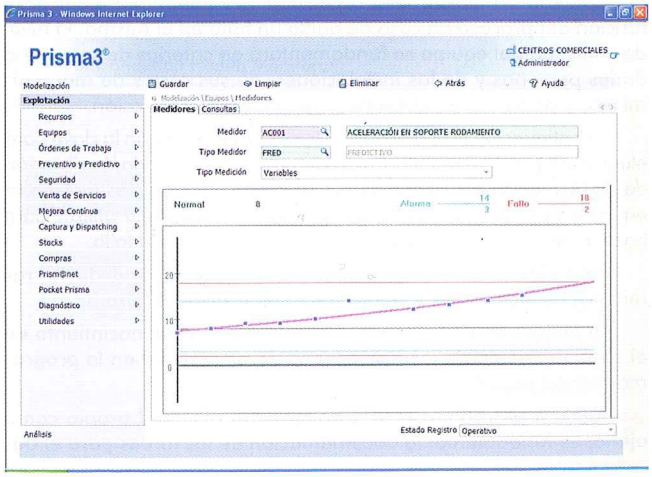
Es necesario progresar en varios ámbitos:

- Análisis sistemático de las averías
- Análisis PM del origen de la avería
- Metodología de reducción de la variabilidad
- Detección temprana de síntomas de averías

Las nuevas tecnologías nos ayudan en el camino hacia la excelencia del mantenimiento y en ello cobran especial importancia los sistemas embebidos para autodiagnóstico y pronóstico de la avería (IHM: Intelligent Health Monitoring).

Conceptos ya conocidos como detección de ultrasonidos, vibraciones, tribología y partículas metálicas en los aceites, termografías, entre otras... deben ir apoyadas por técnicas de monitoring on-line de forma que los procesos nos hablen de condiciones anormales y predigan tiempo probable de fallo y alternativas posibles de reparación (figura 1).

Fig. 1. Curvas de tendencia de variables de medidores



De esta manera, el mantenimiento basado en la condición constituye una alternativa real al correctivo y al preventivo.

Y esta alternativa es básicamente de ahorro de costes frente a las tradicionales acciones de intervención en máquinas basadas en el tiempo con generación de órdenes de trabajo de manera sistemática.

Frente a estos procesos más administrativos y preventivos, el mantenimiento basado en la condición promueve la actuación en los equipos únicamente cuando la salud de los mismos así lo requiere (figura 2).

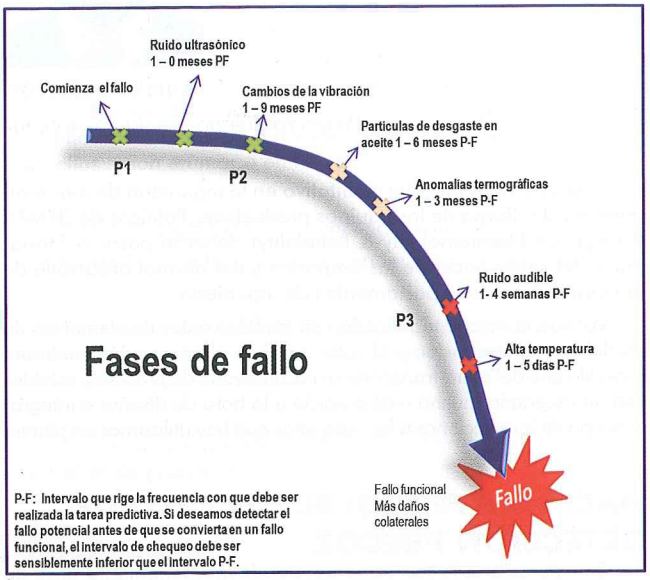


Fig. 2. Fases de fallo.

La detección de las condiciones anormales de funcionamiento se podrán establecer en base a una ruta de predictivo (puntual) o mediante la detección en continuo (herramientas de monitorización on-line) que permitan predecir el fallo.

DE UN MANTENIMIENTO BASADO EN LA ACTIVIDAD HACIA UN MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONDICIÓN *(CONDITION BASED MAINTENANCE)*

El mantenimiento basado en la condición, en la salud de los equipos, implica cierta inversión en equipos y formación en su utilización.

En otros casos, y dentro de la estrategia de mantenimiento dictada por las compañías, se externalizan dichos controles y seguimiento de condiciones en máquinas, sobre todo en el caso de las rutas de tribología y termografía; con controles con cierta periodicidad.

El proceso de identificar los equipos cuyo mantenimiento se incluirá dentro de plan CBM deberemos enfocarlo basándonos en criterios RCM.

El principal *input* de este proceso será la criticidad del equipo dentro de la instalación y la capacidad que tenga de modificar la función del proceso en caso de darse un fallo en el mismo. El nivel de criticidad del equipo se fundamentará en criterios de seguridad de las personas y de las instalaciones, de sus costes de mantenimiento y de los costes del lucro cesante de la producción.

A continuación el tipo de fallo, causas y modos, darán la clave para elegir el elemento a monitorizar. La temperatura, el modo de vibración de los elementos o el contenido en partículas de diferentes materiales en los aceites darán la clave de qué tipo de tecnología utilizar para hacer la monitorización de las causas que predecirán el fallo.

Resumimos en el siguiente cuadro, la utilización de herramientas más comunes y su ámbito de aplicación (figura 3).

La aplicación de herramientas de gestión del conocimiento en el mantenimiento de los activos (EAKM), es esencial en la programación del plan CBM.

Tanto si el trabajo se desarrollará con personal propio como ajeno, es fundamental la documentación de las tareas para el desarrollo de los trabajos y ligar el nivel de servicio en planta a la retribución de los contratos.

	Vibraciones	Termografía	Tribología	Ultrasonido
Máquinas rotativas	☑☑☑	☑	☑☑☑	☑☑
Equipos Eléctricos	☒	☑☑☑	☒	☑
Equipos Estáticos	☑	☑☑		☑☑☑
Equipos Térmicos	☒	☑☑☑	☒	☑

☒ Ninguna o escasa aplicación ☑ Aplicación no frecuente

☑☑ Aplicación frecuente ☑☑☑ Aplicación generalizada

Fig. 3. Tecnologías aplicadas.

Con este criterio se deben firmar los acuerdos con proveedores en la industria moderna con altos niveles de exigencia en tecnología enfocada a la fiabilidad y retribución variable en base a objetivos de rendimiento global, no de disponibilidad pura como se venía haciendo hasta ahora.

Es preciso definir indicadores robustos que reflejen la confiabilidad de la instalación y trazar cómo la implantación de estos planes consiguen resultados de eficiencia en costes a nivel de producto y eficiencia en el uso de la mano de obra de mantenimiento (figura 4).



Fig. 4. Ejemplo de cuadro de mando.

LA MEJORA CONTINUA DEL MANTENIMIENTO UTILIZANDO CBM COMO HERRAMIENTA

Lo expuesto en las líneas anteriores enlaza directamente con una filosofía de mejora continua de mantenimiento.

En aquellos entornos productivos que no hayan identificado este ciclo de mejora, CBM constituirá la palanca que habilite la mejora en adelante.

El establecimiento de indicadores que reflejen la actividad de mantenimiento y su despliegue en la planta (figura 4), permitirá la mejora del proceso de mantenimiento. Indicadores no solo de actividad sino de reflejo en la cuenta de resultado de las mejoras implantadas, conducirán a un incremento de la moral de los trabajadores en entornos altamente exigentes como los descritos en el primer epígrafe.

CBM Y LAS PERSONAS

Hay una manera revolucionaria de entender el mantenimiento basado en la condición y ésta es el mantenimiento de los sentidos (ver, oler, oír, tocar). Este enfoque, que liga directamente con las tradicionales tareas delegadas en el operador de TPM, constituyen el primer paso de un mantenimiento enfocado a la detección precoz de los fallos de los equipos. Como es evidente, este proceso no requiere de una elevada inversión en equipos de alta tecnología,

pero involucra un poder superior que es la voluntad de las personas que hacen el día a día de los procesos en planta.

Si bien la tecnificación puede acometerse con proyectos de inversión ambiciosos, la involucración del empleado no se puede incluir en ningún presupuesto, ni se puede amortizar en una cuenta de resultados.

Se trata de conducir la mejora a través de las personas que asumirán en el tiempo tareas de mayor calado técnico y tecnológico (figura 5).

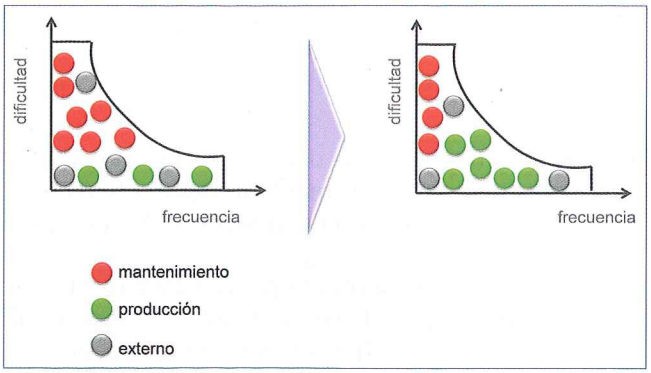


Fig. 5. Distribución de trabajos

Este modo de trabajo enriquecerá las tareas y dará formación continuada al equipo tanto de mantenimiento como de producción, siendo este uno de los principales elementos motivantes a pie de planta (figura 6).

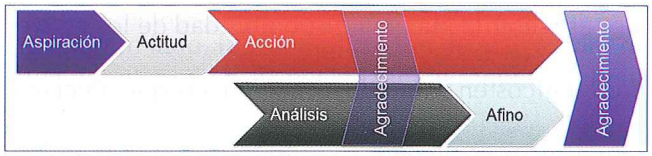


Fig. 6. El factor humano - método 6A.

DEL MANTENIMIENTO BASADO EN EL ESTADO AL MANTENIMIENTO INTELIGENTE

La mejora de mantenimiento no puede detenerse y, en el reto de calidades 6 sigma, es necesario dar pasos hacia un mantenimiento que aplique todas las técnicas factibles, de manera coordinada, para alcanzar resultados "de clase mundial" y garantizar la competitividad de nuestros procesos.

El reto no sólo supone tecnología entendida como "medios técnicos" sino trabajar para apalancar el conocimiento, por lo que es necesario "integrar" todas las capacidades del Mantenimiento Basado en la Condición en nuestra estructura de personas: no es suficiente con que alguien me proporcione un dictamen de fechas/estados/causas, si no entendemos la Transformada de Fourier (por citar un ejemplo) ni Weibull... no podremos evolucionar y si somos incapaces de realizar análisis 4 M, menos.

Las razones de esta exigencia son claras pues manejamos conceptos como:

- Análisis Multivariable
- Eventos, reglas Lógico – Temporales
- Análisis de Supervivencia
- Diseño de Experimentos
- Distribuciones estadísticas

Los sistemas IHM están extendiéndose rápidamente y nuestra competencia los tendrá más pronto que tarde (figura 7).

Estos sistemas, basados en fiabilidad y comparación de patrones en dimensión estática o temporal permiten:

- Generación de Modelos de detección de fallos
- Entrenamiento de modelos matemáticos
- Diagnóstico de Fallo

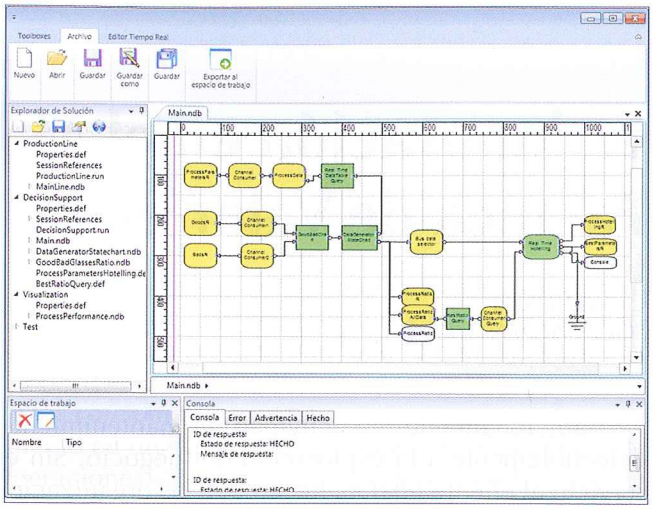


Fig. 7. Diseño de detección de fallos.

- Pronóstico de Fallo
- Pronóstico de Vida

Y, de nuevo, no es sólo suficiente con que me aporten un "diagnóstico"; es necesario entenderlos para sacarles todo su potencial (ver gráfico yy) (figura 8).

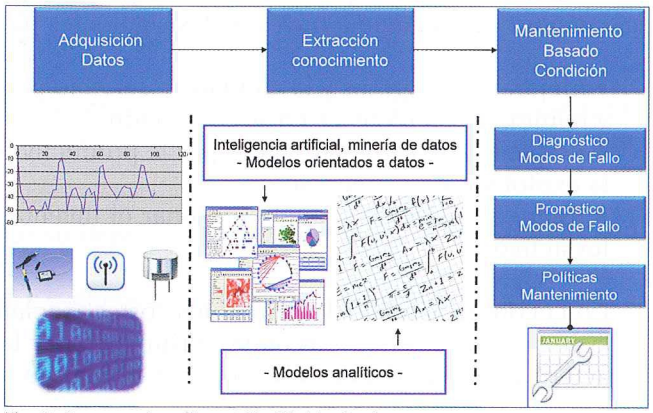
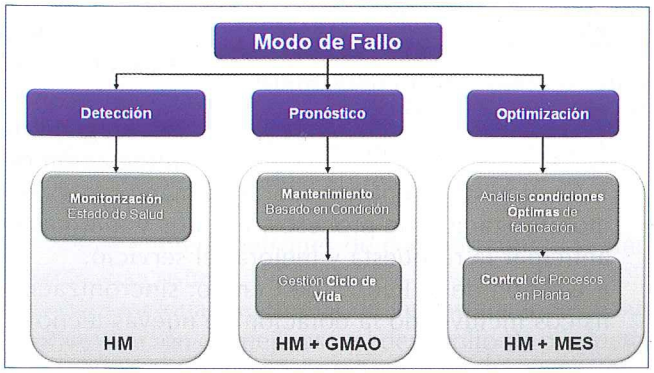


Fig. 8. Esquema Ingelligent Health Monitoring

Los sistemas IHM pueden estar "embebidos en el proceso" (es decir, monitarizándolo en tiempo real) o funcionar incluso como minería de datos (análisis off line) y deben estar integrados (ver gráfico xx) con:

- Sistemas de Gestión de Mantenimiento "evolucionados" (Enterprise Asset Knowledge Management)
- Sistemas MES y SCADAS
- Monitorización en continuo de otras variables (p.e. vibraciones)
- Con variables exógenas al sistema analizado si éstas influyen en la aparición de modos de fallo.

Fig. 9. Funcionalidad Health Monitoring.



Mantenimiento Preventivo

7.0

GRUPO Giner MAIN

Predictivo, Preventivo y Correctivo

S P I

Sistemas de Publicaciones Informáticas s.l.

MAIN-Grupo Giner. Parcela P14, pabellón 3. Pol. Ind. Ugaldeguren 2 - 48170 Zamudio(Vizcaya) - Telf. 94.452.02.08 / Fax. 94.452.01.93 - E-Mail: comercial.main@giner.com

Gestión global del mantenimiento informatizada

Linx 7.0 es el programa que le facilita y automatiza la planificación del mantenimiento preventivo, a la vez que le permite un control exhaustivo de todos los datos críticos en la gestión del mantenimiento, a fin que siempre disponga de la información necesaria para optimizar recursos y detectar anomalías.

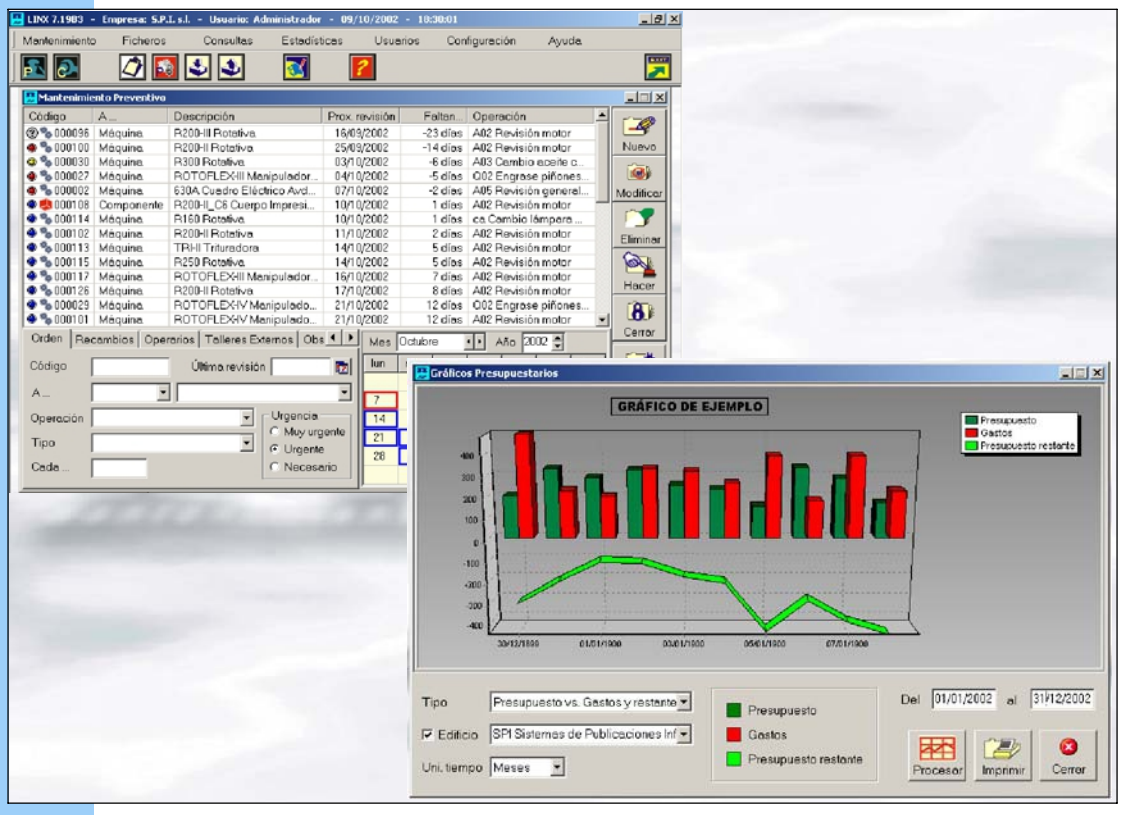
Está pensado para trabaja sobre plataformas *Windows* y en un entorno de red local o Intranet/Extranet/Internet.

Se destaca por un interface muy amigable, gran facilidad de uso y un aprendizaje rápido e intuitivo.

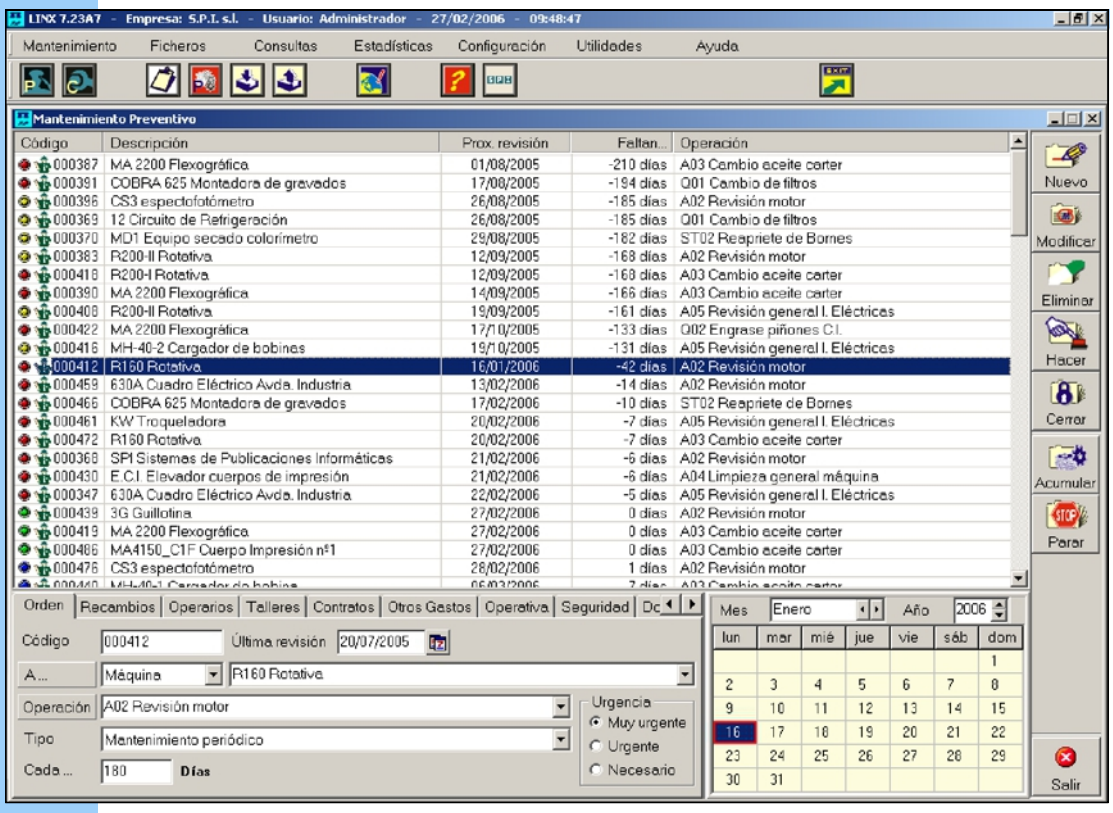
> *"En SPI diseñamos aplicaciones para que la máquina (ordenador) se adapte a la persona, no la persona a la máquina".*

El programa dispone de todos los módulos necesarios para gestionar integramente un *Departamento de Mantenimiento*, ya sea una empresa industrial o un edificio.
Es sumamente flexible y nunca obliga al usuario a introducir datos que él considere innecesarios. *En ningún caso el programa obliga, sólo propone.*

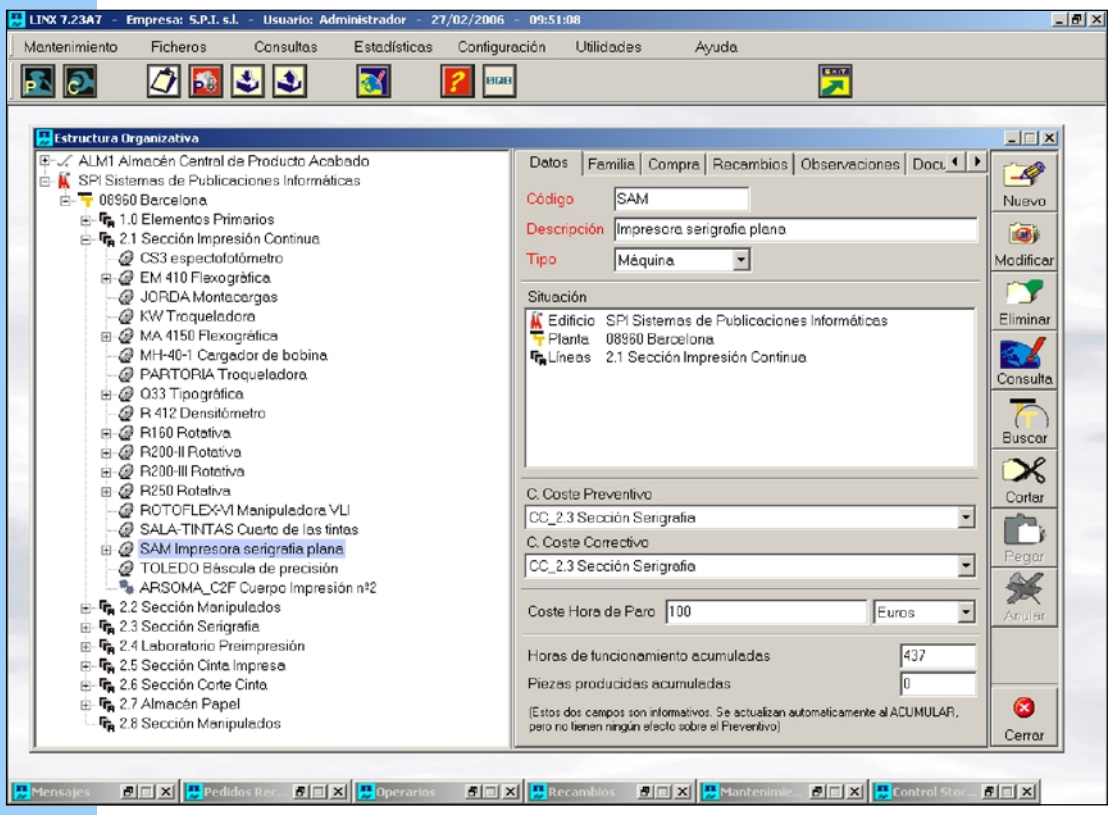
No es necesario disponer de una persona dedicada o un Administrativo para gestionar el programa, ya que cada persona de la empresa pone su "granito de arena" para que el programa funcione.



MAIN-Grupo Giner. Parcela P14, pabellón 3. Pol. Ind. Ugaldeguren 2 • 48170 Zamudio(Vizcaya) • Telf. 94.452.02.08 / Fax. 94.452.01.93
E-Mail: comercial.main@giner.com



Ejemplo. Pantalla principal de **Linx 7.0** y gestión de OT's de Preventivo



Ejemplo. Pantalla principal de **Linx 7.0** y Estructura de Activos.

MAIN-Grupo Giner. Parcela P14, pabellón 3. Pol. Ind. Ugaldeguren 2 • 48170 Zamudio(Vizcaya) • Telf. 94.452.02.08 / Fax. 94.452.01.93
E-Mail: comercial.main@giner.com

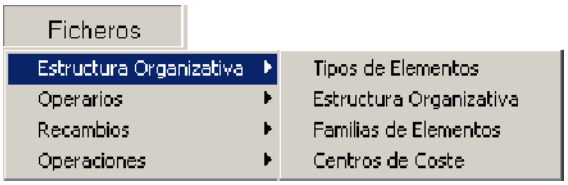
Descripción de funcionalidades

El programa se encuentra dividido en 7 apartados:

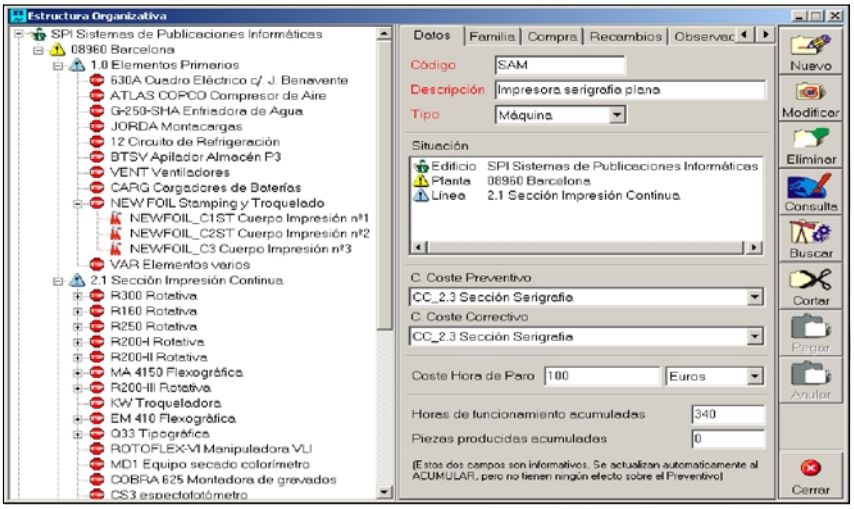


Ficheros

Es la parte donde se almacenarán los datos básicos para la gestión del mantenimiento.
Los **Ficheros** son:

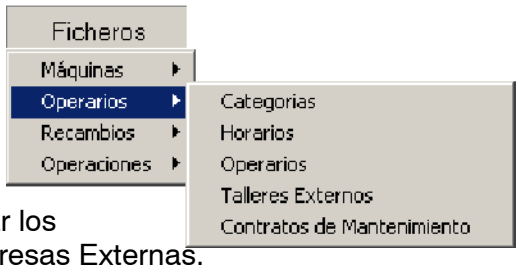


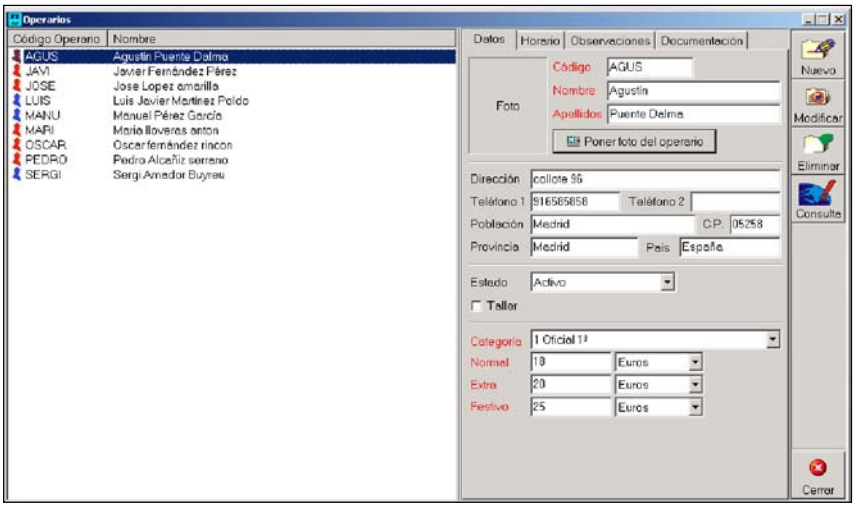
- *Estructura Organizativa*. Apartado en el que se define, de forma gráfica, la estructura de la maquinaria.
  No existen niveles prefijados y se pueden
  definir hasta 99 niveles de dependencia.
  Está basado en la relación Padre e Hijos, de los diferentes elementos.



Ejemplo. Pantalla de acceso a la ficha de Máquinas.

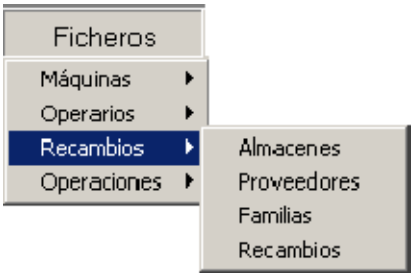
- *Operarios*. Apartado en el que se definen los recursos humanos para realizar el mantenimiento.
  El programa permite trabajar en tres conceptos: Operarios propios, Operarios de Empresas Externas y Empresas Externas así como controlar los Contratos de Mantenimiento con Empresas Externas.

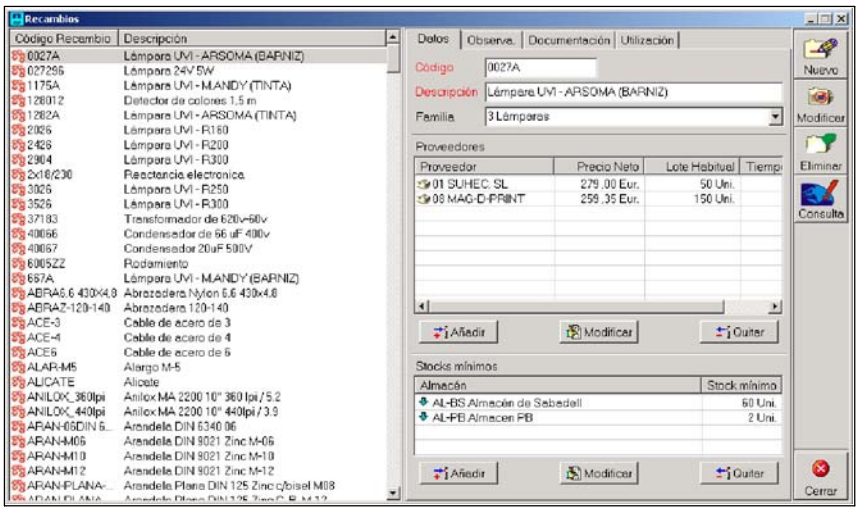




Ejemplo. Pantalla de acceso a la ficha de Operarios.

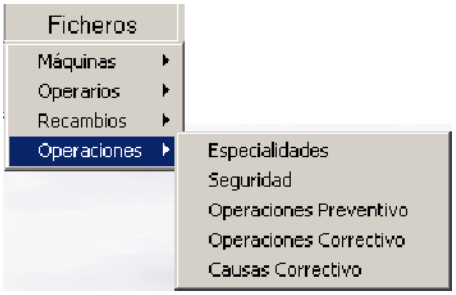
- *Recambios*. Apartado en el que se definen los recambios a utilizar, así como los datos vinculados. *Almacenes, Proveedores* y *Familias de Recambios.*
  El programa permite definir una ficha técnica, específica para cada familia de recambios.

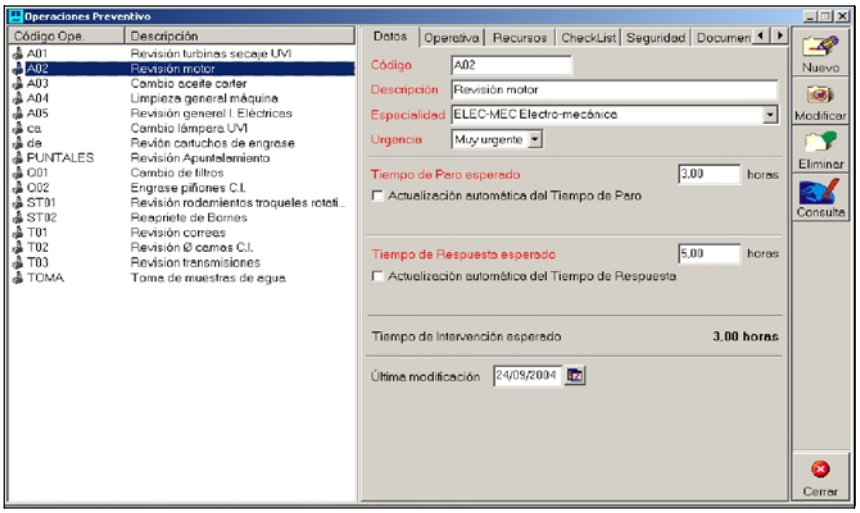




Ejemplo. Pantalla de acceso a la ficha de Recambios.

- *Operaciones*. Apartado en el que se definen las operaciones de mantenimiento Preventivo, Correctivo y las Causas por las que se han producido las OT de Correctivo.
  También se pueden introducir los módulos de Seguridad que se deberán aplicar en cada una de las Operaciones de Preventivo/Correctivo.





Ejemplo. Pantalla de acceso a la ficha de Operaciones de Preventivo.

El programa permite controlar los tiempos de paro de los elementos, así como el tiempo de respuesta previsto y el real, ver la eficacia en las intervenciones, gestionar los recursos, aplicar medidas de Seguridad a las órdenes y establecer tablas de check-list para el Operario.

"Una imagen vale más que mil palabras"

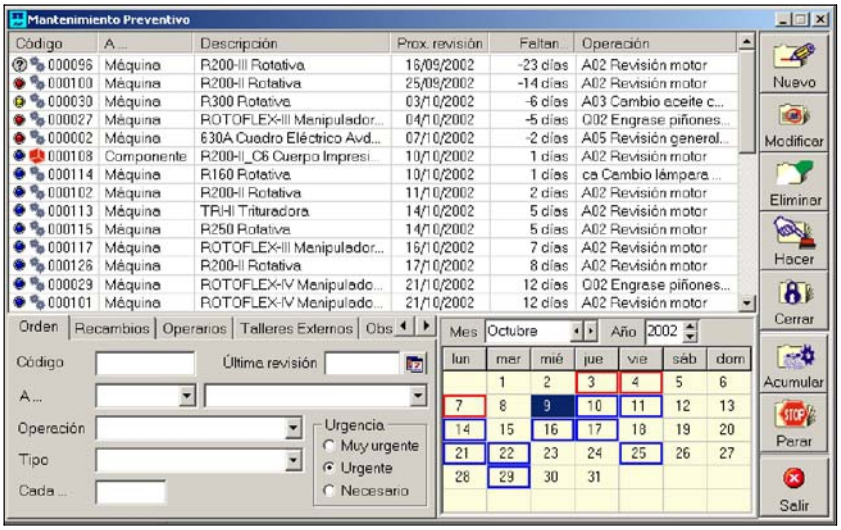
Con éste fin, se ha integrado un sistema de gestión documental en todos los apartados del programa.
Permite incluir cualquier fichero adicional al programa: manuales de recambios/máquinas en formato electrónico, esquemas y planos, vídeos formativos de reparaciones, fotografías, etc.

Mantenimiento

En ésta parte se controlan las OT de Preventivo/Correctivo y se realiza la gestión del Almacén (Pedidos, Control de Stocks, Entradas/Salidas, etc.).
El **Mantenimiento** son:

- *Órdenes*. Apartado en el que se crean/ gestionan las OT's de Preventivo/Correctivo/Nuevas Instalaciones, así como se marca el Presupuesto asignado a cada elemento.





Ejemplo. Pantalla de acceso a las OT de Preventivo.

El programa permite crear infinitas operaciones de mantenimiento Preventivo/Correctivo/Nuevas Instalaciones, definiendo para cada una qué recursos son necesarios para llevarla a cabo: Operarios, Recambios, Talleres Externos, etc.

Las operaciones de Mantenimiento Preventivo/Correctivo pueden ser asignadas a cualquier *elemento* que halla sido definido en la Estructura Organizativa de la Empresa..

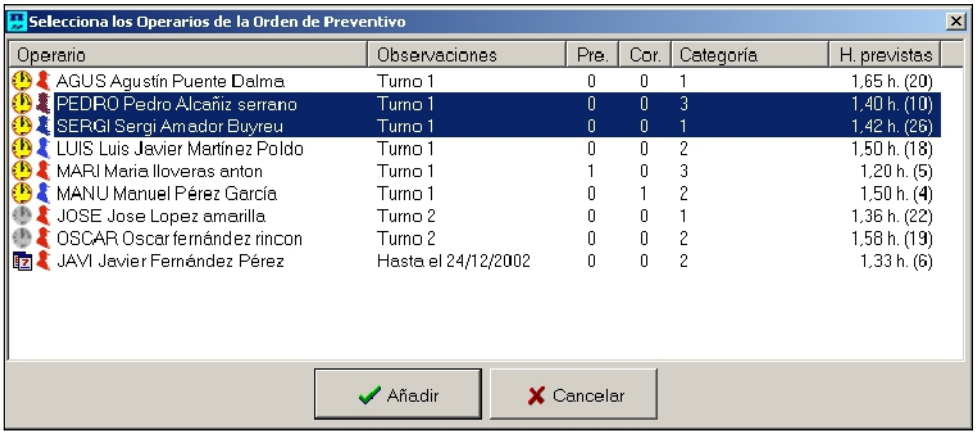
Se pueden planificar las OT de Preventivo por tres conceptos:

- Periódico (por días naturales)
- Por Producción (*n* elementos producidos)
- Por Horas de Funcionamiento

El programa tiene diseñado un sistema de colores para poder identificar el estado de cada orden de trabajo:

- Orden de trabajo en Curso
- Orden de trabajo que se tendría que realizar Hoy.
- Orden de trabajo prevista para un Futuro.
- Orden de trabajo que ya se tendría que haber realizado.

Con el fin de ayudar al encargado del mantenimiento, cuando se decide realizar una orden de Preventivo/Correctivo, el programa aconsejará los operarios que menor carga de trabajo tienen en éste momento, cuanto tiempo han tardado en realizar ésta operación en el histórico, que Operarios están activos, los que están de Vacaciones, etc.



Una vez finalizada la OT se procederá a Cerrar la orden, modificando, si es necesario, las observaciones, los recursos, el tiempo dedicado, las horas de paro, el centro de coste, incluyendo documentación (imágenes/docs, ...), etc.

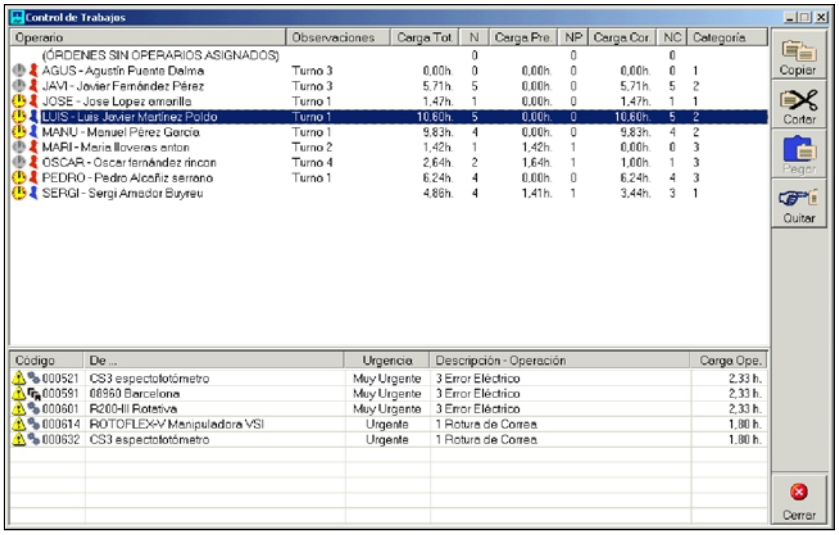
Una vez Cerrada una OT ya no puede ser modificada, pasando al histórico para su posterior consulta y estadística.

Al Cerrar las OT's de Preventivo/Correctivo, se asignarán las horas trabajadas por cada Operario y el coste de los trabajos realizados por los Talleres Externos, afín de controlar el coste de cada orden de trabajo.

"La información es poder"

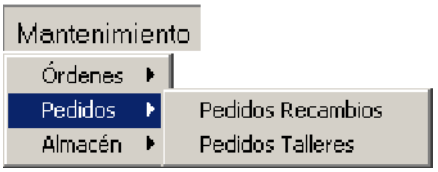
Gracias a la asignación de las *Causas de Correctivo*, el programa evalúa el histórico de cada máquina y apunta cual puede ser la causa más probable de la Avería.
Asimismo indicará cuales han sido las soluciones adoptadas en cada caso.
Mediante éste sistema se acortan la búsqueda y solución de las órdenes de Correctivo y sirve la experiencia como fuente de conocimiento.

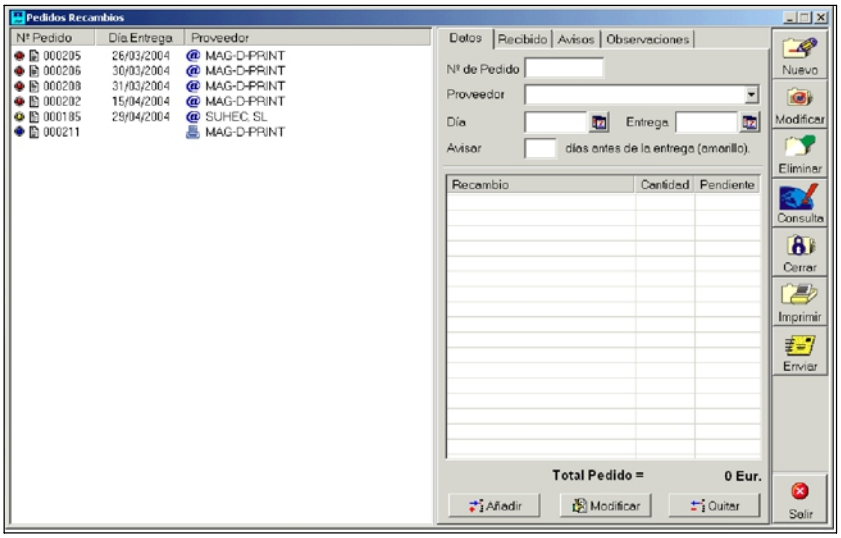
Cargas de Trabajo. Mediante ésta utilidad, el responsable de mantenimiento puede ver la carga de trabajo de los Operarios (Internos/Externos), priorizar órdenes, mover OT's de un Operario a otro, etc.



Ejemplo. Pantalla de acceso a Control de Trabajos.

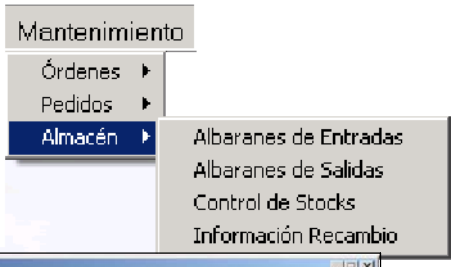
- *Pedidos*. Apartado en el que se crean/gestionan los Pedidos de Recambios a Proveedores y los Pedidos de *Servicios* a los Talleres Externos.

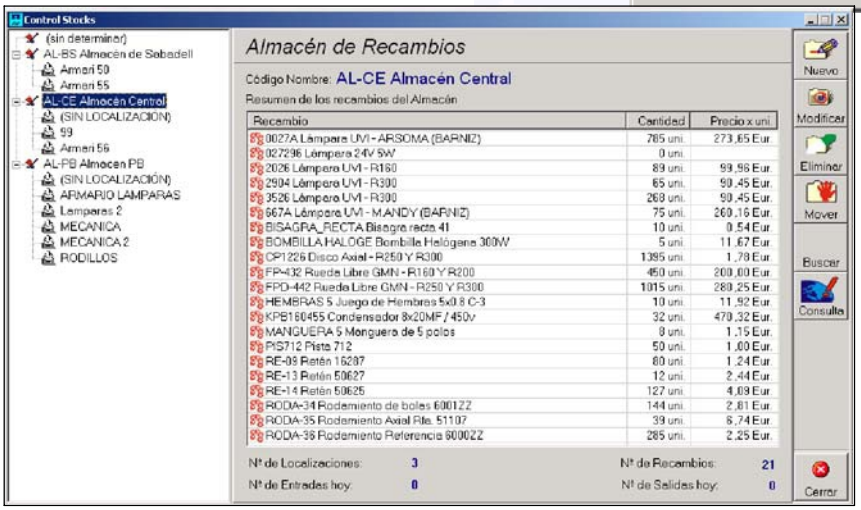




Ejemplo. Pantalla de acceso a Pedidos de Recambios.

- *Almacén*. Apartado en el que se gestionará las Entradas/Salidas de Recambios de los Almacenes, así como controlar el Inventario y el movimiento de Recambios entre Almacenes.





Ejemplo. Pantalla de acceso a Control de Stocks.

El programa permite controlar todo el ciclo de vida de un recambio: entradas, salidas, pedidos, inventarios, stocks mínimos, etc.

Dispone de opciones de multialmacén y multilocalización, es decir, los recambios se pueden tener en diferentes almacenes y determinar donde se encuentran dentro de éstos (estanterías, cajones, armarios, etc.)

En la ficha de definición del recambio se puede introducir los diferentes proveedores que suministran un mismo recambio, con el último precio de compra, la referencia del producto, lote habitual, etc.

En la misma ficha del recambio se pueden fijar stocks mínimos o críticos para que el programa avise al llegar a éstos y se pueda gestionar un pedido.

Ningún movimiento del stock de recambios se puede hacer sin dejar constancia del movimiento.

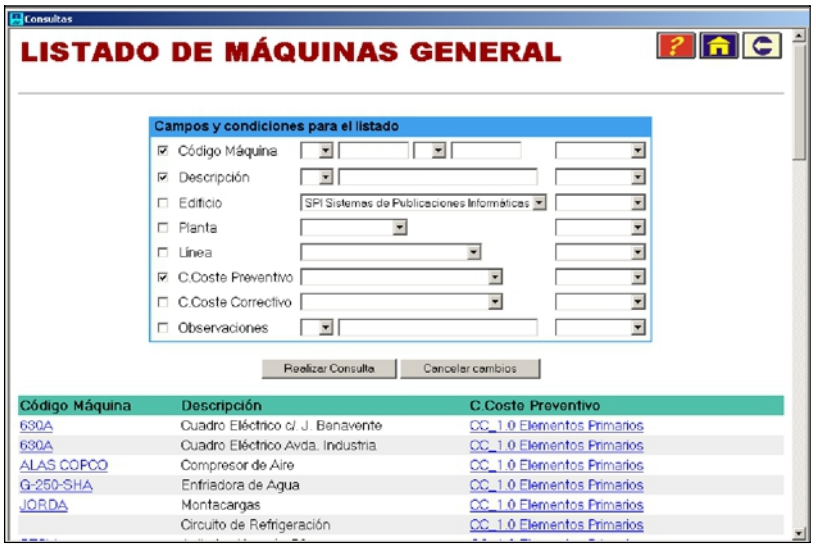
Se pueden realizar inventarios valorados por almacenes y localizaciones a fin de conocer el importe en inmovilizado y realizar un inventario físico.

Consultas

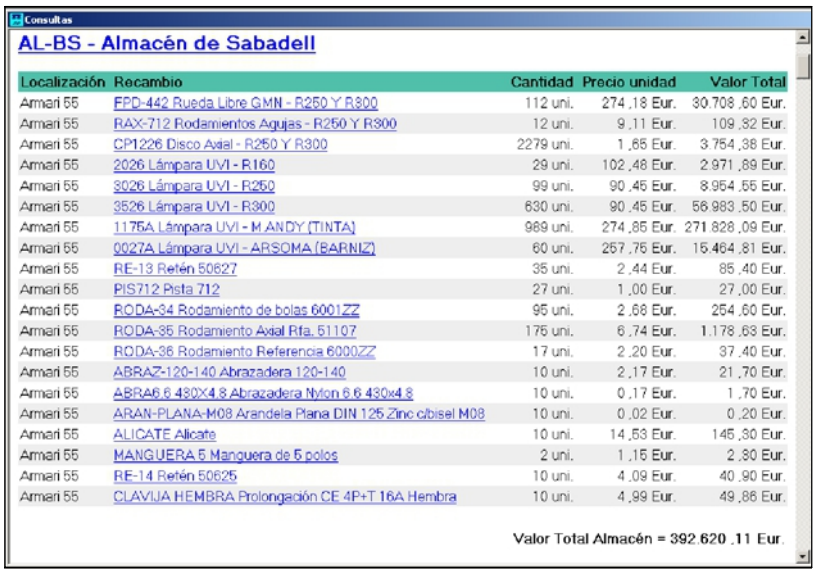
En ésta parte se podrá analizar los datos generados por el programa así como realizar listados.

El programa dispone de un sistema de consultas en formato HTML, que puede ser consultado desde el propio programa o bien acceder a ellas mediante un navegador (Internet Explorer, Netscape, etc.)

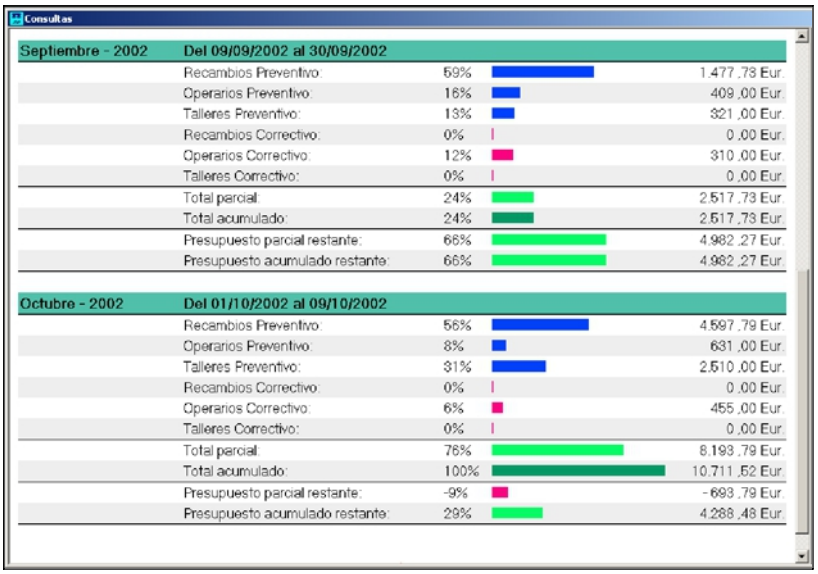
Linx 7.0 no tiene listados o consultas prefijados, sino que lleva elaborado un generador de informes para que cada usuario realice las consultas que desee y visualice los campos elegidos en el listado.
Una vez realizada una consulta, se puede Guardar en el *Repositorio de Consultas* para su posterior acceso.



Ejemplo. Pantalla de Consultas de Máquinas.



Ejemplo. Pantalla de consultas de Inventario de Stocks.



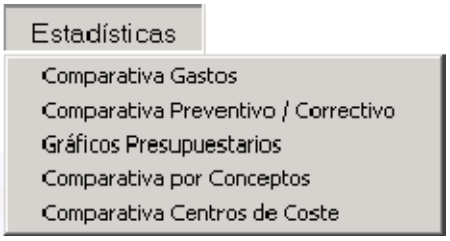
Ejemplo. Pantalla de consultas de Estadísticas de costes.

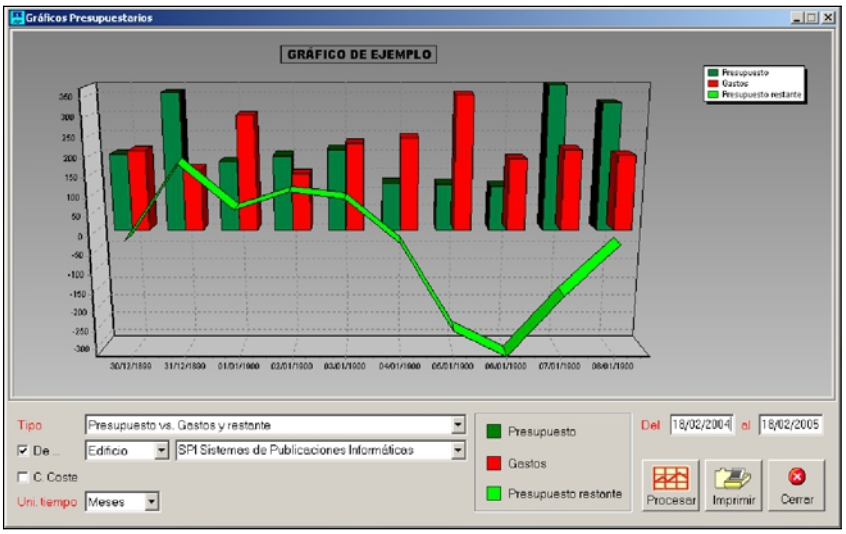
El programa permite conocer:

- Costes Generales
- Costes desglosados por Recambios/Operarios/ Talleres Externos/Contratos de Mantenimiento
- Costes por elemento
- Costes por Centro de Coste
- Horas de Paro
- Coste de las Horas de Paro por elemento o Centro de Coste.
- Comparar con el presupuesto Previsto y el Real
- Obtener ratios de eficiencia en las intervenciones
- Conocer las desviaciones en tiempos, recursos y costes

Estadísticas

- En ésta parte podremos analizar en formato gráfico los datos del histórico de las órdenes de Preventivo/Correctivo.
  Una vez realizada una *estadística*, puede ser exportada a Excel o guardar la imagen resultante en formato imagen.





Ejemplo. Pantalla de Estadísticas por Costes

"Lo que la verdad esconde"

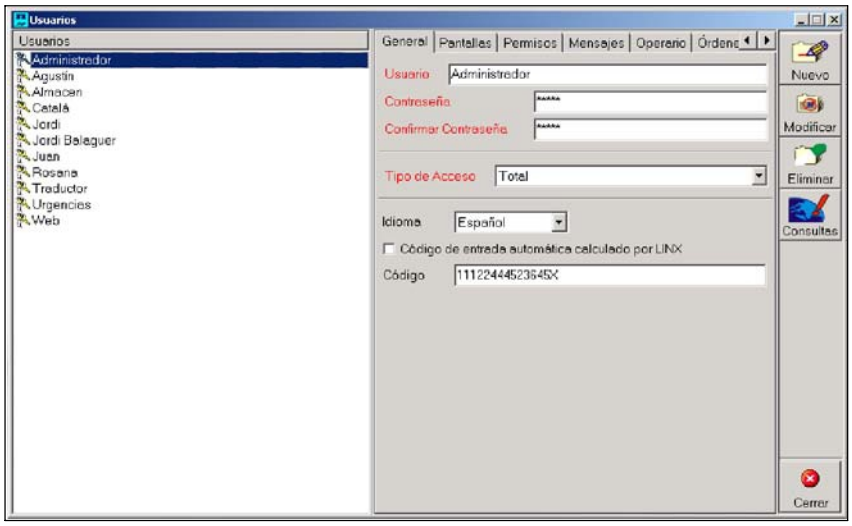
Gracias a las estadísticas (gráficas o por consultas), podemos determinar en cuestión de segundos la evolución económica de nuestro mantenimiento.

Nos va a permitir conocer que máquina es la más problemática, la que más gasto está produciendo, la que más horas de paro por culpa de correctivo está soportando, etc.

Usuarios

EL programa permite dar de alta múltiples usuarios. Cada usuario se puede definir el perfil que va a tener y el programa sólo hace visible los menús e iconos para cada perfil.

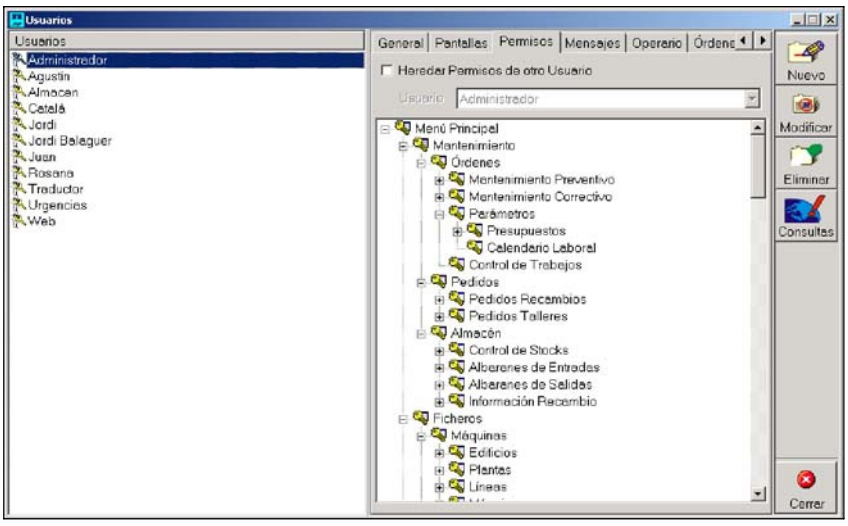
El acceso se puede restringir para el programa en modo cliente, sólo consultas vía Web o usuarios que realizan Solicitudes de Intervención.



Ejemplo. Pantalla de Usuarios

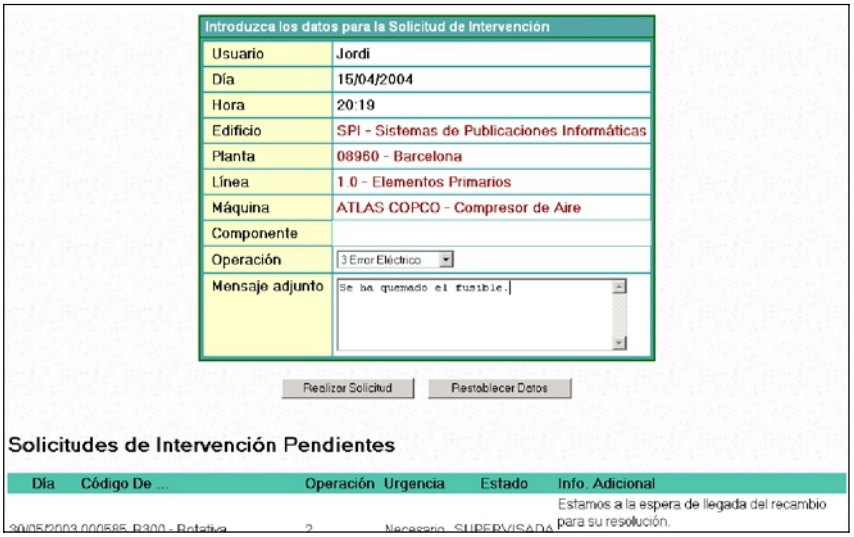
El control de usuarios es total. Se pueden eliminar menús, restringir el acceso, permitir la visualización y no la ejecución de algún botón, etc.

Se puede hacer que el usuario sólo tenga acceso a las OT asignadas para él y dar permisos de Cerrar las OT con supervisión por parte de un responsable de mantenimiento.



Se pueden definir usuarios con la única tarea de realizar **Solicitudes de Intervención**. Esta parte del programa funciona mediante cualquier navegador y permite al usuario solicitar un servicio de correctivo al departamento de mantenimiento.

Asimismo, el usuario que ha lanzado la solicitud, puede ver como se encuentra su evolución.



Existe un sistema de comunicación entre el departamento de mantenimiento y el usuario que realiza la solicitud, a fin de poder conocer ambas partes la evolución de una OT.

El departamento de Mantenimiento tiene la potestad de aprobar o rechazar una Solicitud de Intervención por parte de un usuario.

"El tiempo es oro"

Cada día los requerimientos para los departamentos de Mantenimiento son mayores. Sin embargo, en muchos casos, los recursos son menores y el nivel de especialización más alto.

Los responsables de mantenimiento son profesionales que saben hacer bien su trabajo y no tienen tiempo para perder en tareas administrativas.

Linx 7.0 es una herramienta muy fácil de implementar y que necesita muy poco tiempo para ser gestionada, entregando en cada momento los datos necesarios para que el responsable de Mantenimiento disponga de herramientas para la toma de decisiones.

Configuración

Se introducen los parámetros de configuración del programa, datos de la empresa, configuración de los números de pedidos, gestión del stock, configuración del equipo lector de código de barras, etc.



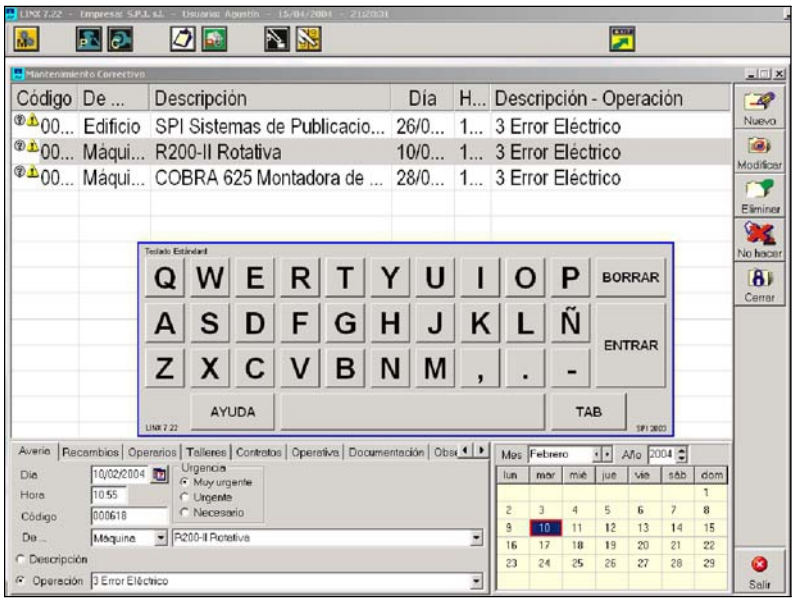
Utilidades

- En ésta apartado disponemos de una *Biblioteca* (Gestión Documental), Herramientas para la Pantalla táctil, *Cambiar la Contraseña* y *Cerrar la Sesión*.



El programa dispone de una herramienta muy útil para conseguir que los operarios gestionen las OT's que tengan asignadas.

Ésta utilidad es la de utilizar una pantalla táctil, y configurar el terminal como tal.



El programa también incorpora la gestión por código de barras: OT's Preventivo, OT's Correctivo, Pedidos, Recambios, Almacén, etc.

La entrada de Operarios se puede realizar por tarjeta magnética o por código de Barras.

Ayuda

El programa dispone de una ayuda *on-line* que incluye todos los módulos del programa. La ayuda está diseñada en modo web para su fácil manejo.
Desde cualquier pantalla del programa se puede acceder a la ayuda de la pantalla pulsando la tecla F1.

Versiones del Programa

El programa **Linx 7.0** se vende completo. No existen módulos adicionales ni usuarios adicionales.

SPI vende una licencia para la empresa y ésta decide cuantos puestos de trabajo desea instalar, sin que la instalación de nuevos clientes tenga un coste adicional.

El programa dispone de 2 versiones:

- **Linx 7.0 Monopuesto.** Pensado para empresas que trabajan con una única denominación social, pero con la posibilidad de definir *n* elementos de ésta sociedad.
- **Linx 7.0 Multiempresa**. Pensado para grupos de empresas con diversas denominaciones sociales o empresas que realicen labores de mantenimiento para otras empresas.

  Existen 3 posibles versiones:
  Multiempresa 5. Para dar de alta 5 empresas.
  Multiempresa 10. Para dar de alta 10 empresas
  Multiempresa Full. Para dar de alta un número ilimitado de empresas.

Datos Técnicos

El programa está preparado para trabajar en sistema Cliente/Servidor en plataformas Windows 9X o superior.

Servidor. Los requerimientos del servidor son los definidos a partir de la base de datos que se desee implementar.
Linx 7.0 trabaja con bases de datos SQL Multiusuario: Oracle 8.0.X o SQL Server 7/2000, MSDE.

Cliente Linx. Los requerimientos para el cliente son de 10 Mb de espacio en disco y 16 Mb de Ram.

Cliente Web o Solicitud de Intervención. Los requerimientos son los que marca el propio navegador (IExplorer, Netscape, etc.)

Para la comunicación entre el Servidor y el Cliente **Linx 7.0**, se utiliza el protocolo SOAP, que permite acceder desde una LAN interna o desde accesos Internet/Extranet.

Las actualizaciones del programa se hacen automáticas tanto el Servidor Linx como el Cliente Linx, evitando mantenimiento de las versiones en cada instalación por parte del usuario.



GESTIÓN GLOBAL DEL MANTENIMIENTO

Mapex Maintenance Manager *es el software GMAO (Gestión del Mantenimiento Asistido por Ordenador) que le permitirá el control y gestión global del departamento de mantenimiento de forma simple y eficiente.*



El sistema de Mapex le permitirá el control de costes y planificación de todos los trabajos habituales del departamento de mantenimiento (**correctivos, preventivos, predictivos, o nuevas instalaciones**), así como la **gestión de los recambios** (compras, pedidos, stocks, almacenes), horas asignadas a cada trabajo (internos o externos) y la **gestión documental** (planos, instrucciones o manuales).

Tradicionalmente los programas de mantenimiento han sido complejos de utilizar, con muchas pantallas y muchos datos por introducir. La solución de Mapex permite eliminar aquellos campos, pantallas y opciones que no sean necesarias, de forma que se adapta fácilmente a cada caso y se implanta rápidamente.

¡Elimine todo el papel de planta! Los propios operarios podrán introducir fácilmente los datos en planta en cada intervención (horas, trabajos, o consumos de recambios) mediante pantallas táctiles, ordenadores de sobremesa, tablets o PDA's.

Este módulo se basa en la plataforma *Mapex Business Platform, y está disponible* tanto en la **versión Corporate** para grandes empresas, como en la **versión Small Business** para Pymes.

El aplicativo puede ser utilizado de forma independiente o se puede enlazar a cualquier programa de producción o ERP.

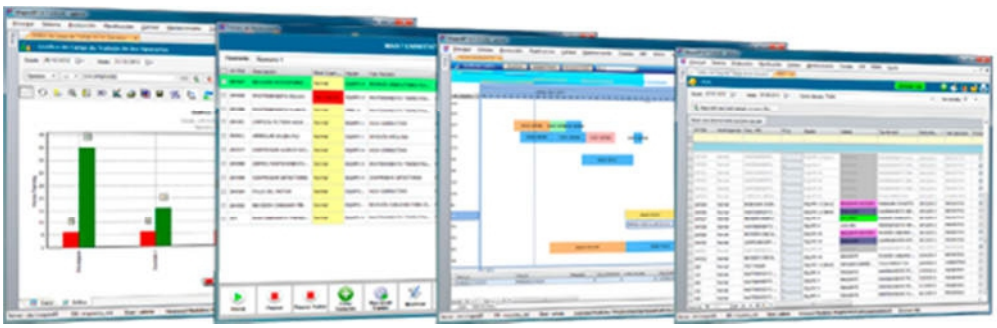
Todo el entorno tiene una interfaz amigable e intuitiva que permite gestionar y visualizar, tanto en planta como en oficina, toda la información de mantenimiento en tiempo real.

Funciones y características principales

El sistema multi-usuario, multi-planta, multi-almacén y multi-idioma.

A modo general, el producto realiza las siguientes funciones:

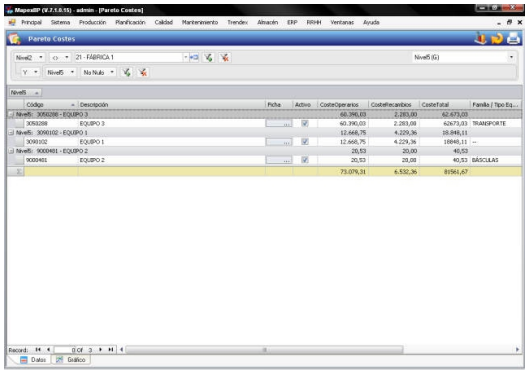
- Permite la rápida gestión y asignación de los **mantenimientos correctivos.**
- Gestión del **mantenimiento preventivo** de cada equipo, permitiendo programar las tareas a realizar en cada máquina o equipo en función de los ciclos de máquina o del tiempo de producción real, de forma automática.
- **Control en tiempo real de los operarios** de mantenimiento (tiempos de correctivos, preventivos, costes, etc.).
- **Control** de **consumos de recambios** utilizados durante el mantenimiento.
- **Control de costes** por áreas, máquinas, fechas, operarios, recambios, o turnos.
- Control de **stock** en almacenes de recambios, proveedores, precios, stocks mínimos, lotes de pedido mínimo, y creación automática de **pedidos de compras.**
- Gestión de recepción de albaranes, devoluciones y facturas.
- Cálculo automático de los ratios habituales, como el **MTTR** (Mean Time To Repair) y **MTBF** (Mean Time Before Fail).



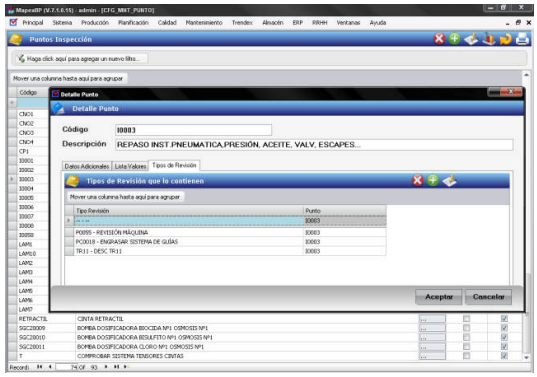


- **Gestión de documentación** de mantenimiento (planos, instrucciones, procedimientos, documentos PDF, videos, imágenes o fotografías) disponibles a pie de máquina.

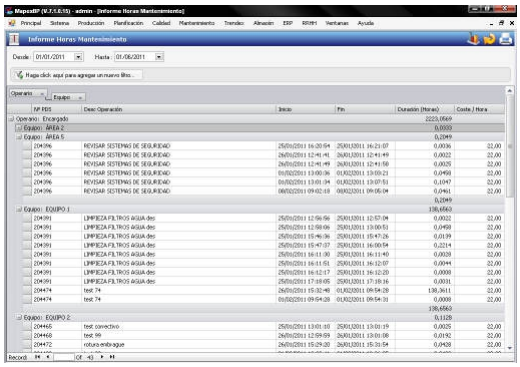
Además de la **Exportación directa de datos a Excel**, integra la potente herramienta de visualización de informes con Mapex Reports y un elaborador de gráficos, consultas y estadísticas para el usuario final.



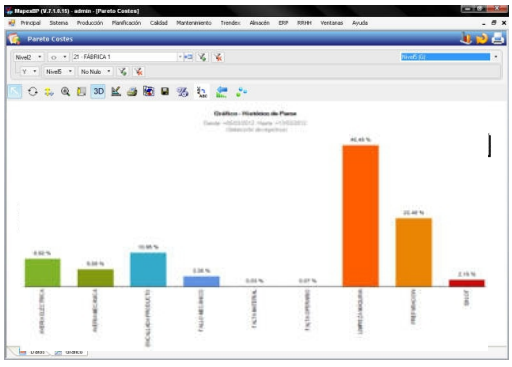
El sistema informa de los mantenimientos preventivos pendientes, y permite configurar el número de ciclos o tiempo para cada operación.



Puede organizar todos los equipos a mantener en jerarquías, con sus respetivos mantenimientos, y operarios y recambios habituales.

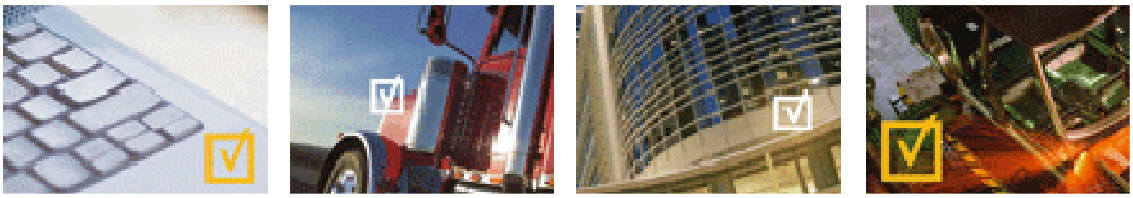


Los históricos permiten el análisis dinámico de toda la información (costes, intervenciones, tiempo, equipos, recambios, etc.)



La herramienta incluye un potente gestor de gráficas que el propio usuario final puede configurarse.

Ahorre costes con una eficiente Gestión de Activos desde una única plataforma



Convergencia de Activos ⟶
Economía de escala

Todas las compañías dependen de activos críticos, ya sean de producción, flotas, instalaciones o activos IT, por lo que el cuidado de los mismos es crucial para su negocio.

La utilización de múltiples aplicaciones de software que proporcionan cada una su visión parcial de los activos dificulta la identificación de áreas donde mejorar el rendimiento.

IBM Maximo Asset Management está construido **sobre una única plataforma** que aporta una visión global de todos los activos de la empresa.

A través de la visibilidad y control que proporciona **maximo** sobre los activos de **producción, facilities, flotas e IT,** se pueden incrementar los niveles de disponibilidad y seguridad a la vez que se reducen los costes. Podrá definir estrategias y tomar decisiones basadas en datos reales, mejorando el rendimiento y retorno de sus activos.

Conozca a fondo los beneficios que se pueden obtener **maximo**:

Con IBM Maximo Asset Management las compañías disponen de una herramienta que les permite:

- Conocer el valor real de sus activos, localización y el nivel de conservación y gastos que generan.
- Obtener la máxima disponibilidad de sus instalaciones y equipos con el menor coste.
- Determinar la estrategia de mantenimiento más adecuada, planificando trabajos, calendarios y recursos.
- Asegurar la calidad de los productos y servicios.
- Contribuir y documentar el cumplimiento de las normativas de seguridad, calidad y medioambiente.
- Optimizar los recursos técnicos y humanos a la vez que se estandarizan las operaciones.
- Disminuir costes de almacén y mejorar la gestión de compras.
- Agilizar el acceso a toda la información y facilitar la toma de decisiones.

Optimice sus activos y su negocio

Consistente en seis módulos clave de gestión: **activos, trabajos, servicios, contratos, materiales y compras**, Maximo Asset Management permite programar mantenimientos preventivos, predictivos y no planificados, ayudando a reducir costes y maximizando el retorno de la inversión sobre los activos.



maximo Allegro Systems INTERNATIONAL

Tivoli software

IBM Maximo Asset Management recoge y analiza los datos relacionados con los trabajos y los activos. Posee avanzadas funcionalidades divididas en seis áreas clave:

Gestión de Activos

El control necesario para gestionar los activos y ubicaciones durante todo su ciclo de vida.

- Seguimiento de activos, incluyendo movimientos, histórico de mantenimientos y costes.
- Establecimiento de jerarquías de activos y ubicaciones para registrar los costes a través de los sistemas, subsistemas y localizaciones.
- Monitorización de activos, localizaciones y condiciones, realizando un mantenimiento proactivo, evitando así el reactivo y reduciendo los tiempos de parada.

Gestión del Trabajo

Gestiona las actividades de mantenimiento planificadas y no planificadas. Registra los datos desde que se crea la orden de trabajo o solicitud, hasta su finalización y registro.

- Ayuda a reducir costes de materiales y mano de obra a través de las herramientas de seguimiento y análisis, tanto de costes, como de recursos humanos, materiales y servicios.
- Facilita la distribución de los trabajos a las personas adecuadas, optimizando los calendarios de mantenimiento mediante la asignación gráfica de trabajos.
- Permite programar mantenimientos preventivos en su localización exacta y con los recursos necesarios, reduciendo mantenimientos no planificados y mantenimientos reactivos.



Gestión de Servicio

Registra las solicitudes de servicio y realiza el seguimiento de las solicitudes abiertas. Con **IBM Tivoli® Asset Management for IT & Service Desk** se aplican las “best practices” para la gestión de servicio, alineando las prioridades de la gestión de activos con los objetivos del negocio.

- Define ofertas de servicio, mejorando la comunicación. Verifica que los servicios proporcionados son los requeridos por la empresa.
- Establece acuerdos de nivel de servicio (SLAs) para mejorar la comunicación entre la organización, las unidades de negocio y los proveedores, alineando los niveles de servicio con los objetivos empresariales.
- Monitoriza el nivel de servicio acordado y el recibido según las métricas definidas, ayudando a evitar el incumplimiento de acuerdos de servicio.
- Implementa procedimientos de escalamiento en la gestión de recursos para garantizar el cumplimiento del nivel de servicio requerido.

Allegro Systems International
Paseo. de la Castellana 194, 28046 Madrid – ☏ 917 030 300 – www.allegro-systems.com

Gestión de Contratos

Cubre la gestión de contratos para compras, leasing, alquiler, garantía, mano de obra, contratos maestros, abiertos y los definidos por el usuario.

- Facilita la identificación proveedores poco formales y productos de baja calidad. Establece una correlación de contratos y los relaciona con las SLAs. Permite realizar métricas de SLAs para la renegociación con los proveedores.
- La biblioteca de términos y condiciones permite aplicar políticas estandarizadas para la organización.
- Las alertas y notificaciones automáticas aseguran el cumplimiento de los términos establecidos por los proveedores, evitando penalizaciones.

Gestión de Materiales

Conocer qué, cuándo, dónde, cuánto y su valor sobre los materiales relacionados con los activos.

La funcionalidad de gestión de materiales permite registrar los movimientos y ajustes de materiales, proporcionando información del seguimiento de los materiales en tiempo real.

- Controla las transacciones de inventario, reduciendo los costes y eliminando inventarios obsoletos o duplicados.
- Ayuda a optimizar y planificar los inventarios según las necesidades de mantenimiento, disponiendo de las piezas exactas en la ubicación y momento adecuados. Reduciendo las roturas de stock, inventario y costes.

Gestión de Compras

Integra todas las fases, incluyendo compras directas y reaprovisionamiento.
Su amplia funcionalidad en solicitudes de compra, peticiones de oferta, análisis de proveedores, órdenes de compra y contratos, permite actuar de forma proactiva a los gestores de compras.

IBM Maximo Asset Management se integra fácilmente con los sistemas de gestión empresarial, conectando además con plataformas de e-commerce en tiempo real.

- Las herramientas de gestión y análisis de proveedores permiten verificar la fiabilidad de los mismos y la calidad de los materiales y servicios suministrados. Además permiten eliminar las compras fuera de contrato.
- Aumenta la eficacia de las compras, permitiendo solicitar tanto materiales como servicios basándose en eventos, medidores…
- Soporta compras corporativas consiguiendo mayor eficiencia y ahorro de costes.
- Las herramientas de análisis y KPIs (Key Performance Indicators) miden el rendimiento del suministro,





Adáptelo a sus necesidades

No importa el tamaño de su compañía, la cantidad de sites o variedad de ubicaciones.

IBM Maximo Asset Management se adapta a las necesidades de su empresa protegiendo su inversión.

Su tecnología 100% Internet (Arquitectura web J2EE) facilita el acceso a toda su funcionalidad desde cualquier PC a través del navegador Microsoft Internet Explorer, sin requerir ninguna otra instalación. Ha obtenido la certificación *Java Verified*™ de Sun Microsystems, garantizando la utilización de los estándares y tecnologías más avanzadas para el diseño, desarrollo y despliegue de aplicaciones. Soporta las bases de datos Oracle, SQL y DB2.

Su Arquitectura Orientada a Servicios (SOA) permite alinearlo con los procesos de negocio y forma de trabajar, a la vez que proporciona una visión global a lo largo de toda la empresa.

IBM Maximo Adapter for Microsoft Project

Establece una conexión bidireccional entre IBM Maximo Asset Management y Microsoft® Project, proporcionando el acceso a los datos de IBM Maximo Asset Management desde Project, permitiendo así gestionar proyectos complejos o grandes paradas. Esta conexión actualiza automáticamente en IBM Maximo Asset Management los datos sobre el trabajo, los recursos y la programación.

IBM Maximo Change Manager

Gestiona los cambios y reemplazos de activos. Tiene capacidad para implementar procesos y políticas de negocio, aumentando la rapidez y eficacia, a la vez que ayuda a reducir riesgos.

Además, su capacidad para la gestión de actualizaciones y reemplazos permite definir tareas, calendarios y recursos para la actualización de versiones y configuración de activos.

IBM Maximo EveryPlace

Utilizando la tecnología del navegador, permite acceder a la funcionalidad de IBM Maximo Asset Management desde teléfonos móviles - smartphones, blackberry…- para realizar funciones como aprobación de OT´s, solicitud de avisos, etc.

IBM Maximo Mobile

Las aplicaciones de IBM Maximo Mobile facilitan el acceso remoto a los datos de IBM Maximo Asset Management. Favorecen el incremento de la productividad, precisión y calidad de cualquier infraestructura. Los usuarios de dispositivos móviles pueden completar planes de trabajo, eliminar actividades poco productivas, reducir papeleo y entrada de datos. Además permite acceder inmediatamente a los datos in situ, mejorando la resolución de incidencias en la primera visita. IBM Maximo Mobile satisface las necesidades de control de activos remotos, trabajos e inventarios.



IBM Maximo Linear Asset Manager

IBM Maximo Linear Asset Manager define los activos en términos de referencia lineales como unidad de medición ó punto geográfico. Permite segmentar los activos lineales para realizar un control de cada tramo y poder identificar peticiones de trabajo en puntos determinados del mismo. Ayuda a gestionar todo tipo de activos lineales: carreteras, ferrocarriles, líneas de energía eléctrica, gaseoductos…

IBM Maximo Instrument Calibration Manager

Facilita la calibración de las herramientas de medición, test de instrumentación y activos. Este producto proporciona documentación de la política de cumplimiento, validación de datos, trazabilidad, y trazabilidad inversa para la calibración de activos, así como de los patrones utilizados para calibrarlos.

IBM Maximo Asset Configuration Manager

Esta solución facilita la gestión de complejos activos sometidos a estrictas regulaciones de sectores como aviación, defensa, nuclear y ferrocarril. Realiza el seguimiento de complejas configuraciones tanto actuales como históricas de los activos y sus componentes. Puede gestionar y mantener de forma precisa la condición de los activos, el coste del ciclo de vida de los componentes y el estado operacional de los equipos.

IBM Maximo Integration Framework

Integra IBM Maximo Asset Management con todos los sistemas empresariales, incluyendo Gestión de Edificios (CAFM), Sistemas de Información de Clientes (CIS), y Diseño Asistido por Ordenador (CAD), para obtener una visión holística de toda la información de los activos.

Ayuda a simplificar el intercambio de datos entre sistemas en tiempo real. Una biblioteca de integraciones predefinidas soporta diferentes escenarios de integración entre IBM Maximo Asset Management y sistemas de gestión empresarial. Facilita la definición e integración entre sistemas empresariales mediante Web Services y con Service Oriented Architecture. (SOA).

IBM Maximo Scheduler

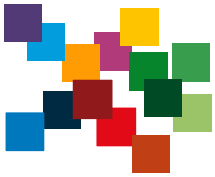
Se trata de una herramienta de planificación fácil de usar y de configurar que proporciona a los planificadores de mantenimiento la posibilidad de ver gráficamente las OT´s, aplicando horarios de trabajo eficiente con el uso óptimo de los recursos.

IBM Maximo Spatial Asset Management

Permite visualizar el trabajo y todos los activos en un contexto geoespacial. Basado en la tecnología ArcGIS Server 9.2 de ESRI, crea de mapa GIS en las aplicaciones de pedidos de trabajo, activos, ubicaciones y solicitudes de servicios.

IBM Maximo Real Time Asset Locator

Permite mantener un control físico del activo de forma permanente y conocer su ubicación y estado en tiempo real. Con IBM Linear Asset Management, es posible reducir el porcentaje de extravíos y pérdidas en los activos críticos, incrementando su disponibilidad y mejorando aún más la productividad.



Para más información:
Allegro Systems International
Pº de la Castellana, 194
28046 Madrid

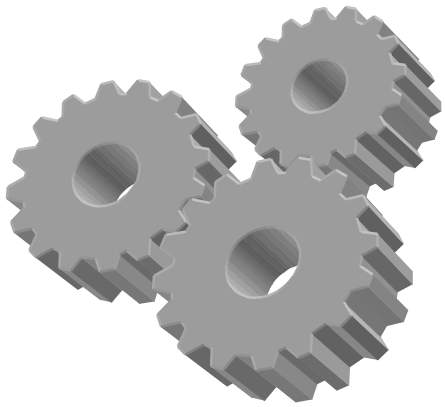
www.allegro-systems.com
info@allegro-systems.com
Tel. 917 030 300

Información Comercial & Confidencial de Allegro Systems
Esta documentación contiene información de carácter privado y confidencial propiedad de Allegro Systems International S.L. No se puede transmitir o compartir con personal de empresas externas y queda prohibida su divulgación, copia o distribución a terceros sin la previa autorización por escrito de Allegro Systems en virtud de la legislación vigente.

PROYECTO

METODOLOGIA DE IMPLANTACION PARA EL DESARROLLO DE LA FUNCION MANTENIMIENTO EN UNA EMPRESA O REINGENIERIA DE MANTENIMIENTO

EQUIPOS ANALISIS VIBRACIONES



Autor: Ramon Arizaga Arcelus

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Analizadores Portátiles FFT Tipos 2250-H y 2270-H

con Software de Análisis FFT BZ-7230 y Opción de Evaluación Tonal BZ-7231

Analizadores Portátiles Tipos 2250 y 2270 representan una forma fácil y segura de evaluar, diagnosticar y realizar el control de calidad de las vibraciones y el ruido generados por la maquinaria. Los analizadores combinan una resolución de alta frecuencia (hasta 6.400 líneas de análisis), una pantalla táctil que permite arrastrar fácilmente los elementos y un amplio rango dinámico, lo que los convierte en la perfecta herramienta para la medición y el diagnóstico de ruido y vibración en maquinaria.

El análisis de frecuencia mediante el algoritmo de Transformada Rápida de Fourier ("Fast Fourier Transform" FFT) es la mejor herramienta para la medición y el diagnóstico de ruido y vibración en maquinaria. La "configuración" de frecuencia de una máquina es su rasgo distintivo, y revela sus fuentes de ruido y vibración, así como las rutas que siguen estas hasta la posición donde se realiza la medición.

El Software de Análisis FFT y el de Evaluación Tonal basado en FFT permite la evaluación objetiva y subjetiva de los tonos.

Analizador FFT Portátil Tipo 2250-H-D01 (foto) se centra en la medición de la vibración y solo incluye el software de análisis FFT (no incluye el Software del Sonómetro ni el micrófono). Se puede actualizar para otras aplicaciones.



Usos y características

Usos
- Análisis de sonido y vibración mediante FFT de un solo canal
- Evaluación tonal de acuerdo con la norma ISO 1996–2 (opcional)
- Resolución de problemas de la maquinaria
- Desarrollo de producto
- Inspección y control de calidad
- Análisis de los componentes de automoción

Características
- Amplio rango dinámico
- Se incluye el software para PC que permite el análisis, la generación de informes y su almacenamiento
- Metadatos definidos por el usuario para facilitar su documentación

Espectros FFT
- Hasta 6.400 líneas de análisis
- Intervalos de entre 100 Hz y 20 kHz en la clásica secuencia 1-2-5
- Resolución de frecuencia mejorada:
  - Resolución de hasta 16 mHz, banda ancha o zoom
  - Corrección de frecuencia para mejorar la precisión en los tonos
- Visualización del espectro dual superpuesto
- Comparación del espectro con el de referencia
- Localización automática del pico
- Espectro de espera máximo
- Ponderación A en el procesamiento previo o posterior

Mediciones
- Base de datos del transductor
- Entrada de CCLD para acelerómetros
- Capte sucesos transitorios mediante el disparador de nivel de señal, incluido el pre-disparador
- Medición de señales continuas sin pérdida de datos con una superposición del 67%
- Promedio lineal y exponencial
- Disparador interno y externo
- Relación de ruido o vibración con la velocidad de rotación mediante un tacómetro simultáneo
- Mediciones según el sistema métrico y en unidades imperiales
- Escala de unidades (RMS, Pwr, PSD, ESD, pico, P-P)

Control de calidad
- Ventanas de tolerancia con comprobaciones respecto a los límites programados
- Plantilla de control de calidad para la obtención de resultados de forma clara y rápida
- Salida de TTL para el control de dispositivos externos

Grabación de señal (opcional)
- Registro de la señal de entrada para su reproducción o análisis posterior, 16 o 24 bits
- Exportación de la señal grabada a PULSE para su análisis

Evaluación tonal (opcional)
- Evaluación de tono en el analizador portátil
- Indicadores de calidad de la medición en la evaluación de tonos
- Salida del generador de tono

Tipos 2250 y 2270

Fig. 1
Izquierda: *Tipo 2270*

Derecha: *Tipo 2250*



Analizadores Portátiles Tipo 2250 y 2270 de Brüel & Kjær son dispositivos de cuarta generación que cuentan con un diseño innovador, fruto de una amplia investigación por parte de técnicos, ingenieros y asesores expertos en sonido y vibraciones de todo el mundo.

Tipo 2270, con su capacidad de medición en dos canales (si la instalación consta de una licencia adecuada para dos canales), y Tipo 2250 de un solo canal pueden albergar muchos de los módulos de aplicación para mediciones.

Dos módulos de esta clase son Software de Análisis FFT BZ-7230 y Opción de Evaluación Tonal BZ-7231. BZ-7320 y BZ-7231 son aplicaciones de un solo canal, de modo que pueden usar uno de los canales de Tipo 2270 cada vez. El procedimiento seguido en la medición y su funcionalidad son idénticos para todos los analizadores, por lo que se describirán de forma genérica.

Consulte Información para pedidos en la página 16 a fin de obtener más información acerca de los módulos de aplicación disponibles.

Fig. 2
Analizador FFT Portátil Tipo 2250-H-D01, accesorios y mochila



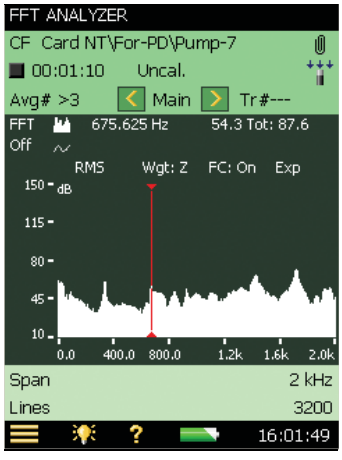
Analizador FFT Portátil Tipo 2250-H-D01 sirve principalmente para la medición de la vibración sólo incluye Software de Análisis FFT BZ-7230 (no incluye el Software de Sonómetro ni el micrófono). No obstante, también es posible utilizar un micrófono con alimentación por CCLD con el analizador para medir el ruido. Tipo 2250-H-D01 se suministra con Mochila KE-0459, que incluye un espacio especialmente dedicado para el analizador y los accesorios básicos de análisis de vibración.

Una vez tomadas las mediciones, deberá hacer algo con ellas. El analizador portátil le ofrece tres opciones de almacenamiento: disco interno, tarjetas de memoria Secure Device (SD) o memoria USB. Desde allí, los cables USB o LAN que se incluyen le facilitarán la transmisión de los datos a su PC o a su ubicación de red. En el caso de haber utilizado una tarjeta de memoria externa, solo tendrá que introducirla en el lector de tarjetas de su equipo.

Software de Análisis FFT BZ-7230

La Transformada Rápida de Fourier (FFT) es una técnica de procesamiento de señales digitales que convierte una grabación de tiempo en un espectro filtrado con un ancho de banda estrecho y constante. La medición se define indicando una gama de frecuencias y un número de líneas (o filtros). La función de zoom le permite centrarse en una parte concreta del rango de frecuencia especificando la frecuencia central de la gama de análisis. Software de Análisis FFT BZ-7230 le proporciona una resolución de hasta 1/64 Hz con una gama de frecuencias de 100 Hz y 6.400 líneas de análisis.

Fig. 3
Vista del espectro en la que se muestran el rango dinámico alto y una resolución de frecuencia alta



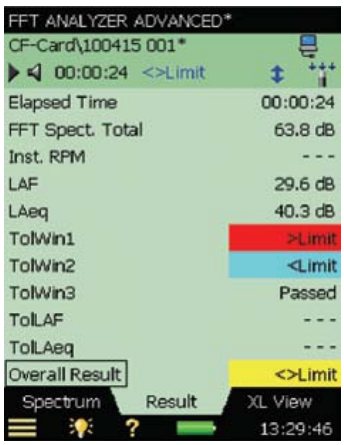
El análisis del espectro FFT (Fig. 3) es perfecto para la identificación de fuentes de ruido o vibración con sus 6.400 líneas de análisis de frecuencia en tiempo real y una resolución superior a los 5 Hz (hasta los 20 kHz). Al tocar la pantalla se activa el algoritmo* de corrección de frecuencia que contabiliza los picos de frecuencia con una resolución diez veces mayor. El amplio rango dinámico (por encima de los 150 dB) permite una medición del sonido y la vibración precisa con una sola toma.

El análisis FFT se basa en los detalles, y es en ellos donde reside la belleza de Analizadores Portátiles Tipos 2250 y 2270: seguros en sus manos, de construcción sólida y agradablemente intuitivos. La pantalla táctil en color de alta resolución de los analizadores proporciona un funcionamiento mejorado que permite una fácil transición de parámetros entre el cursor y la pantalla. Su configuración también es fácil. Coloque y conecte el transductor, pulse Inicio/Pausa y visualice el espectro. Si desea ampliarlo, desplace el puntero por el tiempo de frecuencia seleccionado, toque *Zoom* y podrá realizar la medición utilizando el intervalo adecuado: *sencillo, seguro e inteligente*.

* La revisión técnica N.º 4 1987 de Brüel & Kjær "Uso de las funciones de ponderación en los análisis DFT/FFT" (Parte II), apéndice F

El Software de Análisis FFT se presenta con dos plantillas adicionales.

Fig. 4
La versión avanzada del Analizador FFT proporciona dos pestañas adicionales con información detallada acerca de los resultados de la prueba

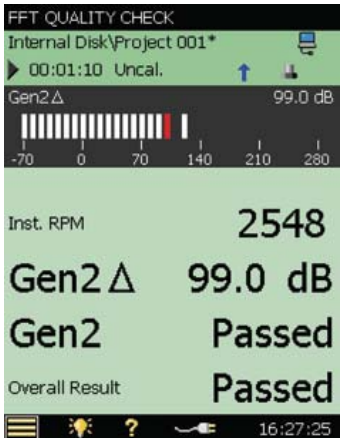




Plantilla de la versión avanzada del Analizador FFT
La pestaña Resultados ofrece una vista con 11 resultados entre los que seleccionar que pueden configurarse tocando sobre la etiqueta del parámetro.

La pestaña Vista XL muestra un gráfico de barras y tres resultados entre los que seleccionar. El gráfico de barras muestra el espectro total FFT, un total delta a seleccionar por el usuario o un parámetro de valor único. El gráfico de barras también incorpora una vista rápida del valor máximo (línea blanca) y del límite superior (línea roja) en su pantalla.

Fig. 5
La plantilla de Control de calidad FFT proporciona información personalizable concreta acerca de tareas de uso común



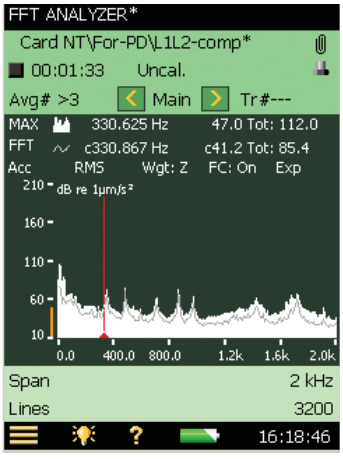
Plantilla de Control de calidad FFT
La plantilla de Control de calidad FFT muestra un gráfico de barras y cuatro resultados entre los que seleccionar en una letra de fácil lectura. El gráfico de barras muestra el espectro total FFT, un total delta a seleccionar por el usuario o un parámetro de valor único. El gráfico de barras también incorpora una vista rápida del valor máximo (línea blanca) y del límite superior (línea roja) en su pantalla.

Esta plantilla resulta especialmente útil en los casos en que las ventanas de tolerancia son de uso común y no se requieren los espectros FFT para verlas, lo que suele suceder en las tareas de inspección de calidad.

Aplicaciones de análisis FFT

Resolución de problemas

Fig. 6
Esta vista muestra la superposición de resonancia en frecuencias operativas



El Software de Análisis FFT BZ-7230 incluye las herramientas de análisis y las unidades de medida para la resolución de una amplia gama de problemas. Por ejemplo:

- Realizar la medición del desplazamiento producido por el movimiento de un motor en ralentí. Para que se muestre la velocidad del movimiento le bastará con incorporar un acelerómetro y configurar la entrada del disparador del tacómetro
- También es fácil localizar el punto de salida de una vibración aleatoria. Utilice el puntero para configurar el cursor delta en la gama de frecuencias deseada y realizar la lectura de la densidad espectral de alimentación (PSD en sus siglas inglesas) y, a continuación, seleccione g^2/Hz o $(m/s^2)^2$/Hz como unidades de referencia
- También le resultará sencillo encontrar las frecuencias de resonancia de un componente. Cambie la FFT del analizador de señales continuas a transitorias y toque el componente para activar sus resonancias. El disparador interno inicia la medición y el software FFT utilizará una ventana de tiempo rectangular para captar toda la transitoriedad. Guarde el espectro de resonancia como referencia y, a continuación, mida el espectro de vibración de la máquina para ver si alguna resonancia se alinea con las frecuencias de funcionamiento (Fig. 6)

Inspección y prueba de calidad: ventanas de tolerancia

Los elementos rotatorios u oscilantes (como pistones, ejes y engranajes) de muchas máquinas, herramientas y vehículos provocan vibraciones y ruidos. Las mediciones y análisis de ese ruido y vibración pueden utilizarse para detectar fallos de montaje y asegurar el cumplimiento de las normas requeridas.

La función Ventanas de tolerancia del BZ-7230 facilita las mediciones de control de calidad.

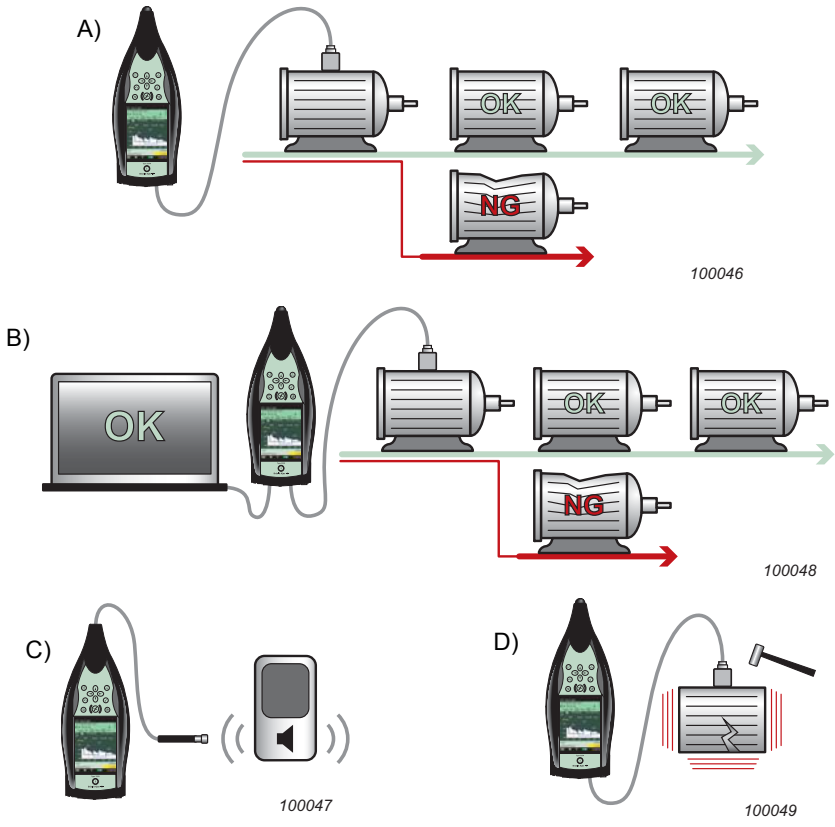
Fig. 7
Ejemplos de aplicaciones para pruebas de calidad con Tipo 2250-H-D01

A) Comprobaciones in situ: realice comprobaciones de calidad donde desee

B) Control de calidad especial: vincule el analizador a un PC mediante el KDS 2250/ 2270

C) Calidad de audio: realice mediciones de los espectros de audio para compararlas posteriormente con el nivel de sonido y los armónicos, y poder así configurar los límites

D) Inspección material: mediante un martillo para pruebas, realice la medición del patrón de resonancia para compararlo con los límites aceptados



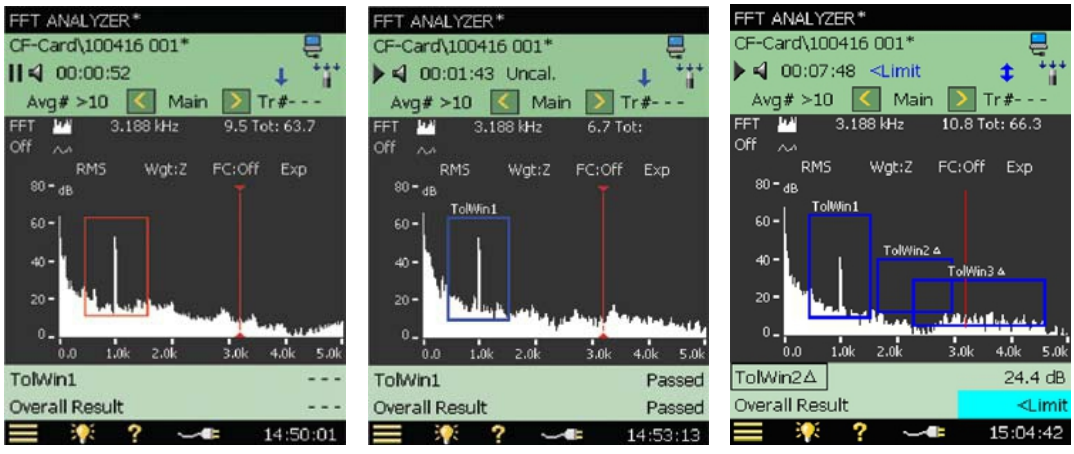
Los fabricantes de la máquina, herramienta o vehículo indican los límites de desviación permitidos. Estas especificaciones pueden configurarse en Tipo 2250/2270 mediante una o varias ventanas de tolerancia, cada una de las cuales define un límite superior e inferior para los niveles dentro de un intervalo de frecuencias concreto.

El valor comprobado puede establecerse como nivel de las líneas FFT o como total de las líneas de FFT (total delta).

Fig. 8
Izquierda: *dibujo de la ventana de tolerancia desplazando el puntero*

Centro: *ventana de tolerancia resultante (configurada para comprobar las líneas FFT)*

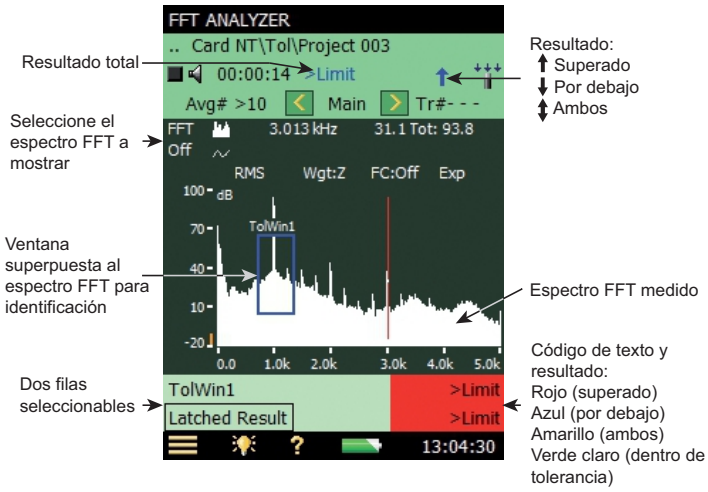
Derecha: *ventanas de tolerancia adicionales (configuradas como total delta), – puede haber un máximo de 10 ventanas activas que pueden solaparse*



Puede guardar de forma conjunta la configuración y las preferencias de una aplicación concreta en plantillas. Tipo 2250/2270 estará listo para realizar mediciones en segundos tras la recuperación de una plantilla, incluyendo la especificación de tolerancias. Puede haber un máximo de 10 ventanas de tolerancia por plantilla a la vez, lo que permite probar varias tolerancias para varios rangos de frecuencia en una misma medición. Además, es posible comprobar dos intervalos de límites con el mismo rango de frecuencia, y es tan sencillo como superponer las ventanas de tolerancia. También se pueden definir tolerancias para cuatro valores que no correspondan a FFT, por ejemplo, dos parámetros instantáneos (L_{AF} y RPM instantáneas) y dos parámetros de promedio (L_{Aeq} y RPM medias).

Durante la medición, se compara el espectro FFT con los valores únicos para establecer los límites (lo que se indica como “por encima del límite superior”, “dentro de los límites”, “por debajo del límite inferior” y “fuera de los límites”). Se realiza e indica la prueba en todas las ventanas. También se muestra un resultado global. Indicará “suspendido” si el espectro o los parámetros únicos exceden los niveles de tolerancia superiores o inferiores en cualquiera de las ventanas, o “aprobado” si están dentro de los niveles en todas ellas.

Fig. 9
BZ-7230 muestra la información completa del resultado de la prueba



La indicación de aprobado/suspendido también está disponible en forma de señal eléctrica a través de la conexión de salida en Tipo 2250/2270. Una salida de 3,3 V CC indica que se ha superado el límite superior, una de –3,3 V CC marca niveles por debajo del límite inferior y una señal alterna entre ±3,3 V indica el incumplimiento de ambos límites. Esta función hace que resulte sencillo utilizar Tipo 2250/2270 en sistemas de control de producción en los que la señal de salida pueda disparar avisos o iniciar acciones concretas con el elemento en cuestión. La posibilidad de escuchar la señal facilita la identificación de la fuente del problema. Por tanto, puede configurar el analizador para que empiece a grabar de forma automática cuando los datos excedan los niveles de tolerancia (se necesita la licencia para Opción de Grabación de Señal BZ-7226). La señal de entrada, que se adjuntará al proyecto, puede reproducirse o exportarse a un PC para su posterior análisis. Para obtener más información acerca del BZ-7226, consulte la página 7.

Inspección y prueba de calidad: automatización programable

Tipos 2250 y 2270 también pueden controlarse desde un PC a través de un USB estándar o un puerto Ethernet. Con el analizador conectado a su PC puede descargar el kit de desarrollo de software (KDS) 2250/2270 en el siguiente enlace: www.bksv.com. El KDS le proporciona una interfaz y herramientas para conectar al analizador con el fin de configurarlo, controlarlo, realizar la lectura de los valores de la medición actual, transferir configuraciones guardadas y convertir proyectos a archivos XML para facilitar su interpretación. También hay disponibles ejemplos de su uso con los programas C# para Visual Studio® 2008 y Visual Basic® 6.

En un entorno de comprobación de calidad, el KDS permite el desarrollo de un sistema de control de calidad con un sistema de medición integral que incluye una interfaz completa: acondicionamiento de señal, análisis FFT, medición de velocidad y ventanas de tolerancia. Una vez determinados los criterios de aprobado/suspendido, el programa puede automatizarse mediante el KDS y la activación del bloqueo de teclas y pantalla del analizador para evitar cambios accidentales en el programa por parte del operador.

Además, la utilización de Tipo 2250/2270 para la inspección y prueba de calidad le da acceso a todo el conocimiento de Brüel & Kjær sobre sonido y vibración. Apoyo técnico durante todo el proceso de medición, desde acopladores para obtener la impedancia acústica correcta en auriculares hasta técnicas de análisis para aceptar las unidades con un buen funcionamiento y desechar las que no lo tienen.

Desarrollo de producto

Fig. 10
Tipo 2250-H-D01 con Sonda para Tacómetro Láser Tipo 2981 en pruebas de vibración de producto



La evaluación temprana del rendimiento de los componentes puede mejorar el diseño del producto de forma destacable. La pantalla de doble superposición del Analizador FFT facilita la comparación de las mediciones entre las repeticiones de diseños.

También le permite marcar referencias en productos de la competencia o de generaciones anteriores. Utilice el análisis de banda estrecha para identificar funciones forzosas y resonancias con el fin de establecer la norma para la siguiente generación de productos.

Measurement Partner Suite BZ-5503 facilita la transferencia de datos sobre las mediciones a un PC, desde el que podrá ver, exportar y archivar los datos para completar el análisis y realizar el informe del proyecto.

Análisis de la maquinaria y resolución de problemas

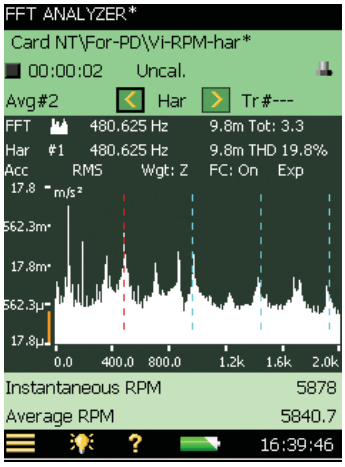


Fig. 11
Esta vista muestra una lectura de RPM con cursores armónicos y unidades de medición de la vibración

La portabilidad del analizador le permite acceder a cualquier producto, recuperar un espectro de referencia anterior y, a continuación, compararlo al instante con el espectro que acaba de medir.

Se puede configurar la función de ventana de tolerancia en un rango de frecuencias determinadas para que avise del fallo en la maquinaria. Los cursores armónicos y delta le permiten identificar frecuencias de rotación y de dentado, dirigiéndole de forma eficaz hacia las deficiencias operativas.

La entrada del disparador del aparato puede incluso funcionar con una entrada de tacómetro, proporcionando así una lectura directa de RPM (consulte Fig. 11) con la relación de transmisión que defina. La función "Comentario" del analizador le permite realizar una grabación de voz con sus observaciones de campo y adjuntarlas directamente al resultado de la medición. La función de usuario múltiple del analizador le permite definir puntos de medición y configuración específicos para cada usuario, de forma que pueda organizar sus mediciones de campo, y el conjunto de programas de medición incluido facilite la revisión de los resultados en un PC.

Vibración de edificios y mediciones de ruido

Analizador Portátil Tipo 2250/2270 representa una herramienta completa para el asesor o ingeniero. Software de Análisis FFT BZ-7230 incluye tecnología de medición de sonido y vibración que el análisis tradicional de 1/3 de octava no proporciona. Las frecuencias bajas se pueden analizar hasta los 7 Hz (a –1 dB) mediante el micrófono estándar Tipo 4189; hasta los 0,6 Hz (a –1 dB) mediante el micrófono opcional Tipo 4193; y hasta los 1,3 Hz (a –10%) mediante el uso de uno de los acelerómetros recomendados. Ahora, con el transductor adecuado puede medir fácilmente el traqueteo de las instalaciones de HVAC o la contribución a la vibración de los raíles de tren o las carreteras cercanas.

Anotaciones: relleno de los espacios en blanco

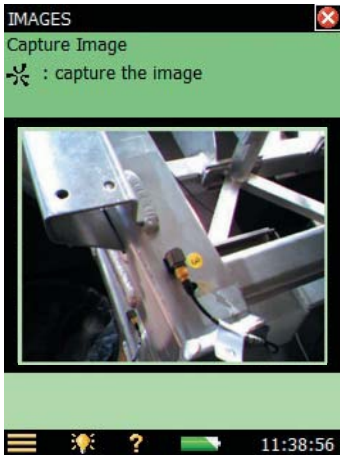


Fig. 12
Utilice la cámara integrada en Tipo 2270 para fotografiar el dispositivo al que realiza la prueba

Independientemente de la aplicación que utilice (desarrollo de producto, resolución de problemas, comprobación de calidad o evaluación de tono), sus mediciones son mucho más que simples números en los resultados. Con anotaciones es fácil adjuntar comentarios, notas e imágenes a los resultados de las mediciones realizando alguna de las siguientes acciones:

- Tocar las notas utilizando el teclado QWERTY de la pantalla
- Pulsar el botón "Comentario" para realizar una grabación con el micrófono integrado
- Pulsar el botón "Suceso manual" y tomar una foto del dispositivo al que se está realizando la prueba o cuya medición se está configurando (solo para Tipo 2270)

Todas las anotaciones se guardan automáticamente con el proyecto y se pueden revisar en cualquier momento.

Metadatos



Fig. 13
La página de Anotaciones en la que se muestran seis elementos de metadatos definidos por el usuario y una lista de la que seleccionar la ubicación

Los metadatos son entradas de información complementaria acerca de las mediciones que facilitan el almacenamiento, la recuperación y el procesamiento posterior de los datos de forma eficaz. Algunos ejemplos de metadatos son el nombre de archivo, la fecha y la hora, la configuración y las anotaciones realizadas por el operador.

Además, es posible definir los nombres y tipos de hasta 10 cadenas de texto. El formato de entrada puede ser la edición de texto, de números, una lista de la que seleccionar o un número de índice que aumente de forma automática al guardar una medición.

La función de metadatos también se puede utilizar para clasificar las mediciones en Measurement Partner Suite BZ-5503.

Opción de Grabación de Señal BZ-7226

Opción de Grabación de Señal BZ-7226 permite la grabación de la señal de entrada para su posterior reproducción o análisis. La grabación puede ser automática (durante el transcurso de la medición), controlada manualmente o durar hasta que se supere el límite de nivel. Deben configurarse los límites de la duración y el retraso previo y posterior a la grabación. El límite de frecuencia superior se puede reducir de los 20 kHz totales en cuatro pasos para ahorrar espacio en la memoria. Para optimizar el espacio de memoria o el rango dinámico, se dispone de la resolución de grabación de 16 o 24 bits.

Los archivos de grabación de señales pueden ser bastante grandes, por lo que se le ofrecerá almacenar las mediciones (y grabaciones) en una tarjeta de memoria, ya sea en la tarjeta SD integrada del analizador portátil o en una memoria USB adjunta. Analizador Portátil Tipo 2250/2270 permiten el uso de tarjetas SDHC con una capacidad de memoria de hasta 32 GB. Las grabaciones estándar en archivos .wav se transfieren fácilmente a otras herramientas de análisis, como la plataforma de análisis múltiple PULSE™ de Brüel & Kjær.

Opción de Evaluación Tonal BZ-7231



Fig. 14
Medición de evaluación de tonos en el exterior

El ruido se puede describir como tonal si contiene una nota continua y discreta o destacable. Puede incluir ruidos tales como murmullos, silbidos, gritos, zumbidos, etc. Toda descripción subjetiva de esta clase está abierta a discusión y contradicciones cuando se informa.

La norma ISO 1996–2 (2007) Anexo C, *Método objetivo para la evaluación de la audibilidad de tonos en el ruido. Método de referencia*, desarrolla los procedimientos de medición a utilizar para comprobar la percepción de tonos y su cuantificación. De esta forma, se pueden componer los resultados de las mediciones y ayudar así a explicar reacciones subjetivas.

Configurado automáticamente para evaluaciones según la norma ISO 1996

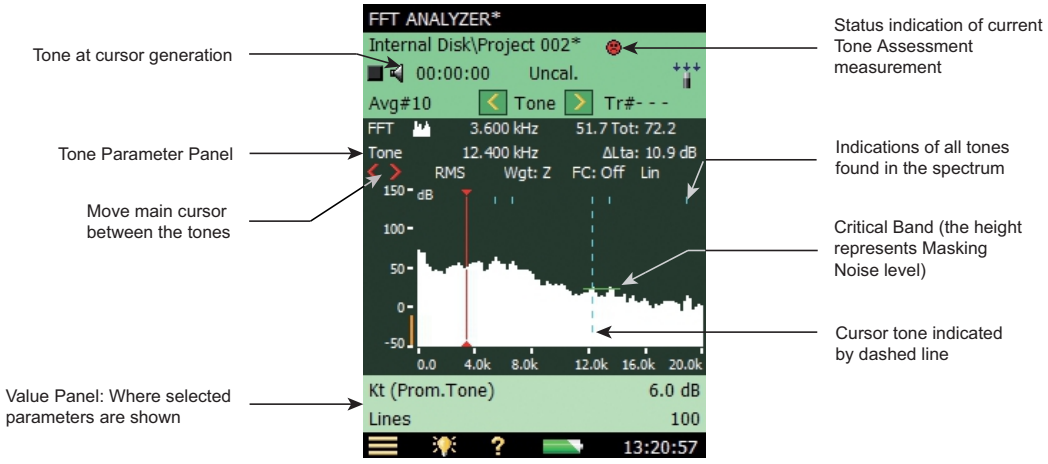
Opción de Evaluación Tonal BZ-7231 permite una evaluación objetiva in situ, rápida y fácil de los componentes del ruido tonal de acuerdo con la norma ISO 1996. La facilidad para llevar a cabo la evaluación de tono según la norma ISO ofrece una respuesta objetiva acerca de si se ha hallado el problema o se deben realizar más mediciones. Además, el analizador permite configurar de forma sencilla el análisis FFT para que se realice de acuerdo con la norma ISO 1996–2. Al seleccionar esta opción, con solo pulsar Inicio, el analizador selecciona automáticamente la configuración adecuada para la medición, tras lo cual se inician tanto ésta como el análisis.

Una vez completada la medición, el cálculo de los parámetros tonales para todos los candidatos tonales posibles del análisis solo tarda unos segundos, tras los cuales se mostrará la siguiente lista completa:

- Kt: el valor a añadir al L_{Aeq} para dar el nivel de tasa tonal corregido
- ΔLta: la audibilidad de todos los tonos hallados en la misma banda crítica que el tono seleccionado
- Lpn: el nivel total del ruido de enmascaramiento en la banda que contiene el tono seleccionado
- Lpti: el nivel del tono seleccionado
- Lpt: el nivel total de todos los ruidos en la banda crítica que contiene el tono destacado
- Banda crítica: el principio y el fin de la banda crítica que contiene el tono seleccionado

El analizador mide el L_{Aeq} y el resto de parámetros de banda ancha de forma simultánea y el nivel de velocidad de tono corregido se puede calcular in situ.

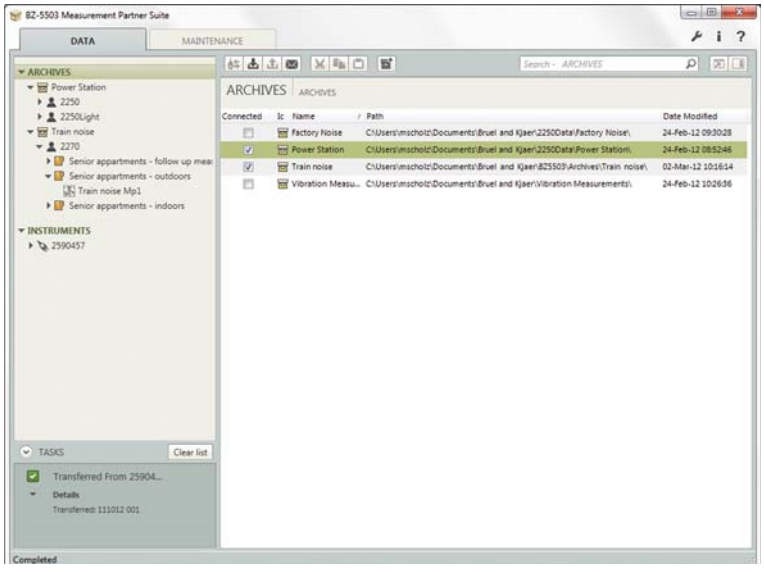
Fig. 15
Pantalla del espectro FFT para la opción de evaluación de tono en la que se muestran varios campos y parámetros



Measurement Partner Suite BZ-5503

Measurement Partner Suite BZ-5503 es el siguiente paso en la evolución del software de utilidades para analizadores portátiles BZ-5503. Su configuración estándar se incluye con el analizador portátil y permite archivar, previsualizar y exportar datos, así como el mantenimiento del programa y la visualización remota en línea.

Fig. 16
Una pantalla típica del BZ-5503



Además de la configuración estándar gratuita, el conjunto cada vez mayor de aplicaciones opcionales también incluye funciones de análisis y procesamiento posterior de datos de gran utilidad. Measurement Partner Suite ofrece estas aplicaciones mediante suscripción: pague solo por lo que necesita, cuando lo necesite. Para obtener más información, consulte las características técnicas BP 2443.

Otro software para Tipo 2250/2270

El analizador portátil tiene una gran cantidad de especificaciones de hardware y software, que lo convierten en un instrumento extremadamente flexible para cubrir sus necesidades presentes y futuras de análisis y medición.

Todos los instrumentos (excepto Analizador Portátil FFT Tipo 2250-H-D01) incorporan Software para Sonómetros BZ-7222 activo. Esto convierte el analizador en un moderno sonómetro (SLM) de Clase 1 y de precisión. Cumple con los requisitos de las últimas normas IEC 61672–1, además de con las anteriores. Incluso en su configuración más básica, el analizador viene con una serie de configuraciones predefinidas de medición y visualización para adaptarse a sus necesidades específicas. Para obtener más información acerca del modelo BZ-7222 y sobre toda la plataforma Tipo 2250/2270, consulte características técnicas BP 2028.

Módulos de programas para aplicaciones opcionales

La plataforma de Analizador Portátil Tipo 2250/2270 le permite seleccionar entre diferentes combinaciones de módulos de software (aplicaciones). Los módulos se pueden adquirir cuando sean necesarios y se presentan como licencias fáciles de instalar. De esta manera, su inversión en la plataforma del analizador queda protegida con seguridad: cuando se amplíe su necesidad de mediciones y análisis, el analizador puede satisfacerla. Brüel & Kjær se compromete al mantenimiento de una gama de aplicaciones cada vez mayor para Tipo 2250/2270.

Actualmente puede elegir entre los siguientes módulos de software opcionales:

- **Programa de Análisis de Frecuencia BZ-7223**, permite realizar mediciones en tiempo real en bandas de filtro de una octava y 1/3 de octava en un amplio rango de frecuencias. Para obtener más información, consulte las características técnicas BP 2028
- **Programa de Registro BZ-7224**, permite seleccionar con libertad los parámetros de registro por periodos de entre 1 s y 24 h. Funciona junto con el programa para el sonómetro y se pueden registrar todos los parámetros de banda ancha. Si también está habilitado el programa de análisis de frecuencia, es posible registrar espectros a las mismas velocidades. Para obtener más información, consulte las características técnicas BP 2028
- **Software de Registro Mejorado BZ-7225**, además de las características del software de registro, permite el registro continuo de informes periódicos. Se calculan los parámetros como Ldn y Lden. Para obtener más información, consulte las características técnicas BP 2028
- **Opción de grabación de Señal BZ-7226**, permite adjuntar fácilmente a sus mediciones muestras reales de la señal medida. Esta opción funciona con todos los módulos de software. Para obtener más información, consulte las características técnicas BP 2028
- **Software de Tiempo de Reverberación BZ-7227** le permite realizar mediciones de tiempo de reverberación, que se usan para evaluar la acústica en el lugar de trabajo, auditorías, auditorios, espacios públicos, etc. Se puede usar también para calcular correcciones de la acústica de edificios y la potencia sonora, como también los coeficientes de absorción. Para obtener más información, consulte las características técnicas BP 2177
- **Software de Acústica de Edificios BZ-7228/7229 y Tipo 8780**, transforma su analizador portátil en un sistema de medición para evaluar el aislamiento acústico de las particiones de un edificio, tales como paredes y techos. Para obtener más información, consulte las características técnicas BP 2194

Programa de postprocesamiento recomendado, para uso en PC

Para una completa gestión de datos, proceso de postprocesamiento y realización de informes, tenga en cuenta la posibilidad de usar los datos de Tipo 2250/2270 junto con uno de los siguientes paquetes de software para PC:

- **Noise Explorer™ Tipo 7815**, software para la visualización de datos que le ayuda a gestionar las mediciones realizadas con un analizador portátil. Noise Explorer se encarga de descargar los datos del analizador, almacenarlos en el PC, imprimirlos y exportarlos a otros programas. Si desea obtener más información, consulte las características técnicas BP 1749
- **Evaluator™ Tipo 7820**, programa de ruido ambiental con algoritmos de cálculo integrados que permiten producir figuras de nivel de sonido compuestas a partir de varias aportaciones. Es posible que algunos tengan penalizaciones por impulsos o tonos puros, en función de la norma de medición elegida, como por ejemplo, ISO 1996, DIN 45645, TA Lärm, NF S 31-010 o BS 4142. Si desea obtener más información, consulte las características técnicas BP 1752
- **Protector™ Tipo 7825**, programa de ruido en el trabajo que calcula la exposición al ruido de acuerdo con la norma ISO 9612–2. En aquellas situaciones en las que solo es posible la medición del ruido desde el punto de trabajo, Protector es capaz de combinar estas mediciones con una configuración de los movimientos de una persona simulando su exposición personal al ruido. Si desea obtener más información, consulte las características técnicas BP 1717
- **Acústica de edificios PULSE Reflex™ Tipo 8780**, software que le permite importar directamente los datos de la acústica de los edificios tomada con el 2250/2270 para su visionado y posterior análisis y realización de informes. Si desea obtener más información, consulte las características técnicas BP 2194

Todos estos programas de postprocesamiento medioambiental admiten una gran variedad de gráficos definidos por el usuario y representaciones en tablas. Los gráficos y las tablas se pueden importar a aplicaciones de Windows® como Excel® o Word.

Calibración acreditada y mantenimiento de dispositivos en Brüel & Kjær

Puede solicitar la calibración acreditada Tipos 2250 y 2270, y seleccionar entre DANAK, A2LA, UKAS, Eichamt (Austria), RvA, ENAC, NATA e Inmetro. Le recomendamos que solicite la calibración acreditada junto con un nuevo instrumento.

En el caso de que el técnico considere necesario realizar una reparación durante la calibración, esta podría llevarse a cabo mientras está aún en nuestras manos, para que usted no se quede sin su analizador. Minimice el riesgo de costes inesperados adquiriendo un contrato de mantenimiento para sus dispositivos con cinco años de garantía.

Cumplimiento con las normas

CE, C-Tick	La marca CE indica conformidad con la directiva sobre compatibilidad electromagnética (EMC) y la directiva de baja tensión. La marca C-Tick indica conformidad con los requisitos EMC de Australia y Nueva Zelanda.
Seguridad	EN/IEC 61010–1, ANSI/UL 61010–1 y CSA C22.2 N.º 1010.1: requisitos de seguridad para equipos eléctricos de medida, control y uso en laboratorio.
Emisión EMC	EN/IEC 61000–6–3: norma genérica sobre emisiones para entornos residenciales, comerciales y de industria ligera. CISPR 22: características de perturbaciones de radiofrecuencia en equipos informáticos. Límites de Clase B. Normas FCC, Parte 15: cumple con los límites de Clase B para dispositivos digitales. IEC 61672–1, IEC 61260, IEC 60651 e IEC 60804: normas de instrumentación. Cumple con la norma ICES–001 de Canadá
Inmunidad EMC	EN/IEC 61000–6–2: norma genérica: inmunidad para entornos industriales. EN/IEC 61326: equipo eléctrico de medida, control y uso en laboratorio; requisitos de EMC. IEC 61672–1, IEC 61260, IEC 60651 e IEC 60804: normas de instrumentación.

Especificaciones: plataformas Tipos 2250 y 2270

Estas especificaciones hacen referencia a las plataformas Tipo 2250 y 2270, a menos que se especifique lo contrario.

MEDICIONES EN DOS CANALES (TIPO 2270)
Tipo 2270 dispone de dos canales de medición independientes que permiten medir varios parámetros acústicos, siempre que se tenga una licencia de aplicación de dos canales

CONDICIONES MEDIOAMBIENTALES DE REFERENCIA
Temperatura ambiente: 23 °C
Presión estática: 101,325 kPa
Humedad relativa: 50%

MICRÓFONO SUMINISTRADO
Tipo 4189: micrófono de condensador prepolarizado de campo libre de ½″
Sensibilidad nominal de circuito abierto: 50 mV/Pa (correspondiente a −26 dB re 1 V/Pa) ±1,5 dB
Capacitancia: 14 pF (a 250 Hz)

PREAMPLIFICADOR DE MICRÓFONO ZC-0032
Atenuación nominal del preamplificador: 0,25 dB
Conector: LEMO de 10 patillas
Cables de extensión: hasta 100 m de longitud entre el preamplificador del micrófono y el analizador portátil, sin menoscabo de las especificaciones
Nota: la EMC se prueba solo con un cable de 10 m (AO-0441-D-100)
Detector de accesorios: es posible detectar automáticamente Pantalla Antiviento UA-1650 cuando se coloca en el ZC-0032

TENSIÓN DE POLARIZACIÓN DEL MICRÓFONO
Selección entre 0 V y 200 V

BASE DE DATOS DEL TRANSDUCTOR
Los transductores se describen en una base de datos del transductor con la información acerca del número de serie, el número de identificación del preamplificador, la sensibilidad nominal y el CCLD requerido.
Para los micrófonos, también se incluyen el voltaje de polarización, el tipo de campo libre y la capacitancia.
Para acelerómetros, se incluye también el peso.
El hardware analógico se configura automáticamente de acuerdo con el transductor seleccionado

FILTROS DE CORRECCIÓN
Para Micrófonos Tipos 4189, 4190, 4191, 4193, 4950 y 4952, BZ-7230 puede corregir la respuesta de frecuencia para compensar la incidencia sonora y los accesorios:
Incidencia sonora: campo libre o campo aleatorio (solo para Tipo 4952: 0° de dirección de referencia [superior] y 90° de dirección de referencia [lateral])
Accesorios (solo en Tipo 4189): ninguno, Pantalla Antiviento UA-1650 o Micrófono para Exteriores UA-1404
Accesorios (solo para Tipos 4191 y 4193): ninguno o Pantalla Antiviento UA-1650
Accesorios (solo Tipo 4950): ninguno o Pantalla Antiviento UA-0237

CALIBRACIÓN
Para Acelerómetros Tipos 4397-A, 4513, 4513-001, 4513-002, 4514, 4514-001, 4514-002, 8341 y 8324, el límite de frecuencia inferior se optimizará para ajustarse a las especificaciones del acelerómetro.
Las calibraciones iniciales de cada transductor se almacenan para compararlas con calibraciones posteriores
Acústica: se utiliza Calibrador Sonoro Tipo 4231 o un calibrador personalizado. El proceso de calibración detecta automáticamente el nivel de calibración cuando se utiliza Calibrador Sonoro Tipo 4231
Mecánica: mediante Calibrador de Acelerómetros Tipo 4294 o un calibrador personalizado.
Eléctrica directa: mediante una referencia de voltaje externa
Eléctrica: mediante una señal eléctrica generada internamente combinada con un valor de sensibilidad introducido de forma manual
Histórico de calibración: el sistema permite visualizar, como máximo, una lista de las 20 últimas calibraciones realizadas

TECLADO
Pulsadores: 11 teclas con retroiluminación, optimizadas para el control de medidas y la navegación por pantalla

TECLA DE ENCENDIDO Y APAGADO
Función: pulse 1 s para encender, 1 s para modo de espera y más de 5 s para apagar

LUCES DE TRÁFICO
Son tres LED (uno rojo, otro amarillo y otro verde) que muestran el estado de medición y la sobrecarga instantánea del siguiente modo:
- Parpadeo del LED amarillo cada 5 s = sistema detenido, listo para medir
- Parpadeo lento del LED verde = sistema en espera de activación o señal de calibración
- LED verde iluminado constantemente = midiendo
- Parpadeo lento del LED amarillo = sistema en pausa, medición no almacenada
- Parpadeo rápido del LED rojo = sobrecarga intermitente, fallo en la calibración

PANTALLA
Tipo: pantalla táctil en color con retroiluminación transflectiva. Matriz de 240 × 320 puntos
Patrón de color: cinco distintos, optimizados para diferentes situaciones (día, noche, etc.)
Retroiluminación: nivel ajustable y tiempo de encendido

INTERFAZ DE USUARIO
Control de medida: con pulsadores del teclado

Configuración y pantalla de resultados: con puntero en la pantalla táctil o pulsadores en el teclado
Bloqueo: el teclado y la pantalla táctil pueden bloquearse y desbloquearse

ANOTACIONES DE VOZ
Es posible adjuntar anotaciones de voz a las mediciones para almacenar comentarios de voz con ellas
Reproducir: la reproducción de anotaciones de voz o grabaciones de señal puede escucharse a través de unos auriculares conectados a la toma correspondiente
Ajuste de ganancia: entre –60 dB y 60 dB

ANOTACIONES DE TEXTO
Es posible adjuntar anotaciones de texto a las mediciones para almacenar comentarios escritos con ellas

ANOTACIONES DE IMAGEN (SOLO PARA TIPO 2270)
Es posible adjuntar anotaciones de imagen a las mediciones.
Las imágenes pueden verse en la pantalla

ANOTACIONES GPS
Es posible adjuntar una anotación de texto con información GPS (latitud, longitud, altitud y error de posición). Requiere la conexión a un receptor GPS

GESTIÓN DE DATOS
Metadatos: se pueden establecer hasta 10 anotaciones de metadatos por proyecto (texto del teclado o de la lista de selección, números del teclado o generados automáticamente)
Plantilla de proyecto: define las configuraciones de la visualización y medición. Es posible bloquear las configuraciones
Proyecto: datos de medición almacenados con la plantilla de proyecto
Trabajo: los proyectos se organizan en forma de trabajos
Herramientas de exploración para una gestión de datos fácil (copiar, cortar, pegar, eliminar, dar nuevo nombre, ver datos, abrir proyecto, crear trabajo, establecer nombre de proyecto predeterminado)

INTERFAZ USB
Conexiones USB 2.0 OTG Micro AB y USB 2.0 estándar A

INTERFAZ DEL MÓDEM
Conexión a Internet a través de módem GPRS/EDGE/HSPA conectado por medio de: el conector USB estándar A
Admite DynDNS para la actualización automática de la dirección IP del nombre de host

INTERFAZ DE IMPRESORA
Es posible conectar a la conexión USB impresoras PCL, impresoras térmicas Mobile Pro Spectrum o impresoras térmicas Seiko DPU S245/S445

CONEXIÓN SECURE DIGITAL
2 × conexiones SD
Permite la conexión de tarjetas de memoria SD y SDHC

CONEXIÓN DE INTERFAZ LAN
- Conector: RJ45 Auto-MDIX
- Velocidad: 100 Mbps
- Protocolo: TCP/IP

CONEXIÓN DE ENTRADA (TIPO 2270 TIENE DOS)
Conector: Triaxial LEMO utilizado para entrada directa y como entrada con fuente de alimentación de corriente constante (CCLD)
Impedancia de entrada: ≥1 MΩ
Entrada directa: tensión máxima de entrada: ±14,14 V_{pico}, 10 V_{RMS} para señales de entrada sinusoidales, sin daños por señales de hasta ± 20 V_{pico}. Impedancia de la fuente de ≤1 kΩ
Entrada CCLD: tensión máxima de entrada: ± 7,07 V_{pico}, (sin indicaciones por el incumplimiento de este nivel), sin daños por señales con picos en el rango de –10 a +25 V_{pico}
Corriente/tensión CCLD: 4 mA/25 V
Indicación de cable CCLD roto/corto: comprobado antes y después de las mediciones

CONECTOR DE DISPARO
Conector: Triaxial LEMO
Tensión máxima de entrada: ± 20 V_{pico}, sin daños por señales de hasta ±50 V_{pico}
Impedancia de entrada: > 47 kΩ
Corriente/tensión CCLD: 4 mA/25 V

CONECTOR DE SALIDA
Conector: Triaxial LEMO
Nivel de pico máximo de salida: ± 4,46 V
Impedancia de salida: 50 Ω
Impedancia de carga: > 15 kΩ || < 1 nF para una atenuación de <0,2 dB de CC a 20 kHz, a prueba de cortocircuitos sin que afecte al resultado de las mediciones
Compensación máxima de CC: ±15 mV
Fuente: condicionada por la entrada (ajuste de ganancia de –60 dB a 60 dB)

CONECTOR DE AURICULARES
Conector: conector estéreo Minijack de 3,5 mm
Nivel de pico máximo de salida: ± 1,4 V (sin carga)
Impedancia de salida: 32 Ω por canal, a prueba de cortocircuitos sin que afecte al resultado de las mediciones
Fuentes: condicionada por la entrada (ajuste de ganancia de –60 a 60 dB), reproducción de anotaciones de voz y grabaciones de señales (ajuste de ganancia de –60 a 0 dB) y reproducción de grabaciones (ajuste de ganancia de –60 a 60 dB). No obstante, la ganancia máxima es 0 dB para archivos wav de 16 bits

MICRÓFONO PARA COMENTARIOS
El micrófono, que utiliza el Control Automático de Ganancia (CAG), está integrado en la parte inferior del instrumento. Se utiliza para crear anotaciones de voz y adjuntarlas en las mediciones

CÁMARA (SOLO TIPO 2270)
En la parte inferior del instrumento se incluye una cámara con enfoque fijo y exposición automática.
Se utiliza para crear anotaciones de imagen y adjuntarlas a las mediciones
Tamaño de imagen: 2.048 × 1.536 píxeles
Tamaño del visor: 212 × 160 píxeles
Formato: jpg con información exif

REQUISITOS DE ALIMENTACIÓN EXTERNA DE CC
Utilizado para cargar la batería en el equipo
Tensión: 8 – 24 V CC, tensión rizada <20 mV
Requisito de corriente: mín. 1,5 A
Consumo de energía: < 2,5 W, sin carga de batería, <10 W cuando se está cargando
Conector de cable: LEMO Tipo FFA.00, positivo en la patilla central

ADAPTADOR DE SUMINISTRO DE CORRIENTE EXTERNO
Pieza N.º: ZG-0426
Tensión de alimentación: 100 – 120/200 – 240 VCA; 47 – 63 Hz
Conector: IEC 320 de 2 patillas

BATERÍA
Pieza N.º: batería recargable de ion de litio QB-0061
Tensión: 3,7 V
Capacidad: 5.200 mAh nominal
Tiempo de funcionamiento normal:
- Un canal: > 11 h (pantalla con retroiluminación atenuada); > 8,5 h (pantalla completa con retroiluminación)
- Dos canales: > 7,5 h (pantalla completa con retroiluminación)

El uso de interfaces externas (LAN, USB, WLAN) reduce el tiempo de funcionamiento de la batería
Ciclo de vida de la batería: > 500 ciclos completos de carga/descarga
Envejecimiento de la batería: aproximadamente el 20% de pérdida de capacidad cada año
Indicador de batería: la capacidad restante de la batería y el tiempo de funcionamiento esperado se pueden leer en forma de porcentaje y tiempo
Indicador de carga de la batería: la batería incorpora un indicador de carga que mide y almacena continuamente la capacidad real de la batería
Tiempo de carga: normalmente, si está vacía, la batería del analizador tarda 10 horas en cargarse a una temperatura ambiente inferior a 30 °C. Para proteger la batería, la carga finalizará por completo si la temperatura ambiente supera los 40 °C. A temperaturas de entre 30 y

40 °C, el tiempo de carga aumentará. Con el cargador externo ZG-0444 (accesorio opcional), el tiempo de carga normal es de 5 horas
Nota: no es recomendable cargar la batería a temperaturas inferiores a 0 °C (32 °F) o superiores a 50 °C (122 °F). Esto podría reducir su vida útil

RELOJ
Reloj con batería de reserva. Deriva < 0,45 s por cada período de 24 h

Almacenamiento

MEMORIA FLASH-RAM INTERNA (NO VOLÁTIL)
Para configuraciones de usuario y datos de medición: 512 MB

TARJETA DE MEMORIA EXTERNA SECURE DIGITAL
Tarjeta SD y SDHC: para almacenamiento/recuperación de datos de medición

UNIDAD DE ALMACENAMIENTO USB
Para el almacenamiento/recuperación de datos de medición

RELOJ DE TIEMPO REAL
Reloj con batería de reserva. Deriva <0,45 s por cada período de 24 h

TIEMPO DE CALENTAMIENTO
Después de alcanzar el equilibrio con el entorno y conectar la alimentación
Desde el apagado: <2 minutos
Desde el modo de espera: < 10 segundos para los micrófonos prepolarizados

TEMPERATURA
IEC 60068–2–1 e IEC 60068–2–2: Prueba ambiental. Frío y calor seco.
Temperatura de funcionamiento: entre –10 y +50 °C (entre 14 y 122 °F), <0,1 dB
Temperatura de almacenamiento: entre –25 y +70 °C (entre –13 y +158 °F)

HUMEDAD
IEC 60068–2-78: calor húmedo: 90% RH (sin condensación a 40 °C [104 °F]).
Efecto de la humedad: <0,1 dB para 0% < RH < 90% (a 40 °C [104 °F] y 1 kHz)

RESISTENCIA MECÁNICA
Protección ambiental: IP 44
En reposo:
IEC 60068–2-6: vibración: 0.3 mm, 20 m/s^2, 10 – 500 Hz
IEC 60068–2-27: caída: 1000 m/s^2
IEC 60068–2-29: impacto: 4.000 impactos a 400 m/s^2

PESO Y DIMENSIONES
650 g (23 oz) incluida la batería recargable
300 × 93 × 50 mm (11,8 × 3,7 × 1,9″) incluido el preamplificador y el micrófono

USUARIOS
Concepto de usuario múltiple con registro. Los usuarios pueden tener sus propios ajustes con trabajos y proyectos totalmente independientes de otros usuarios

PREFERENCIAS
El usuario puede especificar los formatos de fecha, hora y número

IDIOMAS
Interfaz de usuario en alemán, catalán, checo, chino (República Popular de China), chino (Taiwán), coreano, croata, danés, esloveno, español, flamenco, francés, húngaro, inglés, italiano, japonés, polaco, portugués, rumano, ruso, serbio, sueco y turco

AYUDA
Concisa ayuda contextual en alemán, coreano, esloveno, español, francés, inglés, italiano, japonés, polaco, portugués, rumano y serbio

ACTUALIZACIÓN DEL SOFTWARE
Actualización a cualquier versión con BZ-5503 a través de USB o actualización a través de Internet: Cualquier versión a partir de la 4.0

PÁGINA WEB
Permite la conexión con el instrumento a través de un navegador de Internet compatible con JavaScript. La conexión está protegida mediante contraseña
Dos niveles de protección:
- Nivel de invitado: sólo para visualización
- Nivel de administrador: para la visualización y el control completo del analizador

NOTIFICACIONES
Envía un SMS o un correo electrónico si se cumple una condición de alarma.
Condiciones de alarma:
- Espacio en disco por debajo del valor establecido
- Tensión de entrada de disparo por debajo del valor establecido
- La batería interna pasa al estado establecido
- Cambio en el estado de medición
- Reinicio del instrumento

Especificaciones de software: Software de Análisis FFT BZ-7230

Las siguientes especificaciones para el análisis FFT se aplican a un analizador portátil con el programa BZ -7230 y uno de los transductores recomendados (consulte la Tabla 0.1)

ANÁLISIS DE FFT
Frecuencia de muestreo: submuestreo a partir de 51,2 kHz
Gama de frecuencias: 100 Hz, 200 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 5 kHz, 10 kHz, 20 kHz
Líneas: 100, 200, 400, 800, 1 600, 3 200, 6 400*
Frecuencia central de zoom: puede configurarse de forma que la gama de frecuencias se sitúe entre 0 y 20 kHz
Espectro: medio y máximo
Previo a la ponderación: Z (ninguno), A, B o C

CONTROL DE MEDICIÓN
Inicio manual
Las mediciones se pueden iniciar y detener manualmente mediante un pulsador o una señal externa
Promedio exponencial: con un promedio de tiempo equivalente a 999 espectros, medido con una ventana de Hanning y una superposición del 67%
Promedio lineal: hasta 8 388 607 espectros medidos con una ventana de Hanning y una superposición del 67%

INICIO CON DISPARADOR
Tipo de señal transitoria: promedio lineal de hasta 32.767 espectros con disparador medidos con una ventana rectangular y una superposición del 0%
Tipo de señal continua: promedio lineal de hasta 32.767 espectros medidos con una ventana de Hanning y una superposición del 67%. Hay un promedio de hasta 32.767 espectros por disparador.
Inicio automático: un total de 10 temporizadores permiten configurar las horas de inicio de las medidas hasta con un mes de antelación. Cada temporizador se puede repetir. Las mediciones se almacenan automáticamente cuando se terminan

DISPARADORES
Retraso: de 16 383 muestras antes del momento de disparo hasta 300 s después
Tiempo de espera: entre 0 y 300 s
Disparador interno: utiliza la señal de tiempo del transductor de medición. El nivel interno se configura con las unidades de medición correspondientes
Disparador externo: utiliza la entrada del disparador. El nivel externo se configura entre –20 y 20 V
Histéresis (solo para disparador externo): entre 0 y 10 V
Pendiente (solo para disparador externo): ascendente, descendente

Elevación (solo para disparador externo): en Tipo 2250 con números de serie entre 2479653 y 2630265, la entrada del disparador se eleva hasta +5 V con una resistencia de 7,5 kΩ cuando el campo de este parámetro se establece en *On.* En los instrumentos a partir del número de serie 2630266, la elevación se cambia por una CCLD fuente de alimentación

RANGO DE MEDICIÓN
(Véase la Tabla 0.1)

Tabla 0.1 Rangos de medición con los transductores recomendados

Transductor	Sensibilidad nominal	Rango dinámico libre espurio para niveles altos	Rango dinámico libre espurio para niveles bajos	Respuesta de frecuencia típica – Baja frecuencia extendida Activada/Desactivada
Entrada directa	1 V/V	3 µV – 14,1 V_{pico}	300 nV – 75 mV_{pico}	1,5/6,3 Hz – 20 kHz
4189	50 mV/Pa	10 dB – 143 dB_{pico}	–10 dB – 97,5 dB_{pico}	6,8/7,8 Hz – 20 kHz
4190	50 mV/Pa	10 dB – 143 dB_{pico}	–10 dB – 97,5 dB_{pico}	4,0/6,7 Hz – 20 kHz
4191	12,5 mV/Pa	22 dB – 155 dB_{pico}	2 dB – 109,5 dB_{pico}	3,6/6,6 Hz – 20 kHz
4193	12,5 mV/Pa	22 dB – 155 dB_{pico}	2 dB – 109,5 dB_{pico}	0,56/6,3 Hz – 20 kHz
4950	50 mV/Pa	10 dB – 143 dB_{pico}	–10 dB – 97,5 dB_{pico}	4,3/6,3 Hz – 19 kHz
4952	31,6 mV/Pa	14 dB – 146 dB_{pico}	–6 dB – 101,5 dB_{pico}	4,3/6,3 Hz – 14 kHz
4397-A	1 mV/ms^{-2}	3 mm/s^2 – 7,1 $km/s^2{}_{pico}$	300 $\mu m/s^2$ – 75 $m/s^2{}_{pico}$	1,25/6,3 Hz – 20 kHz
4513/4514	1 mV/ms^{-2}	3 mm/s^2 – 7,1 $km/s^2{}_{pico}$	300 $\mu m/s^2$ – 75 $m/s^2{}_{pico}$	1,25/6,3 Hz – 10 kHz
4513-001/4514-001	10 mV/ms^{-2}	300 μms^{-2} – 710 $ms^{-2}{}_{pico}$	30 μms^{-2} – 7,5 $ms^{-2}{}_{pico}$	1,25/6,3 Hz – 10 kHz
4513-002/4514-002	50 mV/ms^{-2}	60 μms^{-2} – 141 $ms^{-2}{}_{pico}$	6 μms^{-2} – 1,5 $ms^{-2}{}_{pico}$	1,25/6,3 Hz – 10 kHz
8324+ 2647-D	1 mV/ms^{-2}	3 mms^{-2} – 7,1 $kms^{-2}{}_{pico}$	300 μms^{-2} – 75 $ms^{-2}{}_{pico}$	1,25/6,3 Hz – 10 kHz
8341	10 mV/ms^{-2}	300 μms^{-2} – 710 $ms^{-2}{}_{pico}$	30 μms^{-2} – 7,5 $ms^{-2}{}_{pico}$	0,7/6,3 Hz – 10 kHz

El límite inferior del intervalo de medición queda bajo la influencia del ruido aleatorio autogenerado y los tonos autogenerados, llamados señales espurias. La influencia de la parte aleatoria puede reducirse a un nivel por debajo de las señales espurias mediante la selección de un ancho de banda de análisis pequeño (gama reducida y muchas líneas). De este modo, se configura el límite inferior como nivel máximo de pico de las líneas de señal espuria.
BZ-7230 solo tiene un intervalo de medición, pero el nivel espurio depende del nivel de pico de la señal. Por lo tanto se presentan dos especificaciones, una para los niveles altos, en los que el límite superior es el límite de sobrecarga, y otra para los niveles bajos.
La respuesta de frecuencia común muestra el límite de ±1 dB para entrada directa y micrófonos, y un límite del ±10% para acelerómetros

MEDICIÓN DE RPM
Las RPM se miden a partir de la señal conectada a la entrada del disparador cuando el tacómetro se establece en *On*
Rango: entre 1 y 6 000 000 RPM
RPM instantáneas: las RPM instantáneas solo de muestran en pantalla (no se almacenan)
RPM medias: se muestran y almacenan junto a los resultados de los espectros. Como promedio lineal, es una media realizada en el mismo tiempo que el espectro. Como promedio exponencial, corresponde a la última RPM tomada
Relación de transmisión: entre 10^{-5} y 10^{38}. Las RPM que se muestran en pantalla corresponden a las RPM medidas divididas por su relación de transmisión.

SOBRECARGA
Sobrecarga instantánea: la sobrecarga instantánea se muestra como icono en la pantalla, y también se indica por la luz de tráfico
Sobrecarga de espectro: se muestran y almacenan junto a los resultados de cada espectro

VISUALIZACIÓN DE ESPECTROS
Dos espectros superpuestos
Escala: RMS, pico, de pico a pico, alimentación, PSD, ESD
Espectro de referencia: compara el espectro con la referencia almacenada (medida)
Eje: eje Y lineal o logarítmico, eje X lineal o logarítmico
Eje X: muestra el intervalo de frecuencia completo o amplía el eje-X hasta que solo se muestran 20 líneas FFT. Puede desplazarse
Intervalo de visualización del eje Y: 5, 10, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180 o 200 dB. Dispone de escala y zoom automáticos
Postponderación digital: ponderación A o Z (ninguna)

VISUALIZACIÓN DE PARÁMETROS
Sonido: nivel de presión del sonido en dB
Vibración: aceleración, velocidad o desplazamiento expresados en decibelios o unidades físicas. Unidades del Sistema Internacional (m/s^2, m/s o m) o unidades de EE. UU. y Reino Unido (g, m/s o Mil)
Directo: voltaje en dB o V

CURSORES
Lecturas: nivel total dentro del espectro
Corrección de frecuencia: en el caso de espectros medidos con ventanas de Hanning, se interpolan los picos del espectro para conseguir una mayor precisión
Principal: lee el nivel en función de la frecuencia
Delta y delta simétrico: define los límites inferior y superior de todo el espectro de frecuencia y calcula el nivel total dentro de ese rango de frecuencia
Armónicos: identifica los armónicos y frecuencias fundamentales del espectro y calcula la distorsión total de armónicos* (DTA)
Referencia: expresa la diferencia entre el valor Y del cursor principal y el valor Y del cursor de referencia

COMPROBACIÓN DE TOLERANCIA
Ventana de tolerancia: determina los niveles inferiores y superiores y las frecuencias superiores e inferiores dentro de cuyo intervalo se comprueba el espectro. La comprobación se puede realizar dentro del rango especificado de todas las líneas de FFT, o bien en el total delta de las líneas.
Los siguientes parámetros se han medido para comprobaciones del total delta con promedio exponencial:
- Total delta
- Total delta máximo
- RPM en el momento del total delta máximo
- LAF en el momento del total delta máximo
- Espectro de FFT en el momento del total delta máximo

Se pueden indicar un máximo de 10 ventanas de tolerancia por plantilla.
Comprobación de valores únicos: se puede configurar la tolerancia de los parámetros de L_{AF}, RPM instantáneas, L_{Aeq} y RPM medias.
Indicación: se pueden visualizar los resultados de cada ventana de tolerancia y de los cuatro valores únicos. También se puede visualizar un resultado global (combinación de todos los resultados) y un resultado

* La distorsión total de armónicos (DTA) es el resultado de la suma (en %) de todos los armónicos relacionados con la suma de las frecuencias fundamentales y de todos los armónicos.

enclavado (enclavado durante la medición) que se indicarán en el panel de estado.
Si se superan los límites de tolerancia puede iniciarse una grabación (se necesita una licencia de BZ-7226) y enviarse a la conexión de salida una señal de 3,3 V CC (límite superior), una de –3,3 V CC o una señal que alterne entre los 3,3 V y los –3,3 V (límites superior e inferior).

GRÁFICO DE BARRAS
LAF, LZF, espectro total y total delta son valores que se pueden visualizar en un gráfico de barras que indica el total delta máximo y los límites superior e inferior
En unidades de ingeniería, el eje del gráfico de barras puede ser logarítmico o lineal y se puede ampliar

Parámetros del sonómetro

Los parámetros del sonómetro (de banda ancha) se miden simultáneamente con los parámetros de FFT. No obstante, su medición comienza cuando se pulsa el botón de Inicio/Pausa y termina al segundo entero más próximo posterior al final de la medición de FFT
Las especificaciones de los parámetros del sonómetro son válidas para Analizador Portátil Tipo 2250/2270 equipado con Micrófono Tipo 4189 y Preamplificador de Micrófono ZC-0032

NIVEL DE RUIDO AUTOGENERADO
Valores normales a 23 °C para la sensibilidad nominal de circuito abierto del micrófono:

Ponderación	Micrófono	Eléctrica	Total
“A”	14,6 dB	12,4 dB	16,6 dB
“B”	13,4 dB	11,5 dB	15,6 dB
“C”	13,5 dB	12,9 dB	16,2 dB
“Z” 5 Hz–20 kHz	15,3 dB	18,3 dB	20,1 dB
“Z” 3 Hz–20 kHz	15,3 dB	25,5 dB	25,9 dB

Cumple las siguientes normas nacionales e internacionales:
- IEC 61672 –1 (2002–05) Clase 1
- IEC 60651 (1979) más la Modificación 1 (1993–02) y la Modificación 2 (2000–10), Tipo 1
- IEC 60804 (2000–10), Tipo 1
- DIN 45657 (1997–07)
- ANSI S1.4–1983 más la Modificación ANSI S1.4A–1985, Tipo 1
- ANSI S1.43–1997, Tipo 1

Nota: CENELEC adopta las normas IEC internacionales como normas europeas. Cuando esto sucede, las letras IEC se sustituyen por EN y se conserva el número. El analizador también cumple estas normas EN

DETECTORES
Detectores paralelos en cada medición:
Con ponderación (intercambiable) A o B: canal detector de banda ancha y ponderación de tiempo rápida, un detector con promediado lineal y un detector de pico
Con ponderación (intercambiable) **C o Z:** como en el que tiene ponderación A o B
Detector de sobrecarga: controla la salida de sobrecargas de todos los canales con ponderación de frecuencia

MEDICIONES
X = ponderaciones de frecuencia A o B
Y = ponderaciones de frecuencia C o Z
V = ponderaciones de frecuencia A, B, C o Z

Para visualización en pantalla y registro

Hora de inicio	Hora de finalización	Sobrecarga %
Tiempo transcurrido	L_{Xeq}	L_{Yeq}
L_{XFmax}	L_{YFmax}	L_{XFmin}
L_{YFmin}	L_{XIeq}	L_{YIeq}
L_{AFTeq}	L_{Vpico}	

Para visualizar únicamente como números
L_{XF} L_{YF}

Datos meteorológicos (requiere conexión a una estación meteorológica):
Wind Dir. avg.
Wind Dir. min.
Wind Dir. max.
Wind Speed avg.
Wind Speed min.
Wind Speed max.
Amb. Temperature
Amb. Humidity
Amb. Pressure
Amb. Rain Gauge
Datos meteorológicos instantáneos:
Wind Dir.
Wind Speed
Datos GPS instantáneos:
Latitud
Longitud

INTERVALOS DE MEDIDA
Con Micrófono Tipo 4189:
Rango dinámico: desde el ruido de fondo típico hasta el nivel máximo para una señal de tono puro de 1 kHz, con ponderación A: entre 16,6 y 140 dB
Intervalo de indicador principal: conforme a la norma IEC 60651, con ponderación A: entre 23,5 dB y 123 dB
Rango lineal: conforme a la norma IEC 60804, con ponderación A: entre 21,4 dB y 140 dB
Rango lineal de funcionamiento: conforme a la norma IEC 61672, con ponderación A: 1 kHz: entre 24,8 dB y 140 dB
Rango de pico C: conforme a la norma IEC 61672: entre 42,3 dB y 143 dB
Parámetros de banda ancha para las entradas del acelerómetro: podrá visualizar los siguientes parámetros de banda ancha en las unidades de ingeniería si Analizador Portátil Tipo 2250/2270 está equipado con un acelerómetro:
- L_{Xeq}
- L_{Yeq}
- L_{XFmax}
- L_{YFmax}
- L_{XFmin}
- L_{YFmin}
- L_{Vpico}
- L_{XF}
- L_{YF}

Especificaciones de software: Opción de Evaluación Tonal BZ-7231

LICENCIA
Opción de Evaluación Tonal BZ-7231 se activa con una licencia independiente, y puede usarse con la plantilla de FFT

NORMA
La evaluación de tono se basa en el espectro de FFT medido de acuerdo con la norma “ISO 1996 – 2:2007 Acústica - Descripción, evaluación y medición del ruido ambiental, parte 2: Determinación de los niveles de ruido ambiental. Anexo C (informativo) Método objetivo para evaluar la percepción de tonos en el ruido. Método de referencia” o con “Dinamarca 1984/1991: Vejledning nr. 6, 1984 fra miljøstyrelsen: Måling af ekstern støj fra virksomheder, Orientering nr 13, 1991 fra miljøstyrelsens referencelaboratorium for støjmålinger: Måling af hørbare toner i støj”

ESPECTROS EVALUADOS
Puede evaluarse el espectro (FFT, de referencia, máximo o espectro obtenido en el total delta máximo) del sonido que se muestre
La evaluación se realiza como el postprocesado, es decir, cuando se pausa o se detiene la medición

CONFIGURACIÓN CONFORME A LAS NORMAS
Configuración predeterminada: Si la configuración no cumple con la norma, aparecerá una indicación en la pantalla y se le ofrecerá la posibilidad de aplicar la configuración predeterminada.
Si es posible, se realizará la evaluación de tono, a pesar de no cumplir con la norma
Criterio de búsqueda de tono: entre 0,1 y 4,0 dB por pasos de 0,1 dB

TONO EN EL CURSOR
La salida del auricular dispone de un tono sinusoidal para facilitarle la confirmación de tonos identificados
Frecuencia: la frecuencia la selecciona el cursor principal
Ganancia: entre –70 dB y +10 dB

Opciones: el tono generado puede mezclarse con la señal de entrada

CURSOR DE EVALUACIÓN DE TONO
Todos los tonos disponibles se indican en la pantalla.
El cursor del tono se sitúa inicialmente en el tono más destacado y, a continuación, puede desplazarse por el resto de tonos detectados
También puede utilizar el cursor principal para desplazarse por los tonos

RESULTADOS
Los resultados se muestran en los paneles Tono y Valor
No se guardan con la medición
Todos los tonos: frecuencia, nivel de tono L_{pti}, nivel de ruido de enmascaramiento L_{pn}, percepción ΔL_{ta}, banda crítica CB, Banda crítica f_c
Tono más destacado: nivel de tono L_{pt}, ajuste K_t

INDICADORES DE CALIDAD
En la pantalla, un indicador de calidad (emoticono) indica que hay un consejo disponible para la calidad de la evaluación de tono. Haga clic en el indicador para ver el consejo

Especificaciones de software: Opción de Grabación de Señal BZ-7226

GRABACIÓN
Opción de Grabación de Señal BZ-7226 se activa con una licencia independiente.
La grabación requiere disponer de una tarjeta CF o SD de almacenamiento de datos

CONTROL AUTOMÁTICO DE GANANCIA
El nivel medio de la señal se mantiene dentro de un rango de 40 dB, aunque también puede fijarse la ganancia.

FRECUENCIA DE MUESTREO Y PREGRABACIÓN
La señal se almacena temporalmente para pregrabarse. Esto permite la grabación del comienzo de los sucesos aunque se detecten más tarde.

Frecuencia de muestreo (kHz)	Pregrabaciones máximas (s)		Memoria (KB/s)	
	16 bits	24 bits	16 bits	24 bits
8	470	310	16	24
16	230	150	32	48
24	150	96	48	72
48	70	43	96	144

Control manual de la grabación: la grabación puede iniciarse y detenerse manualmente durante una medición con un pulsador
Control automático de la grabación: la grabación se inicia al comenzar la medición. Es posible establecer el tiempo mínimo y máximo de grabación
Nivel de tolerancia: la grabación comienza cuando se exceden los límites de tolerancia

REPRODUCCIÓN
La reproducción de las señales grabadas puede escucharse con los audífonos o auriculares conectados a la salida de auriculares

FORMATO DE GRABACIÓN
La grabación se realiza en archivos de onda de 24 o 16 bits (extensión .wav) que después se adjuntan a los datos del proyecto, y que es posible reproducir con facilidad en un PC con BZ-5503 o Tipo 7820. La información de la calibración se guarda en el archivo wav, lo que permite que PULSE analice las grabaciones

SEÑAL GRABADA
Señal con ponderación Z del transductor de medición

Especificaciones de software: Measurement Partner Suite BZ-5503

BZ-5503 se incluye con el analizador portátil para una sincronización sencilla de las configuraciones y los datos entre el PC y el analizador.
BZ-5503 se suministra en el DVD BZ-5298

VISUALIZACIÓN EN LÍNEA DE LOS DATOS DE TIPO 2250/2270
Las mediciones del analizador pueden controlarse desde el PC y visualizarse en línea con el PC, gracias a la misma interfaz de usuario que se utiliza en el analizador

GESTIÓN DE DATOS
Explorador: herramientas para la gestión sencilla de analizadores, usuarios, trabajos, proyectos y plantillas de proyectos (copiar, cortar, pegar, eliminar, dar nuevo nombre, crear)
Visualización de datos: visualiza datos de medidas (contenido de proyectos)
Plantilla de edición: editor para cambiar configuraciones y plantillas de proyectos
Sincronización: las plantillas de proyectos y los proyectos de un usuario específico pueden sincronizarse entre el PC y Tipo 2250/2270

USUARIOS
Es posible crear o borrar usuarios del analizador

HERRAMIENTAS DE EXPORTACIÓN
Excel: los proyectos de FFT pueden exportarse a Microsoft® Excel®
Tipo 7820: los proyectos de FFT pueden exportarse a Evaluator Tipo 7820

ACTUALIZACIONES Y LICENCIAS DE SOFTWARE DE TIPO 2250/2270
El software de utilidades controla las actualizaciones del software y las licencias de las aplicaciones del analizador

INTERFAZ PARA TIPO 2250/2270
USB ver. 1.1, GSM compatible con Hayes o módem analógico estándar

REQUISITOS PARA EL PC
Sistema operativo: Windows® 7/XP o Windows Vista® (versiones de 32 y 64 bits) y Microsoft® .NET
PC Recomendado: Procesador Pentium® III (o equivalente), 2048 Mbyte de RAM, pantalla/adaptador gráfico SVGA, tarjeta de sonido, unidad de DVD, ratón, USB, Windows® 7

Información para pedidos

Tipo 2250-H-D01 Analizador Portátil Tipo 2250 con Software de Análisis FFT BZ-7230

Incluido con Tipo 2250-H-D01:

- AO-1476: Cable de interfaz de conexión USB estándar A a USB Mini B para versiones de hardware 1 – 3, 1,8 m (6 pies)
- AO-1494: Cable de interfaz de conexión USB estándar A a USB Micro B para versión de hardware 4, 1,8 m (6 pies)
- BZ-5298: Software ambiental, incluido Measurement Partner Suite BZ-5503
- BZ-7230: Software de Análisis FFT
- DD-0594: Tapones de protección para la conexión superior
- FB-0679: Cubierta abatible para el analizador portátil
- KE-0459: Mochila
- QB-0061: Batería
- UA-1654: 5 Punteros extra
- UA-1673: Adaptador para montura de trípode estándar
- ZG-0426: Alimentador de red

Tipo 2270-H-D02 Analizador Portátil Tipo 2270 con Software para Sonómetros BZ-7222 y Software de Análisis FFT BZ-7230

Tipo 2250-H-D02 Analizador Portátil Tipo 2250 con Software para Sonómetros BZ-7222 y Software de Análisis FFT BZ-7230

Incluido con Tipos 2270-H-D02 y 2250-H-D02:

- Tipo 4189: Micrófono de Campo Libre Prepolarizado de 1/2″
- ZC-0032: Preamplificador de Micrófono
- BZ-7222: Software para Sonómetros
- BZ-7230: Software de Análisis FFT
- KE-0440: Bolso de transporte
- KE-0441: Cubierta protectora para Tipo 2250
- DH-0696: Correa muñequera
- UA-1650: Pantalla Antiviento de 90 mm de diámetro con detección automática
- UA-1651: Prolongador de trípode para analizador portátil
- UA-1654: 5 Punteros extra
- UA-1673: Adaptador para montura de trípode estándar
- QB-0061: Batería
- ZG-0426: Alimentador de red
- AO-1476: Cable de interfaz de conexión USB estándar A a USB Mini B para versiones de hardware 1 – 3, 1,8 m (6 pies)
- AO-1494: Cable de interfaz de conexión USB estándar A a USB Micro B para versión de hardware 4, 1,8 m (6 pies)
- HT-0015: Audífonos
- BZ-5298: Software ambiental, incluido Measurement Partner Suite BZ-5503
- FB-0679: Cubierta abatible para el analizador portátil

Tipo 2270-H-D03 Analizador Portátil Tipo 2270 con Software para Sonómetros BZ-7222, Software de Análisis de Frecuencia BZ-7223, Opción de Grabación de Señal BZ-7226 y Software de Análisis FFT BZ-7230

Tipo 2250-H-D03 Analizador Portátil Tipo 2250 con Software para Sonómetros BZ-7222, Software de Análisis de Frecuencia BZ-7223, Opción de Grabación de Señal BZ-7226 y Software de Análisis FFT BZ-7230

Incluido con Tipos 2270-H-D03 y 2250-H-D03:

- Tipo 4189: Micrófono de Campo Libre Prepolarizado de 1/2″
- ZC-0032: Preamplificador de Micrófono
- BZ-7222: Software para Sonómetros
- BZ-7223: Software de Análisis de Frecuencia
- BZ-7226: Opción de Grabación de Señal
- BZ-7230: Software de Análisis FFT
- KE-0440: Bolso de transporte
- KE-0441: Cubierta protectora para Tipo 2250
- DH-0696: Correa muñequera
- UA-1650: Pantalla Antiviento de 90 mm de diámetro con detección automática
- UA-1651: Prolongador de trípode para analizador portátil
- UA-1654: 5 Punteros extra
- UA-1673: Adaptador para montura de trípode estándar
- QB-0061: Batería
- ZG-0426: Alimentador de red
- AO-1476: Cable de interfaz de conexión USB estándar A a USB Mini B para versiones de hardware 1 – 3, 1,8 m (6 pies)
- AO-1494: Cable de interfaz de conexión USB estándar A a USB Micro B para versión de hardware 4, 1,8 m (6 pies)
- HT-0015: Audífonos
- BZ-5298: Software ambiental, incluido Measurement Partner Suite BZ-5503
- UL-1009: Tarjeta de memoria SD para analizadores portátiles
- FB-0679: Cubierta abatible para el analizador portátil

BP 2456 – 12 2013-05

MARCAS REGISTRADAS
Microsoft, Windows, Windows Vista, Excel, Visual Basic y Visual Studio son marcas comerciales registradas de Microsoft Corporation en Estados Unidos y/o en otros países. Pentium es una marca comercial de Intel Corporation en Estados Unidos y/o en otros países. JavaScript es una marca comercial registrada de Oracle America, Inc.

Brüel & Kjær se reserva el derecho de variar las especificaciones y los accesorios sin previo aviso. © Brüel & Kjær. Todos los derechos reservados.

OFICINA CENTRAL: Brüel & Kjær Sound & Vibration Measurement A/S · DK-2850 Nærum · Dinamarca
Teléfono: +45 7741 2000 · Fax: +45 4580 1405 · www.bksv.com · info@bksv.com

Representantes locales y organizaciones de servicio en todo el mundo

Translated from English: BP2183–15

Brüel & Kjær

PRE 5050

PREDITEC IRM | Your partner in reliability



Expert Machinery Tester

Mucho más que un vibrómetro

El nuevo PRE5050 Expert Machinery Tester es un equipo especialmente diseñado para el técnico de mantenimiento de maquinaria y para los operadores de planta que aplican el TPM.

Supervisión y diagnóstico

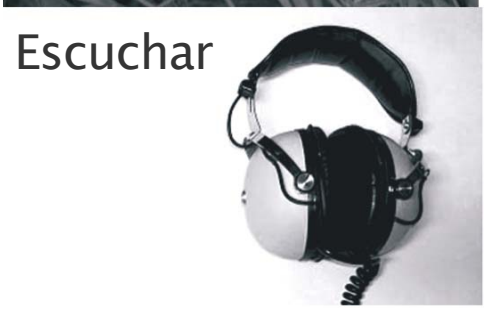
Este equipo es ideal para la supervisión de maquinaria por técnicos de mantenimiento o producción, expertos o no en análisis de vibraciones.

La inmensa mayoría de técnicos de mantenimiento no cuenta con herramientas apropiadas para el desempeño de sus funciones. Al dotar al técnico de los medios necesarios para evaluar el estado de una máquina, aumentamos su capacidad de diagnóstico al tiempo que lo motivamos para ejercer mejor su trabajo. Un diagnóstico preciso y certero al principio de una intervención permite una mejor planificación de la reparación, lo cual significa menor tiempo de parada.

PREDITEC/IRM Tel: 34 976 200 969 · Tel: 34 916 121 163 · Fax: 34 976 362 340
Oficinas en Madrid, Zaragoza, Barcelona, Albacete, A Coruña, Tarragona y Cádiz







Un equipo único

No es posible conocer el estado de las máquinas sin verlas, sentirlas y escucharlas.

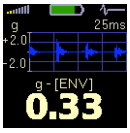
- Ver: Estroboscopio y linterna
- Sentir: Vibrómetro y termómetro
- Escuchar: Estetoscopio y medidor de Envolvente

Otra aplicación del PRE5050 Expert Machinery Tester es la supervisión predictiva de máquinas rotativas. Mediante la anotación de los valores globales de la vibración, el valor de la envolvente y la temperatura, se puede supervisar la evolución de una máquina desde su estado inicial hasta que desarrolla alguna avería.

Quizás lo más novedoso de este equipo es la función de diagnóstico automático mediante indicadores de colores verde, amarillo, naranja y rojo, según la severidad del fallo. Tras indicar al PRE5050 la velocidad de giro del rotor de la máquina, en un gráfico muy intuitivo se muestran los niveles de vibración global, el grado de desequilibrio, desalineación, holguras y deterioro de los rodamientos.

PREDITEC/IRM Tel: 34 976 200 969 · Tel: 34 916 121 163 · Fax: 34 976 362 340
Oficinas en Madrid, Zaragoza, Barcelona, Albacete, A Coruña. Tarragona y Cádiz

Características y funciones



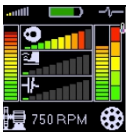
- Medida del valor de Envolvente
- Forma de onda de la envolvente, g-ENV, filtrada en la banda de 0,5 a 16 kHz

- Pantalla en color de 128x128 pixels
- Dimensiones: 150 x 60 x 35 mm





- Escucha de ruidos internos de la máquina, función estetoscopio
- Estroboscopio con rango 10 - 18.000 cpm
- Función linterna, para inspección de zonas oscuras



- Grado de desequilibrio, desalineación, holguras y estado de rodamientos
- Detección automática de la velocidad de giro de la máquina



- Medida del valor global de la vibración ISO 10816-3, mm/s rms (10 Hz - 1 kHz) y valor pico
- Medida del valor global de la aceleración en valor rms y pico (500 Hz - 16 kHz)
- Medida del valor global del desplazamiento en valor rms y pico (1 Hz - 1 kHz)

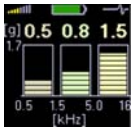


- Espectro de la velocidad de la vibración, mm/s, 0 - 200 Hz, detección automática de frecuencia y amplitud de los tres picos principales en este rango

- Medida de la temperatura por infrarrojos, función pirómetro



- Baterías alcalinas o recargables (NiMH AA)



- Valor de la aceleración de la vibración en tres bandas de frecuencia, Baja 0,5 - 1,5 kHz, Media: 1,5 - 5 kHz, Alta: 5 - 16 kHz.

- Valores de alarma predefinidos para cada parámetro de evaluación

PREDITEC/IRM Tel: 34 976 200 969 · Tel: 34 916 121 163 · Fax: 34 976 362 340
Oficinas en Madrid, Zaragoza, Barcelona, Albacete, A Coruña. Tarragona y Cádiz

Aplicaciones



- Desequilibrio de rotores
- Poleas excéntricas
- Desalineación de poleas
- Desalineación de ejes acoplados
- Ejes doblados
- Holguras
- Bancada suelta o agrietada
- Estado de rodamientos
- Fallos en cajas de engranajes
- Estado de la lubricación
- Fallos que provoquen un aumento de la temperatura
- Detección de roces o piezas sueltas que provoquen ruidos dentro de la máquina.
- Inspección del estado de correas y cadenas de transmisión en funcionamiento
- Inspección de palas de ventiladores en rotación

Incluye:



- Guía rápida de manejo del equipo en hoja plastificada.
- Manual de usuario en español.
- Vídeo explicativo sobre la configuración y uso del equipo.
- Vídeo práctico descriptivo sobre el uso del equipo para la medida de vibración y temperatura sobre los principales tipos de máquinas.
- Vídeo sobre el uso y precauciones de la función estroboscopio.
- Tablas de niveles de vibración para definición de alertas y alarmas.
- Aplicación para el seguimiento de las tendencias de vibración y temperatura, con informe automático de puntos en alerta o alarma y gráficas para vibración radial, axial, estado de rodamientos y temperatura.
- Acceso directo al foro sobre mantenimiento predictivo y fiabilidad Prediforo.
- Acceso directo al blog sobre mantenimiento predictivo y fiabilidad industrial Preditécnico.
- Artículos relacionados con las funciones del equipo.

Accesorios



- Sensor de vibración
- Cable de sensor espiral
- Base magnética para fijación del sensor de vibración
- Adaptador para sujeción manual del sensor de vibración
- Auriculares
- Cable para grabación de la señal de la vibración
- Baterías recargables (dos juegos)
- Cargador de baterías
- Maleta de transporte
- DVD para formación y referencia

PREDITEC/IRM Tel: 34 976 200 969 · Tel: 34 916 121 163 · Fax: 34 976 362 340
Oficinas en Madrid, Zaragoza, Barcelona, Albacete, A Coruña. Tarragona y Cádiz

"Your Direct Source for Plant Maintenance, Reliability, Test & Measurement"
www.reliabilitydirectstore.com
2911 South Shore Blvd. Suite 170, League City, TX USA 77573 Phone: 281-957-5283 Fax: 281-334-4255

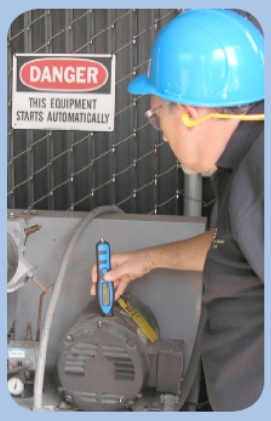
SKF Machine Condition Advisor

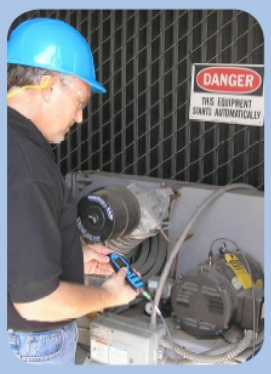
CMAS 100-SL

Machine monitoring, made simple



SKF Machine Condition Advisor simultaneously measures vibration signals and temperature to indicate machine health or bearing damage.





Introduction

Now both novice users and experts can easily, quickly and accurately check the condition of rotating equipment throughout your facility. Equipping your maintenance and operations personnel with this rugged, ergonomic and easy-to-use instrument can provide early warning of potential machine problems before a costly failure occurs.

Multiple measurements with a single device

The SKF Machine Condition Advisor provides an overall "Velocity" vibration reading that measures vibration signals from the machine and automatically compares them to pre-programmed International Organization for Standardization (ISO) guidelines. An "Alert" or "Danger" alarm displays when measurements exceed those guidelines. Simultaneously an "Enveloped Acceleration" measurement is taken and compared to established bearing vibration guidelines to verify conformity or indicate potential bearing damage.

The SKF Machine Condition Advisor also measures temperature using an infrared sensor to indicate uncharacteristic heat.

Features

- Quick and easy to set up and use, measurements are shown on a bright display viewable in low light to direct sunlight. Free on-line training is also available at SKF @ptitude Exchange.
- Lightweight, compact and ergonomically designed, the SKF Machine Condition Advisor fits neatly at the belt line, in a pocket or a tool kit. Exceptionally durable, the unit is rated IP 54 for use in adverse industrial environments.
- Alert and Danger prompts provide increased diagnostic confidence.
- Measuring Velocity, Enveloped Acceleration and temperature simultaneously saves time.
- Efficient, economical and environmentally friendly, the rechargeable SKF Machine Condition Advisor operates 10 hours on a single charge.
- Flexible enough to work with standard 100 mV/g ICP accelerometers, an optional external sensor can be used for hard-to-reach locations.
- Features English, French, German, Portuguese, Spanish and Swedish for user convenience.

Accuracy, flexibility and confidence

When performing measurements, the Machine Condition Advisor's acceleration sensor input signal is processed to produce two different measurements for each POINT on the machinery – overall velocity and enveloped acceleration. At the same time, the SKF Machine Condition Advisor's non-contact infrared sensor measures the surface temperature of the measurement location and simultaneously displays all three measurement values.

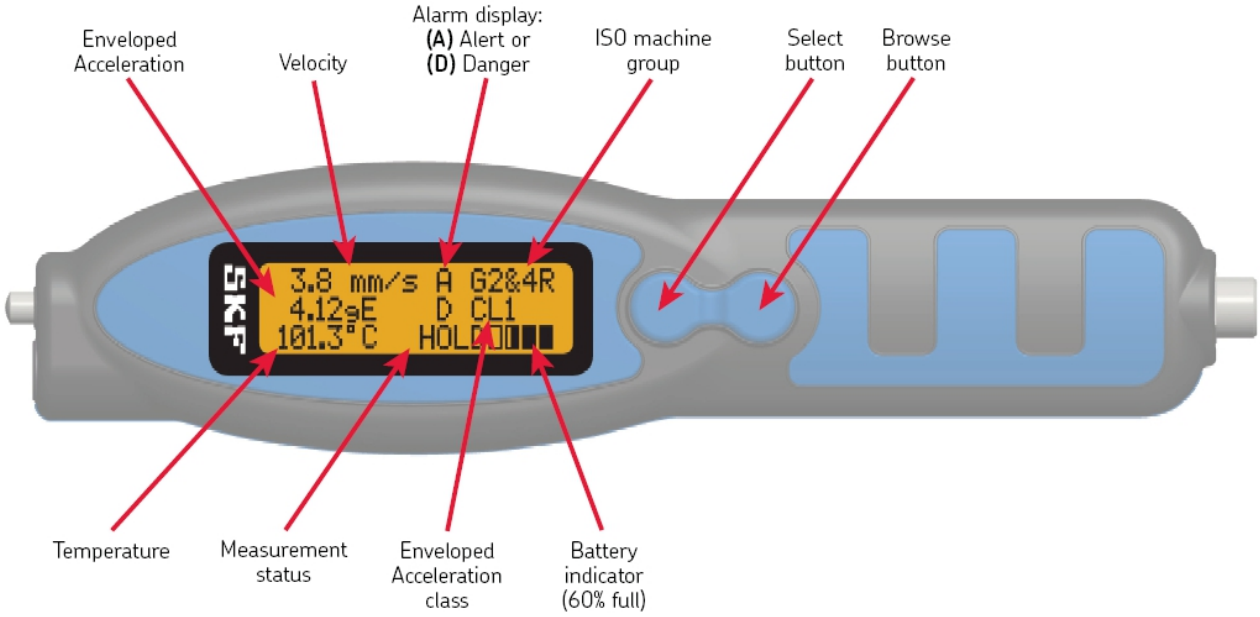
Depending on the SKF Machine Condition Advisor's System setting, the front-panel LCD simultaneously displays:

- Units in Metric or English
- Velocity in mm/s RMS or IPS derived Peak
- Temperature in Celsius or Fahrenheit
- Acceleration enveloping readings in gE

Quick and easy – first time and every time

1. Press "Select" or "Browse" button to turn the SKF Machine Condition Advisor "On"
2. Press the sensor tip against the point to be measured
3. When the readings stabilize, press the "Select" button to hold the reading
4. Read and record the measurement values

LCD display in measurement mode



Specifications

- **Vibration pickup:**
  - *Internal:* Integrated piezoelectric acceleration
  - *External:* Accepts ICP™ type 100 mV/g accelerometer
- **Temperature sensor:** Internal IR temperature sensor
- **Measurements:**
  - *Velocity:*
    - Range: 0.7–65 mm/s (RMS), 0.04–3.60 in/s (equivalent Peak), meets ISO 10816
    - Frequency: 10–1 000 Hz, meets ISO 2954
  - *Enveloped acceleration:*
    - Range: 0.2–50.0 gE
    - Frequency: Band 3 (500–10 000 Hz)
  - *Temperature:*
    - Range: –20 to +200 °C (–4 to +392 °F)
    - IR temperature accuracy: ±2 °C (±3.6 °F)
    - Distance: Short range, maximum 10 cm (4 in) from target
- **Operating temperature range:**
  - *In use:* –10 to +60 °C (+14 to +140 °F)
  - *While charging:* 0 to +40 °C (+32 to +104 °F)
- **Storage temperature:**
  - *Less than one month:* –20 to +45 °C (–4 to +113 °F)
  - *More than one month but less than six months:* –20 to +35 °C (–4 to +95 °F)
- **Humidity:** 95 % relative humidity, non-condensing
- **Enclosure:** IP 54
- **Approvals:** CE
- **Drop test:** 2 m (6.6 ft)
- **Weight:** 125 g (4.4 oz)
- **Dimensions:**
  - *Length:* 200 mm (7.90 in)
  - *Width:* 47 mm (1.85 in)
- *Height:* 25.4 mm (1.00 in)
- **Battery capacity:** 550 mA hours
- **Battery life:** 10 hours before charging again (≈1 000 measurements)
  - *With external sensor:* Up to 55 % less battery life
- **Supported external sensor:** Any standard accelerometer with 100 mV/g sensitivity that needs ICP (Integrated circuit-piezoelectric)
- **External sensor power:** 24 V DC at 3.5 mA
- **Charger specifications:**
  - Universal AC/DC wall plug-in
  - *Input:* 90–264 VAC, 47–60 Hz
  - *Output:* 5 V DC regulated
  - 3 to 4 hours for a full charge

Understanding and using guidelines for vibration

The SKF Machine Condition Advisor provides a means to evaluate machine health based on ISO 10816-3 and to evaluate the bearings according to general guidelines developed from a statistical analysis of existing databases.

How to choose the correct "Alarm Velocity Group" for your machinery

The Alarm Velocity Group (***G2&4*** or ***G1&3***) determines the instrument's "overall vibration" alarm limits. Therefore, select the Group that best describes the general size, type, and speed of the machinery being measured. Note that these machine group classifications are set forth in ISO 10816-3, which rates overall velocity vibration levels for standardized machinery classifications.

Groups 2&4 (default)

ISO Group 2 and 4 classifications define the following type of machinery:

- Medium-sized machines and electrical machines with a shaft height between 160 and 315 mm.
- These machines are normally equipped with rolling element bearings, but may use sleeve bearings, and operate at speeds above 600 RPM.
- These machines include pumps with multi-vane impellers and integrated drivers.

Groups 1&3

ISO Group 1 and 3 classifications define the following type of machinery:

- Large machinery and electrical machines with a shaft height greater than 315 mm.
- These machines are generally equipped with sleeve bearings, but may use rolling element bearings.
- These machines include pumps with multi-vane impellers and integrated drivers.

Rigid or Flexible foundation?

An additional setting allows the specification (when defining the overall alarm levels) of measurements taken from machinery with ***Rigid*** (default) or ***Flexible*** foundations.

Options are:

G2&4R (default)

Alert: 2.8 mm/s (0.16 ips)
Danger: 4.5 mm/s (0.25 ips)

G2&4F

Alert: 4.5 mm/s (0.25 ips)
Danger: 7.1 mm/s (0.39 ips)

G1&3R

Alert: 4.5 mm/s (0.25 ips)
Danger: 7.1 mm/s (0.39 ips)

G1&3F

Alert: 7.1 mm/s (0.39 ips)
Danger: 11.0 mm/s (0.61 ips)

How to choose the correct "Enveloped Acceleration Classification" for your machinery

The Enveloped Acceleration Classification (***CL1***, ***CL2***, or ***CL3***) you specify determines the instrument's "bearing vibration" alarm levels. Therefore, the Enveloped Acceleration Class that best describes the general size and speed of the bearings being measured should be selected.

Options are:

CL1

Bearings with a bearing bore diameter between 200 and 500 mm and a shaft speed below 500 RPM.

Alert: 1 gE
Danger: 2 gE

CL2 (default)

Bearings with a bearing bore diameter between 200 and 300 mm and a shaft speed between 500 and 1 800 RPM.

Alert: 2 gE
Danger: 4 gE

CL3

Bearings with a bearing bore diameter between 20 and 150 mm and a shaft speed from 1 800 to 3 600 RPM.

Alert: 4 gE
Danger: 10 gE

Expanding your capabilities with SKF Machine Condition Advisor compatible accessories

External sensor kit Model CMAC 105

The Extension sensor kit CMAC 105 contains an accelerometer with integral cable and everything needed to take measurements from hard-to-reach places.



Accelerometer

- 100 mV/g sensitivity
- Small size case, 0.5" x 1.05"
- Small footprint, 0.5"
- 0.32 Hz to 10 kHz frequency range (±3 dB)
- Waterproof

Integral cable (1.5 meters)

- Connector to SKF Machine Condition Advisor CMAS 100-SL

Magnet, Model CMAC 106

- 10 lbs pull-strength, 0.75" diameter

Each accelerometer is fully enclosed in a potted and waterproof stainless steel case.

Specifications (Accelerometer)

Dynamic performance
- **Sensitivity (±10 %):** 10.2 mV/(m/s^2) (100 mV/g)
- **Measurement range:** ±490 m/s^2 (±50 g)
- **Frequency range (±3 dB):** 0.32–10 kHz
- **Mounted resonant frequency:** 22 kHz
- **Amptitude linearity:** ±1 %
- **Transverse sensitivity:** 7 %

Electrical
- **Settling time:** ≤2 sec
- **Excitation voltage:** 18–30 VDC
- **Excitation constant current:** 2–20 mA
- **Output impedance:** <150 Ω
- **Output bias voltage:** 8–12 VDC
- **Electrical case isolation:** >10^8 Ω
- **Electrical protection:** RFI/ESD
- **Integral cable:** 22 AWG, +105 °C (22 AWG, +221 °F)

SKF Machine Condition Advisor CMAS 100-SL

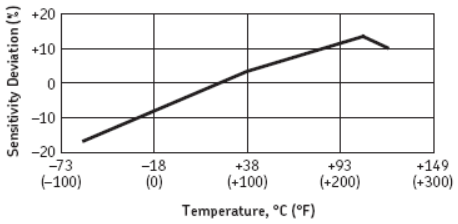
Expanding your capabilities with SKF Machine Condition Advisor compatible accessories *(continued)*

Specifications *(continued)*

Environmental

- **Shock limit:** 49 km/s² pk (5 000 g pk)
- **Temperature range:** –54 to +85 °C (–65 to +185 °F)

Typical sensitivity deviation vs. temperature



Spectral Noise

- **10 Hz:** 78.5 (mm/s²)/√Hz (8 µg/√Hz)
- **100 Hz:** 49.1 (mm/s²)/√Hz (5 µg/√Hz)
- **1 kHz:** 39.2 (mm/s²)/√Hz (4 µg/√Hz)

Mechanical

- **Size:** 12.70 × 26.67 mm (0.50 × 1.05")
- **Weight (including 1.5 meter cable):** 70.7 g (2.5 oz)
- **Mounting thread:** 1/4-28 UNF-2B
- **Mounting torque:** 2.7 to 6.8 N-m (2 to 5 ft-lb)
- **Sensing element:** Ceramic/shear
- **Case material:** Stainless steel
- **Sealing:** Potted
- **Wrench flats:** 7/16"

Connection cable (1.5 meters) Model CMAC 107

Optional Connection cable for standard ICP accelerometers with 100 mV/g, mil-spec connector.



CE

Ordering information

CMAS 100-SL SKF Machine Condition Advisor includes:

- SKF Machine Condition Advisor unit
- Belt holster [CMAC 102]
- Charger, international DC power supply [CMAC 8002]
- Charger adapter, cable [CMAC 101]
- User manual, English hard copy [32131800-EN]
- CD containing:
  - User manual available in PDF files in English, French, German, Portuguese, Spanish, and Swedish
  - Link to training on @ptitude Exchange
  - Machine Condition Advisor trend worksheet (Excel .xls file)
  - SKF Reliability Systems Condition Monitoring Essentials catalog available in PDF file in English [CM2355]
- CD, Integrating Condition Monitoring Products and Asset Management Services, product catalog [CM5057]

Accessories

- **Extension kit [CMAC 105],** 100 mV/g accelerometer with 1.5 m integral cable and magnet
- **Connection cable [CMAC 107],** 1.5 m with M8 socket type connector for standard ICP 100 mV/g accelerometer (ICP: integrated circuit piezoelectric)

Replacement

- **Charger adapter [CMAC 101],** cable 4 inches, connector to 5.5 mm power
- **Charger [CMAC 8002],** international DC power supply, +5 V, 1 600 mA, 90–264 VAC, 47–63 Hz
- **Magnet [CMAC 106],** magnet base, 0,75" diameter, 10 lbs pull-strength
- **Belt holster [CMAC 102]**

www.reliabilitydirectstore.com

2911 South Shore Blvd. Suite 170, League City, TX USA 77573 Phone: 281-957-5283 Fax: 281-334-4255

"Your Direct Source for Plant Maintenance, Reliability, Test & Measurement"
www.reliabilitydirectstore.com
2911 South Shore Blvd. Suite 170, League City, TX USA 77573 Phone: 281-957-5283 Fax: 281-334-4255

SKF Machine Condition Detector Pro IS

CMVL 3600-IS Machine Reliability Inspection System

Intrinsically Safety (IS) rated

The SKF Machine Condition Detector Pro IS (MCD Pro IS) is certified Intrinsically Safe (IS) for Europe and North America. The ruggedized MCD Pro IS is ideal for use in the hazardous environments typically found in the petrochemical Industrial marketplace.

Go / No Go machine monitoring

The Machine Condition Detector Pro IS is designed to provide a straightforward approach to machinery monitoring. The instrument's sensor affixes to a machine point via a MARLIN QuickConnect (MQC) Stud or magnetic bases for automatic collection of vibration and temperature data. Green, yellow and red LEDs provide easy-to-interpret indications of machine status, so operations or maintenance personnel can quickly identify the need for more in-depth analysis on a particular machine.

Multi-parameter monitoring capabilities

The Machine Condition Detector Pro IS operates as a stand-alone device, or as an accessory to the SKF MARLIN hand-held mobile computers for Operator Driven Reliability (ODR). When used with SKF @ptitude Inspector companion software and the MARLIN QuickConnect Line of mechanical and computerized studs, the complete system offers customers in non-hazardous conditions the added power and functionality of immediate in-the-field feedback on alarm conditions, as well as data storage, trending and analysis. Data is logged for trending, SPC (Statistical Process Control) rule violation, and percent change from last measurement and baseline data.

SKF Operator Driven Reliability (ODR) process ensures that operator observations are accurately, thoroughly, and consistently recorded and communicated. Utilizing automated technology that is linked to your maintenance strategy, operators immediately respond to abnormal process conditions, proactively, with in-the-field corrective actions that help increase production output. In the event of degrading asset health, operators can initiate work notifications to your computerized maintenance management system (CMMS), providing enhanced awareness to maintenance management.



ATEX APPROVED

The SKF Machine Condition Detector Pro IS (MCD Pro IS) provides for velocity, enveloped acceleration, and temperature monitoring with general alarm capabilities and has ATEX Certifications.

Vibration monitoring

When performing measurements, the MCD Pro IS's sensor input signal is processed to produce two vibration measurements for each measurement POINT. Velocity vibration identifies phenomena which are observable in the low to mid frequency range, and indicates such structural problems as misalignment, unbalance, mechanical looseness and more. However, events which occur in the higher frequency ranges such as bearing and gear problems, can also be detected by the MCD Pro IS with its "Acceleration Enveloping" capability, a signal processing technique which focuses on enhancing the repetitious vibration signals that characterize such problems.

Temperature

Temperature measurements enhance the "early warning" benefit of the instrument by offering a useful indication of mechanical condition or the load applied to a specific component, since, as a bearing or its lubrication fails, friction causes its temperature to rise.

SKF Machine Condition Detector Pro IS CMVL 3600-IS

General alarm capabilities

When used as a stand-alone tool, the Machine Condition Detector Pro IS may be easily programmed for six alarm settings, which include the "alert" and "danger" levels for each of the three measurements. When measurements are taken, current measured values are automatically compared to six user-defined settings, and the MCD Pro IS's alarm indicator and LED react appropriately. An "alert" condition provides a user with an early warning of impending problems for which immediate in depth analysis should be performed. A "danger" alarm indicates that a problem has escalated to a point where actions must be made quickly to avoid a serious failure.

MARLIN QuickConnect (MQC) studs for quality, repeatable data collection

Specially designed mechanical and computerized studs enable one or several users to collect consistent, accurate, and repeatable data from each measurement point. Engineered to work exclusively with the Machine Condition Detector Pro IS (MCD Pro IS), the MARLIN QuickConnect (MQC) mechanical/ computerized studs provide for a fast, quarter turn connection which temporarily fastens the probe to a measurement point. This reduces the possibility of errors and inconsistencies often resulting from data collected by a variety of individuals using varying methodologies.

Specifications

MEASUREMENTS

Vibration pickup: Integrated piezoelectric acceleration (ceramic, shear type)

Measurement range:

Velocity: 0.3 – 55 mm/s (RMS), 0.02 – 3.00 in/s (equivalent. Peak). Meets ISO Standard 10816-1

Enveloped acceleration: 0.3 gE – 20.0 gE

Temperature: 0 °C to +100 °C +32 °F to +212 °F)

Frequency range:

Overall velocity: 10 Hz – 1 kHz (Tolerances measured within the frequency range are in accordance with ISO 3945)

Enveloped acceleration band 3: 500 Hz – 10 kHz

DISPLAY

Viewing area: 54.99 mm x 17.78 mm (2.165" x 0.700")

POWER

Main power: Two (2) 1.5 V alkaline "AA" batteries

Battery lifetime: 30 hours

Backup battery: One (1) 3 V BR1225 Lithium Ion Battery

Auto off: Two (2) minute countdown on last operation

HAZARDOUS AREA RATINGS

Intrinsic Safety (IS):

ATEX: II1G EEx ia IIC T4 (Ta = -20 °C to +40 °C)
Class I, Division 1, Groups A, B, C, D T3A (USA, Canada)

PHYSICAL CHARACTERISTICS

Case: Water and dust resistant (IP 65)

Drop test: Six (6) feet on multiple axes

Dimensions: Length: 190.5 mm (7.50")
Width: 43.2 mm (1.70")
Height: 41.4 mm (1.63")

Weight: 431 gms (0.95 lb) with battery, 635 gms (1.4 lb) with temperature magnet probe tip

USER ENVIRONMENT

Operating temperature: -20 °C to +60 °C (-4 °F to +140 °F) ordinary locations

-20 °C to +40 °C (-4 °F to +104 °F) hazardous locations

Storage temperature: -37 °C to +70 °C (-34 °F to +158 °F)

Humidity: 5% to 95% noncondensing

COMMUNICATIONS PORT

Type: Micro D RS-232

QUICKCONNECT INTERFACE

Receptacle: 1/4 turn 5/8-24 two (2) lead thread with contact

Accessories to fit:

MQC: QuickConnect Stud series – CMSS 26xx

Temperature Magnet

4" (10 cm) Stinger: CMSS 60139-04

Vibrómetros

Los vibrómetros son la herramienta perfecta para un control predictivo en los casos en los que no se disponga de importantes recursos técnicos o económicos.

Los vibrómetros son equipos portátiles sencillos que permiten realizar medidas de vibración en valor global de velocidad (mm/s) y algunos permiten además medir la vibración en aceleración o desplazamiento o disponen de algún parámetro de detección de fallos en rodamientos.



Entre los distintos vibrómetros disponibles en Preditec/IRM:

- PRE5050 Expert Machinery Tester
- PRE5014 Medida de vibraciones, rodamientos, temperatura y estetoscopio.
- PRE5010-ATEX
- PRE5020 Vibrómetro compacto para medida de vibración y estado de rodamientos
- PRE5040 Vibrómetro para mantenimiento predictivo

	PRE5050	PRE5014	PRE5010 ATEX	PRE5015	PRE5020	PRE5040
Vibración mm/s rms	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Vibración g rms	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Vibración µm	✓	✓	✓	✗	✗	✓
Temperatura	✓	✓	✗	✗	✗	✓
Estado de los rodamientos	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Auriculares	✓	✓	✗	✓	✗	✗
Diagnóstico automático	✓	✗	✗	✗	✗	✗
ATEX	✗	✗	✓	✗	✗	✗
Rutas de inspección	✗	✗	✗	✗	✗	✓

ascent®



commtest
The Revolution

BENEFICIOS DE ASCENT

El software de analisis de vibraciones Ascent es un herramienta de análisis de datos global y poderosa así como de almacenamiento, integrada al vbSeries® de Commtest®.

Aunque posee una impresionante lista de características avanzadas, la simplicidad el programa Ascent lo hace una herramienta invaluable, ideal para aquellos que implementan programas de análisis de vibraciones por primera vez.

El software Ascent se ofrece en tres niveles, ofreciéndole, en cada nuevo nivel, mayores beneficios y capacidades más avanzadas.

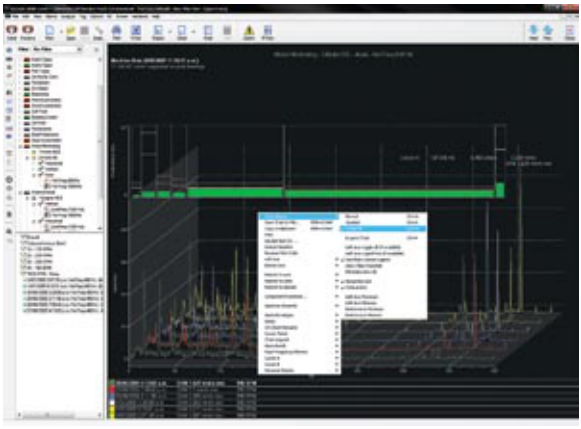


Nivel 1

Ascent nivel 1 cubre las necesidades esenciales del nuevo analista y el experto. Este proporciona la habilidad de llevar acabo análisis de fallas profundas, pero sin abrumar a los analistas principiantes con funciones confusas. Potente simplicidad es el sello del Ascent nivel 1.

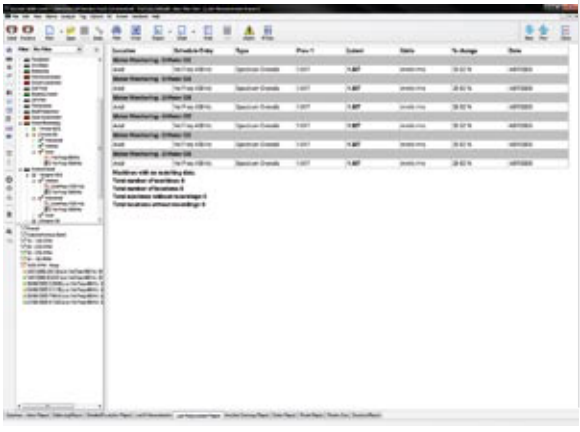
Cartografía interactiva y simple

Amplie y obtenga una vista panorámica de sus gráficos y observe los detalles; Cambie la escala de sus graficas para comparar el tamaño de los diferentes picos y configure frecuencias de falla para ayudarle a identificar problemas en componentes de la máquina. Una simple acción en su botón derecho le proporcionara la habilidad de ajustar la configuración del cursor, cambiar las unidades en X y Y, alternar entre unidades métricas e inglesa, y entre órdenes, Hz y CPM.



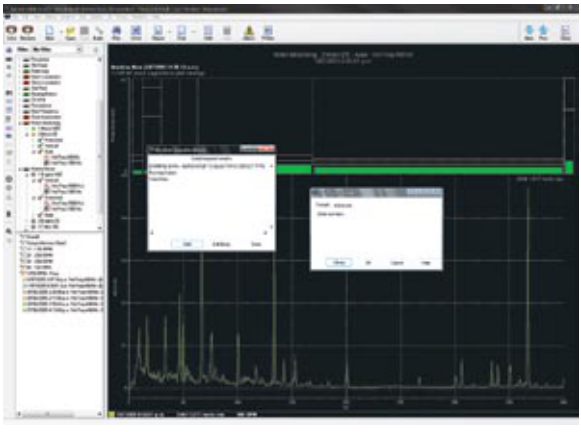
Interfaz, gráficos y reportes personalizados

Cambien su forma de trabajar con el software reposicionando o ocultando herramientas, cambiando los colores de las gráficas y apagando los títulos de botones. Personalice sus propias gráficas y reportes para desplegar información de manera que tengan sentido para usted.

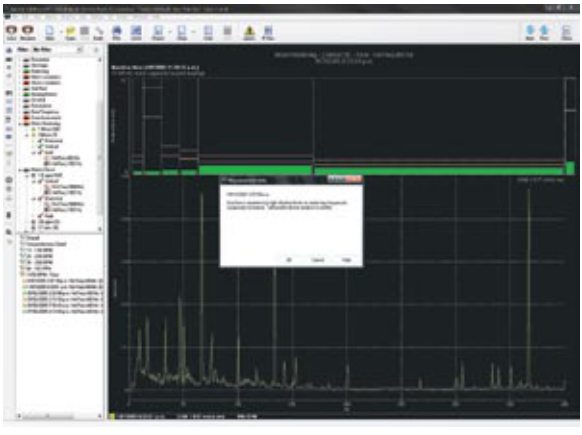


Facilidad para realizar anotaciones en los gráficos

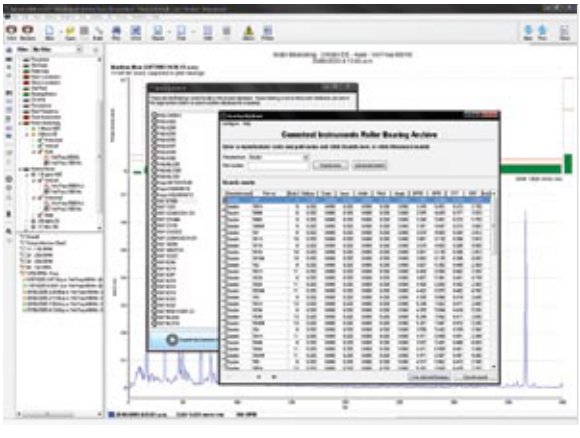
Agregue sus propios comentarios a los picos importantes del espectro. Una librería de comentarios creados para el usuario se le proporciona para que usted ahorre tiempo.



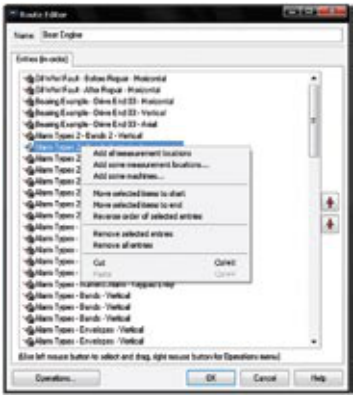
Creación y Edición de Notas para las Máquinas.
Las notas pueden ser añadidas a la máquina, puntos y registros proporcionando una referencia histórica muy útil de posibles fallas y recomendaciones útiles para las actividades de servicio.



Base de Datos de Rodamientos de Commtest con más de 30,000 unidades
Más de 30,000 rodamientos con sus frecuencias de falla correspondientes están incluidos como una parte integral de Ascent nivel 1. Pueden ser archivados rodamientos adicionales según sus requerimientos.

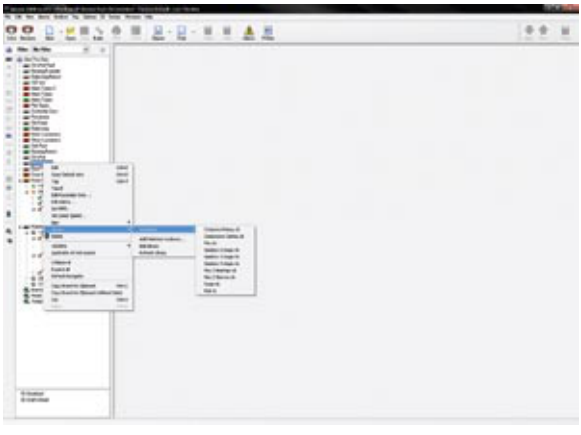


Creacion y Edición de rutas
Configure rápidamente una lista de maquinas y puntos de medición para la captura de datos. Las rutas se pueden modificar rápidamente después de haberlas creado.



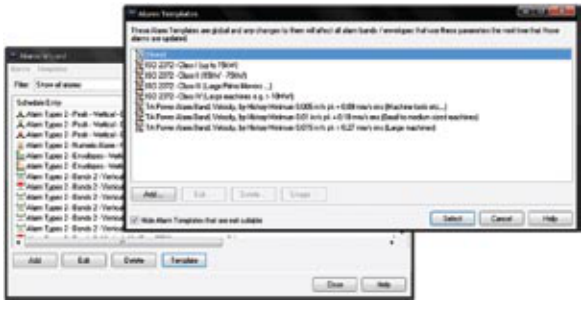
Librería de almacenamiento de componentes

Pueden ser creados componentes y ser almacenados en la Libreria del Software para ser reusados con frecuencia. Para crear un nuevo artículo o dispositivo basado en uno ya existente, simplemente obtenga la plantilla y realice una copia; modifíquela como sea requerido para crear componentes totalmente nuevos de la máquina.



Creación de máquina y plantilla de alarma

Configure sus máquinas y alarmas de forma rápida y fácil creando plantillas reutilizables.



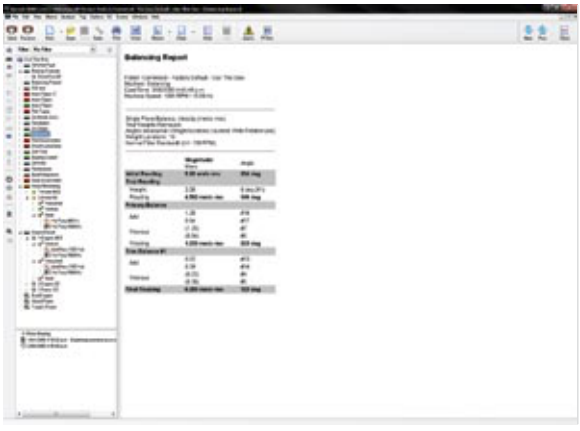
Soporte para velocidad lineal

Permita que el software realice los calculos por usted. Rodillos y poleas con diferentes dimensiones no trabajaran a la misma velocidad. El software puede seguir la pista del diferencial de velocidades de los componentes en máquinas de velocidad lineal.



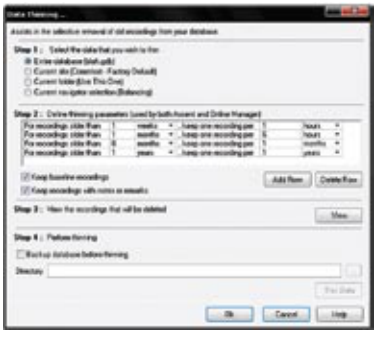
Reporte de Balanceo

El programa Ascent proporciona la habilidad de almacenar reportes históricos de balanceo. Los reportes de balanceo pueden imprimirse y exportarse a Microsoft® Word®.



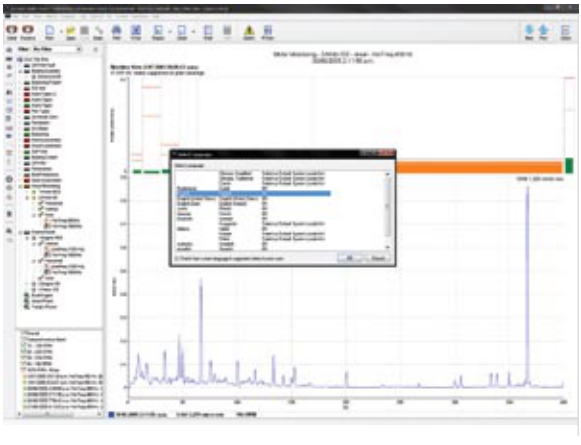
Limpieza Seleccionable de la base de datos

No hay que preocuparse si los archivos de la base de datos cada vez son más grandes y lentos. Usted puede limpiar y optimizar periódicamente su base de datos para mantener sólo los datos más útiles y de uso diario.



Soporte para múltiples idiomas

El software Ascent ha sido traducido a varios idiomas. Esto permite a las empresas internacionales confiar en una aplicación que pueda utilizarse en diferentes localidades con facilidad.



Otras características comunes de todos los niveles de Ascent

El software Ascent cumple con la norma OPC en relación a la adquisición de datos, lo que hace que la integración con los sistemas DCS o SCADA de su planta sea perfecto.

- Registro de grabacion y muestreo que permite realizar comparaciones instantáneas con datos correctos conocidos.
- Convierta formas de onda a espectros con facilidad
- Exporte sus gráficas y reportes favoritos a Microsoft® Word® con solo un clic.
- Procesamiento de Parámetros de Tendencia
- Copia de seguridad intuitiva de la base de datos y facilidad de restauración.

Nivel 2

El nivel 2 de Ascent agiliza el proceso de análisis de vibraciones, aprovechando el tiempo y simplificando la tarea del ingeniero de mantenimiento y del analista de vibraciones, independientemente de la experiencia.

El nivel 2 de Ascent proporciona gran beneficio a analistas principiantes y avanzados. Los analistas principiantes apreciarán las configuraciones automáticas de mediciones de equipo y configuracion de alarmas proporcionadas por "El Método Probado". Los analista experimentados pueden usar la misma herramienta para evaluar y ajustar objetivamente la configuración de sus alarmas y criterios de medición. Ambos grupos pueden obtener mayor eficiencia ante el uso de umbrales de alarmas generados estadísticamente a fin de crear el sistema de alarma más preciso posible en máquinas individuales



Requerimientos del Sistema

Ascent, OnlineManager, AscentWatcher
- Sistema Operativo Microsoft Windows® 2000 SP4, XP® SP2, Server 2003® o Vista®(x32/x64).
- Procesador Intel Pentium® 2 400MHz (o equivalente) o de mayor velocidad.
- 256 MB de memoria RAM
- 500 MB de espacio libre en disco duro
- Unidad óptica CD-ROM compatible
- Ratón compatible con Windows o cualquier otro dispositivo
- Un puerto libre USB o de comunicación (COM) para enlace con el instrumento
- Microsoft .NET Framework Versión 2.0 o superior.

AscentView
- Servidor de Internet Microsoft IIS 4 o superior.
- Microsoft .NET Framework Versión 2.0 o superior.
- Windows Internet Explorer 5 or superior ejecutándose en la PC del cliente.

AscentOPC
- Microsoft .NET Framework Versión 2.0 o superior.

OnlineManager™ AscentWatcher™, AscentView™ and AscentOPC™ son marcas registradas de Commtest Instruments Ltd.

Ascent®, vbSeries®, vbOnline® and Commtest® son marcas registradas de Commtest Instruments Ltd.

Todas las otras marcas registradas son propiedad de sus respectivos dueños.

commtest The Revolution

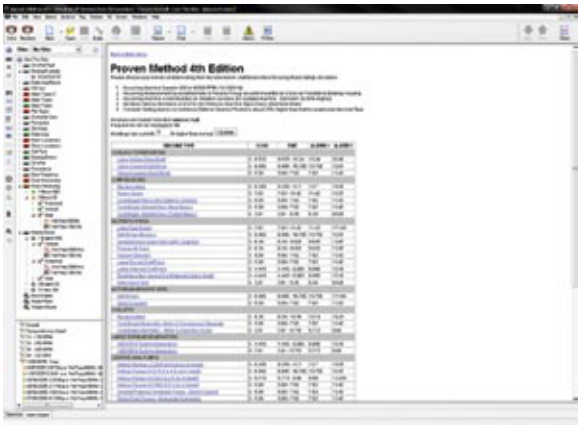
Commtest, Inc.
6700 Baum Drive
Suite 12
Knoxville, Tennessee 37919
Telephone 865 588-2946
Facsimile 865 588-2949
USA Toll Free 877 582-2946
americas@commtest.com

Commtest Instruments Ltd
Level 2, 22 Moorhouse Avenue
PO Box 9297
Christchurch 8011
New Zealand
Telephone +64 3 943 0700
Facsimile +64 3 943 0727
sales@commtest.com
www.commtest.com

Commtest Instruments Ltd
PO Box 502689
Dubai Internet City
Dubai, United Arab Emirates
middleeast@commtest.com

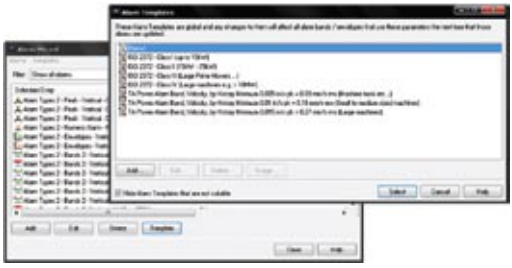
JUN 10

No Existe historial de Maquinas? No hay problema!



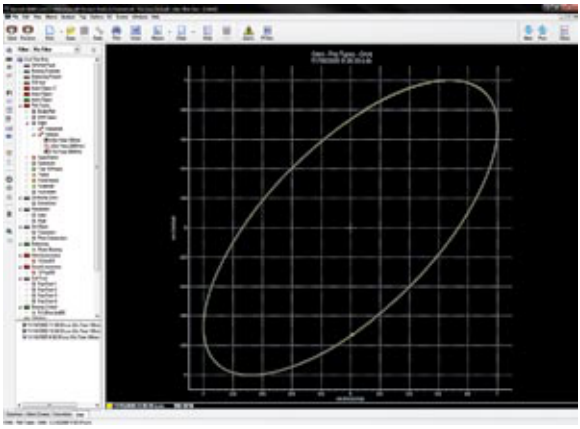
Si usted no tiene experiencia previa o falta de datos previamente grabados, usted puede usar "El Método Probado"* para establecer un programa de medición listo para usar. El software Ascent crea mediciones y configuraciones de alarmas optimizadas para usted. "El Método Probado"le permite seleccionar entre un amplio y completo menú de máquinas pre-definidas y herramientas de maquinas, con sus parámetros de prueba y alarmas. Evalué sus primeros registros con estos estándares ya probados y realice agrupaciones de maquinas similares para que pueda descubrir, con mayor facilidad, que máquinas están funcionando en un estado anormal

Detecte fallas con anticipación y con mayor precisión



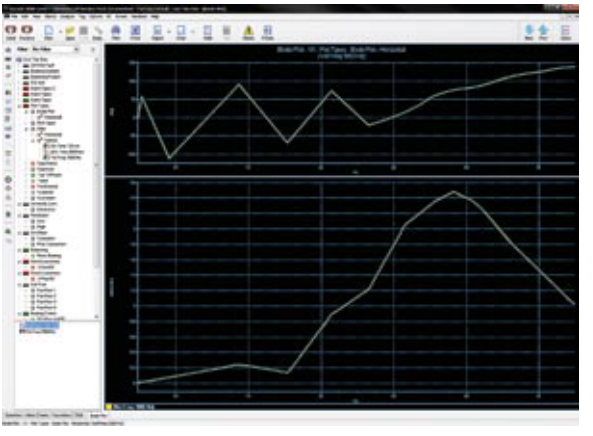
Usted puede detectar condiciones de falla a tiempo y con un mayor grado de certeza, al aplicar límites estadísticos pre-definidos para alarmas. Combinando "El Método Probado" con nuestros límites estadísticos pre-definidos para alarmas, eliminamos las conjeturas en la creación de alarmas, evitandole configurar la identificación y el ajuste de las bandas de falla. Esto conducirá a una detección temprana de problemas y la reducción de incidencia de falsas alarmas.

Obtenga una vista panorámica

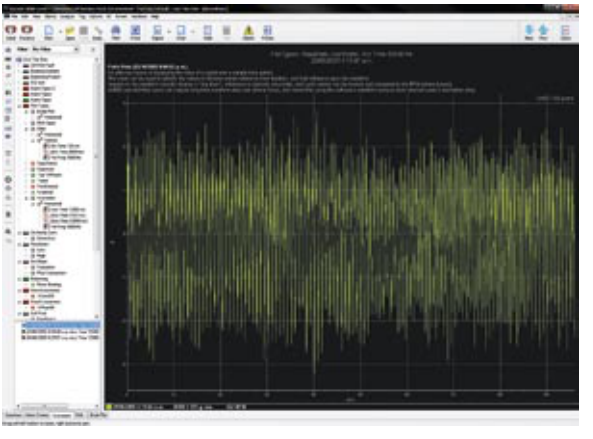


Herramientas adicionales proporcionan la capacidad de un análisis más avanzado. Gráficas de órbitas añaden un mayor poder de análisis. Rozamientos de rotor, precarga y fallas de velocidades críticas no podrán ser observadas utilizando formas de onda o espectros normales. Las órbitas ponen al descubierto los movimientos anormales de la flecha que tipifican estas condiciones de fallas potenciales en la máquina.

Las gráficas de Bode Las gráficas de Bode identifican las frecuencias de resonancia. Con simples ajustes en la velocidad de operación de la máquina, el aumento de la rigidez, o alterar la masa estructural, reducirá la probabilidad de que la máquina falle.



Nuestras patentadas **herramientas de análisis de Forma de Onda** proporcionan beneficios adicionales para el analista experto, permitiéndole convertir secciones de formas de onda o frecuencias del espectro, de una forma a otra.



Más información sobre "El Método Probado"

"El Método Probado" es una técnica probada con el tiempo que especifica niveles de alarma espectral en velocidad pico y bandas de frecuencia, para mediciones tomadas en maquinaria general de una planta saludable.

"El Método Probado" fue creado por la Asociación de Técnicos de Charlotte en Carolina del Norte (Estados Unidos), siendo una de las firmas mundialmente reconocidas, con más prestigio en enseñanza y consultoría de análisis de vibraciones.

Ascent Nivel 2 esta disponible con dos opciones de Licencia

1. Licencia de usuario único. Utilizable con archivos de base de datos almacenados en un equipo individual.
2. Licencia de red para varios usuarios. Utilizable con los archivos de base de datos almacenados en equipo individual o en un servidor de red.

Por favor discuta sus necesidades actuales y futuras sobre el Software, con su representante de ventas local de Commtest.

Nivel 3

Ascent Nivel 3 es un software global que se proporciona como un programa integral complemento del producto vbOnline™. Mientras que el Ascent Nivel 3 es un componente necesario del sistema completo de vigilancia de vbOnline, existen muchos beneficios valiosos para aquellos que dependen unicamente de la recolección de datos portátil

Ascent Nivel 3 incluye las siguientes aplicaciones:

- Ascent®
- AscentWatcher™
- AscentView™
- AscentOPC™
- OnlineManager™

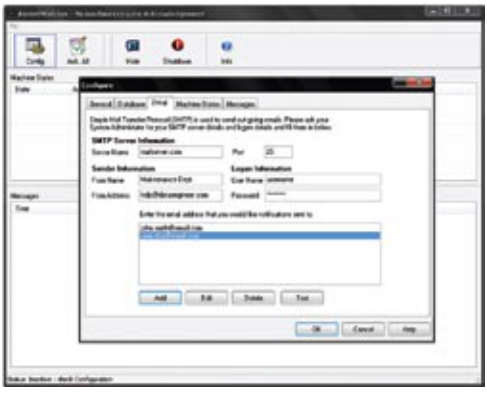
Aunque la aplicación posee una impresionante lista de características avanzadas, la simplicidad del programa Ascent lo hace una herramienta invaluable, ideal para aquellos que implementan programas de análisis de vibraciones por primera vez.

Ascent Nivel 3 le proporciona mayor accesibilidad a la información. Instale el software Ascent en la red de su compañía, y luego limite el acceso a usuarios específicos o en su defecto, permita el acceso completo a cualquier persona dentro de la red. La opción es suya. Utilice las habilidades de comunicación del software Ascent para recibir automáticamente mensajes de texto o correo electrónico alertándolo sobre los estados de las alarmas, o use un buscador para ver sus datos en tiempo real desde cualquier parte del mundo. Nuestro software puede conectarse a su sistema existente DCS, y configurarse para tomar mediciones programadas automáticamente, mientras que sus máquinas trabajan día y noche.



Acceso Flexible a información compartida

Que su información sea examinada por más de un analista puede acelerar el descubrimiento de la falla e incrementar la efectividad del diagnóstico de fallas en la máquina. La característica de ejecucion en una red de datos que posee el Ascent Nivel 3 le permite a varios analistas trabajar con su información simultáneamente en sus propias PC's.

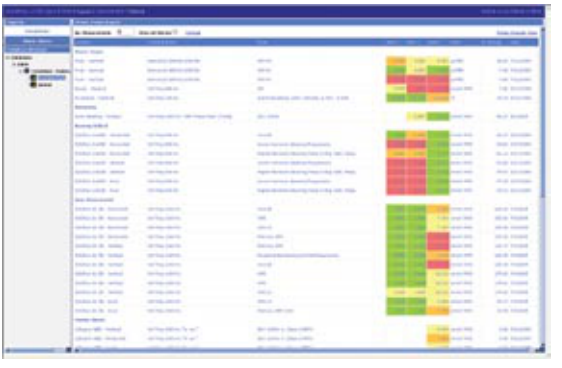


Reciba notificaciones de alarmas en cualquier localidad 24/7

El programa AscentWatcher manda mensajes automáticos de alerta en donde usted esté, a personal indicado cuando la condición de las maquinas cambia. Usted puede escoger entre texto, correo electrónico o mensaje a la pantalla de su PC's y crear una lista de distribución para notificar a varias personas al mismo tiempo.

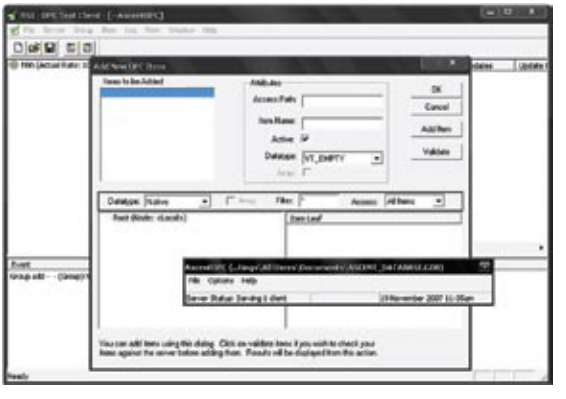
Observe el estado de su máquina, en cualquier parte y a cualquier hora.

Monitoree el estado de sus máquinas de manera remota utilizando su navegador de internet y la aplicación AscentView. Con una conexión de Internet y Windows® Internet Explorer® usted puede acceder a la información de su máquina y desplegar los últimos reportes de estado.



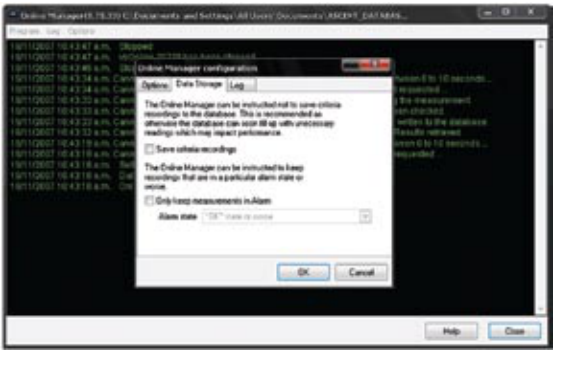
Mejore el sistema de monitoreo de su planta

La aplicación AscentOPC publica los datos de vibración de la máquina y los hace disponibles a través del protocolo OPC estándar de la industria, el cual se puede integrar fácilmente con el Sistema de Control Distribuido (DCS) existente en su compañía. Las condiciones de alarma son actualizadas constantemente, entonces permitiéndole a su equipo de ingeniería planear sus actividades basadas en las condiciones de las máquinas actualizadas de último minuto.



Minimice la cantidad de personal destinado a rutinas de captura de datos

El software OnlineManager captura constantemente los datos por usted. Como una parte integral del sistema vbOnline, el software OnlineManager ejecuta sus capturas programadas y modifica automáticamente las rutinas de registro basado en las condiciones cambiantes de operación de las máquinas.



Administración automatizada de la base de datos

Olvídese de las preocupaciones de perder información. Cuando se configura correctamente por un administrador, el programa Ascent automáticamente realiza respaldos periódicos de la base de datos y limpieza de datos para evitar su preocupacion



© Commtest Instruments Ltd. All rights reserved.
Rev CTI20186 JUN10



Preciso

Vibration measuring devices DETECT3-3MB (Series DETECTORIII)

measuring devices for vibration diagnosis

The datasheet is only an overview of dimensions and basic load ratings of the selected product. Please always observe all the guidelines in these overview pages. Further information is given on many products under the menu item "Description". You can also order comprehensive information via the Catalogue selection system (http://www.fag.de/content.fag.de/en/mediathek/library/library.jsp) or by telephone on +49 (91 32) 82 - 28 97.

Measurement ranges
Acceleration/velocity 0,1 Hz to low pass cut-off frequency (TP)
0,1 Hz to 200 Hz; 0,1 Hz to 500 Hz; ..
Demodulated signal 0 Hz to TP
Low-pass cut-off frequencies 200, 500 Hz, 1, 2, 5, 10, 20 kHz
High-pass (demodulated signal branch) 750 Hz
Temperature -20 °C to +550°C (temperature range as a function of sensor used, freely configurable input)

Characteristic values
Aeff: (2 kHz to TP), RMS value of acceleration
Asel: RMS value for acceleration in freely definable frequency range
ISO 10816: (10 kHz to 1 kHz), RMS value for velocity
Vsel: RMS value for velocity in freely definable frequency range (frequency band as a function of TP)
Deff: RMS value for demodulated signal
Dsel: RMS value for demodulated signal in freely definable frequency range
Crest factor, speed, temperature

Window function:
Hanning

Averaging in the frequency range:
1 - 9 (FFT, characteristic values per channel)
Linear

Sampling rate:
max. 51,2 kHz, as a function of the set TP

A/D converter:
16 Bit (autoranging), dynamic range > 90 db

Frequency resolution:
1600, 3200 lines (0,0625 Hz to 12,5 Hz as a function of the set TP)

Automatic detection of measurement points:
RFID 13,56 MHz, ISO 15693, compatible with RFID tags of stated specification

Ramp-up/coast-down:
configurable (1024, 2048 and 4096 measurement points)
Automatic start/stop function

Inputs
2 x BNC jacks (multiplexer)
ICP (4,7 mA), steplessly adjustable sensitivity, sensor tester
AC/DC ±5V, impedance > 100 kΩ
1 x AUX
Tachometer input 5 to 24 V, < 10000 rpm
(rising or falling flank selectable)
IR temperature sensor ±5V, impedance > 100 kΩ (freely configurable)
Battery charger

Outputs
Headset (demodulated signal)
RS 232 for data transmission (38,4 kps, 56,7 kps)
AUX: supply for trigger sensor (5 V max. 200 mA, 12 V max. 50 mA)

Balancing:
1 or 2 plane balancing
Up to 4 sensor positions
Weight positions:
Continuous (0 to 359°) or discrete (4 to 99 positions)
Removal of weights: yes/no

Balancing measurement type:
acceleration, velocity, travel

Measurement:
peak, peak-to-peak, RMS

Balancing units:
g, mm/s, inch/s, µm, mil

Weight units:
gr., oz. (up to 9 999,99 gr. or oz.)

Separate measurements:
temperature, speed, headset (demodulated signal)

Soft keyboard with 21 keys

Illuminated graphic display (LCD), 128 x 64 pixels, 55 mm x 33 mm

Memory:
1600 measurement points plus 270 time signals (maximum 300 time signals)

Power supply:
NiMh 2100 mAh, voltage 6 V

Dimensions (L x W x H):
230 x 70(53) x 45(53) mm
Mass:
approx. 500 g (including battery)

Temperature range:
0°C to 50°C (working temperature)

Operating duration:
approx. 6 to 8 hours continuous operation

Housing:
ABS, IP 40

Protective bag:
two compartments, black nylon, carry strap

EMC standards:
ETSI EN 301 489, ETSI EN 300 330,
EN61000-6-2, EN61000-6-4,
EN60950-1, FCC Part 15

Firmware:
Free of charge firmware updates on Internet
Available languages:
German, English, Finnish, French, Italian, Dutch, Portuguese, Swedish, Slovenian, Spanish and Turkish

Software:
Trendline (updates on Internet)
Suitable for Windows XP/Vista
Available in: German, English, French, Portuguese and Spanish
- Configuration of FAG Detector IIII via RS 232 interface
- Bearing database of approx. 200,000 bearings
- Graphic presentation of measurement values and curve
- Trend analysis
- Presentation of time signals and FFT
- Display of balancing in tabular and diagrammatic format
- Configurable report generator



Hoja de Producto

Colector analizador de vibraciones PRE5140



El colector analizador de vibraciones para mantenimiento predictivo de maquinaria industrial PRE5140 es la solución técnica más completa y con la mejor relación calidad/precio

No renuncie a nada con el colector analizador de vibraciones PRE5140

El colector analizador PRE5140 incluye de serie todas las funciones desarrolladas para esta plataforma:

- **Análisis básico y avanzado en campo**. Configure cualquier tipo de medida a pie de máquina para los diagnósticos que no pueden esperar.
- Toma de datos en **rutas preprogramadas**, para que los no expertos puedan recoger la información de la vibración de las máquinas y así los expertos analicen estos datos.
- **Equilibrado** en uno o dos planos, con un procedimiento detallado claro y sencillo.
- Registro de **arranques y paradas**. Para búsqueda de velocidades críticas y fallos relacionados con el cambio de la frecuencia de resonancia.
- **Funciones avanzadas de registrador** de cuatro canales. Para registros largos de ondas dinámicas.
- **Estetoscopio**. Para escucha de ruidos internos de la máquina.
- **Lubri**. Para comprobación de la lubricación de cojinetes y rodamientos.
- **Análisis de ruido**. Función sonómetro avanzado con espectros en tercios de octava.
- **Diagnóstico automático** de maquinaria. Para conseguir un primer diagnóstico a pie de máquina a partir de la vibración medida por el propio equipo.

Una herramienta excelente para su plan de mantenimiento predictivo

El Mantenimiento Basado en Condición (CBM) o Mantenimiento Predictivo (PdM) trata de identificar averías a lo largo del tiempo y su objetivo es preparar un calendario para las intervenciones de mantenimiento de manera precisa, reduciendo considerablemente los costes producidos por paradas imprevistas o por un exceso de mantenimiento preventivo y optimizando de este modo la vida de los rodamientos y otros elementos mecánicos.

Las rutas predictivas se preparan en el software de gestión de datos PRE5140-SW y se transfieren al colector portátil. Los nombres de las máquinas y los puntos de medición se configuran previamente en el software predictivo para que delante de la máquina sólo localicemos la máquina a medir y realicemos secuencialmente las medidas, sin la necesidad de configurar nada, puesto que todos los parámetros de las mediciones han sido programados previamente en el software predictivo.

Los parámetros que configuramos son los valores de la vibración global, espectros, ondas y los parámetros derivados de espectos y ondas, como las bandas frecuenciales y los valores máximos de pico de la onda de aceleración.

El equipo genera alertas en campo cuando tras comparar los datos medidos con las alarmas prefijadas, se ve rebasado algún parámetro de supervisión.

Además, el equipo permite la recolección de datos fuera de ruta, puesto que dispone de funciones de toma de datos de vibración en modo manual, aparte de las medidas preprogramadas.



FIg. 1. Colector analizador de vibraciones de 4 canales PRE5140.

Diagnóstico automático

Es posible que usted no disponga de sus analistas las 24 del día, pero sus máquina sí que trabajan de manera continua. Con la función de diagnóstico automático del analizador PRE5140 sólo necesita conocer la velocidad de giro de la máquina a diagnosticar y tras una rápida medida de la vibración, el equipo le indica el fallo principal de la máquina, distinguiendo entre problemas de desequilibrio, desalineación, holguras o fallos en rodamientos. Además, el módulo de diagnóstico automático indica la serveridad del fallo detectado y un texto explicativo.

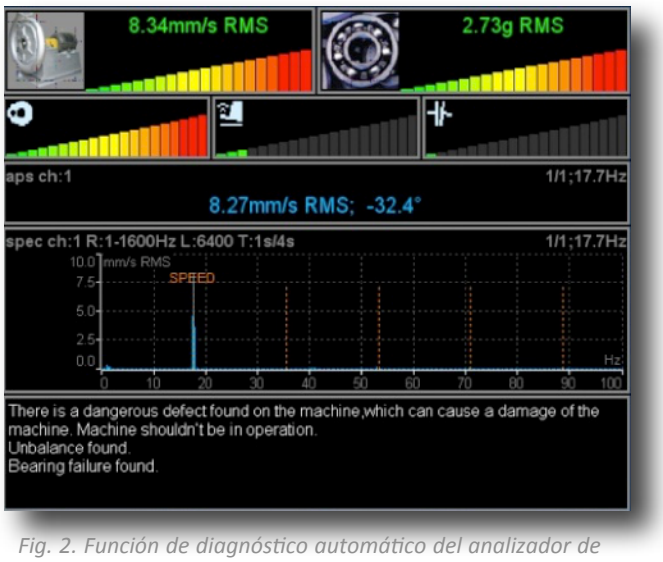


Fig. 2. Función de diagnóstico automático del analizador de vibraciones PRE5140

Análisis avanzado a pie de máquina

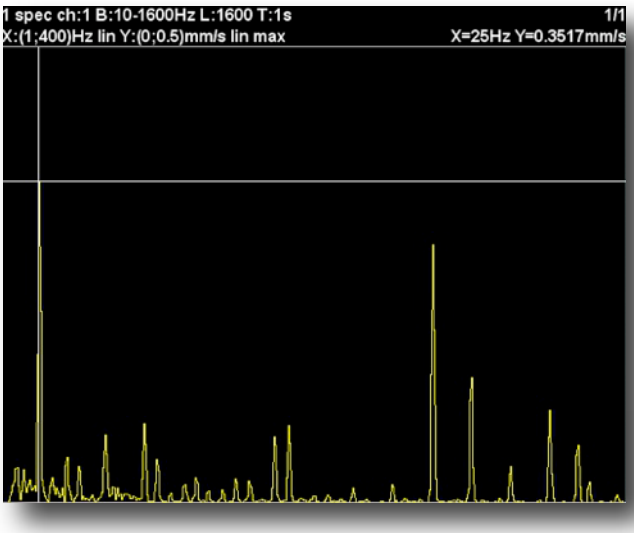


Fig. 3. Las funciones de análisis en campo del equipo PRE5140 permiten identificar los fallos a pie de máquina.

La mayoría de equipos para el mantenimiento predictivo actuales vienen equipados con pantallas demasiado pequeñas para facilitar al analista el análisis en campo. El analizador PRE5140 cuenta con una pantalla de 8,5", con una resolución SVGA (800x600) que permite al analista diagnosticar la máquina en campo, sin necesidad de llevar consigo un ordenador portátil para poder ver con claridad los picos de los espectros y ondas medidos. Esta amplia pantalla permite visualizar las gráficas de diagnóstico de varios puntos simultáneamente con total claridad.

La rapidez y flexibilidad con la cual se configuran las medidas es otra gran ventaja de este equipo, por lo cual, ya nunca más saldrá a verificar una máquina sin su analizador PRE5140.

Estetoscopio

Los mejores mecánicos de mantenimiento son capaces de realizar sus diagnósticos solamente a partir del ruido de una máquina que presenta un problema. Una correa que patina, un engranaje sobrecargado o con algún diente roto, un rodamiento con una picadura, una bomba que cavita, son ejemplos de fallos que pueden detectarse gracias al ruido que producen. El analizador avanzado PRE5140 dispone de la función estetoscopio en 4 canales para que mediante el sensor de vibración acoplado a la máquina, usted pueda escuchar con claridad los ruidos internos de la máquina y pueda medir su intensidad.

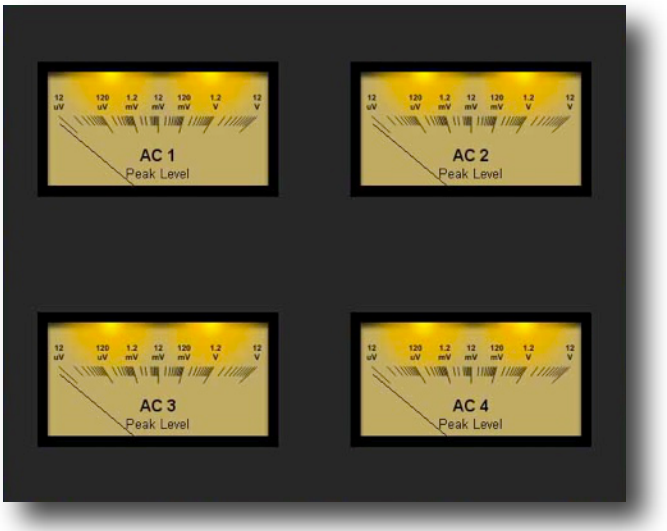


Fig. 4. La función de estetoscopio del analizador avanzado de maquinaria PRE5140 permite no sólo escuchar los ruidos internos de la máquina, sino también medir su intensidad.

Funciones avanzadas de registrador de ondas largas de 4 canales

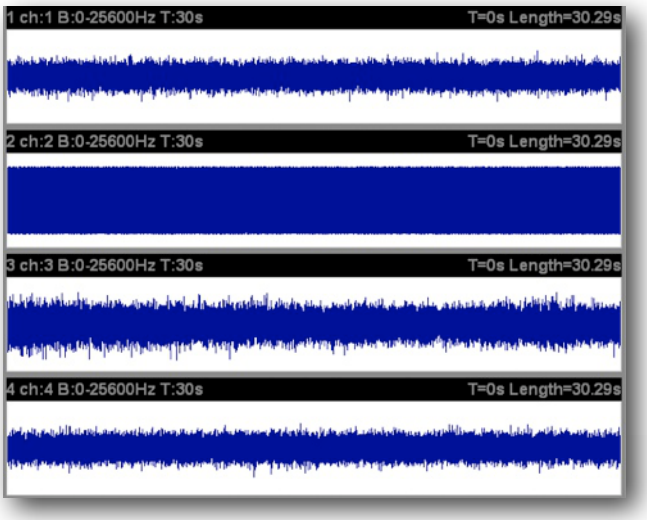


Fig. 5. La función de registrador permite la grabación de señales dinámicas con una elevada frecuencia de muestreo.

Pocos colectores de vibración para mantenimiento predictivo disponen de esta función más propia de analizadores multicanal de uso general. El analizador avanzado de maquinaria PRE5140 incorpora la función registrador en cuatro canales para la grabación de señales dinámicas en registros de larga duración. La elevada capacidad de memoria de 160 GB permite registrar señales de varias horas con una elevada frecuencia de muestreo de hasta 196 kHz. Además, el equipo cuenta con herramientas para seleccionar la parte válida del registro y para su posterior análisis.

Conexiones



Fig. 6. Los conectores del analizador PRE5140 son de alta calidad para eliminar ruidos indeseables en el registro de señales dinámicas.

El colector analizador avanzado PRE5140 cuenta con 4 entradas de señal dinámica, 1 entrada de trigger, salida para auriculares, 2 conectores USB y la conexión para la recarga de la batería.

Además opcionalmente se puede solicitar el equipo con una salida VGA para facilitar la proyección de la pantalla.

Equilibrado experto en campo en uno o dos planos

El analizador avanzado de maquinaria PRE5140 incorpora un programa de equilibrado en campo basado en medidas de vibración (amplitud y fase) a la frecuencia de giro.

Este módulo incluye funciones especiales que eliminan la influencia del ruido, los cambios de velocidad...

Los datos se guardan para cada máquina, con el fin de ahorrar tiempo en el siguiente equilibrado.

El programa de equilibrado guía al técnico en el procedimiento de equilibrado desde la medida inicial, la medida de prueba, la corrección y la medida final. Cada paso es una pantalla independiente en el proceso de equilibrado.

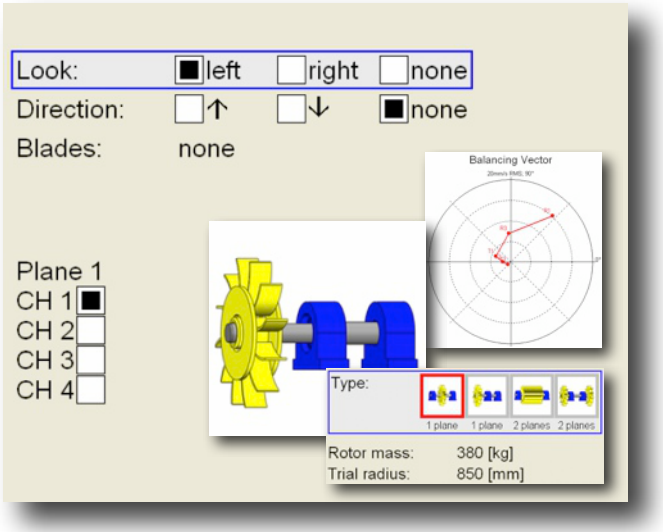
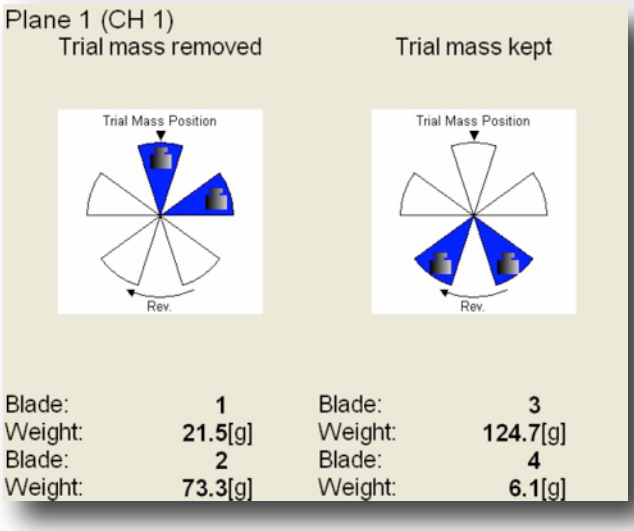


Fig. 7. El programa de equilibrado aconseja al técnico cuándo se puede realizar un equilibrado o cuándo no es posible y aporta los posibles motivos.

La tecla "Advisor" inicia una función de análisis automático que nos indica si la vibración se corregirá tras el proceso de equilibrado o no. Si la máquina está aquejada de otros problemas aparte del desequilibrio que puedan afectar a la corrección de éste, la función "Advisor" nos muestra por qué no se recomienda el proceso de equilibrado y los motivos principales de esta decisión. Por ejemplo, si encuentra más fuentes de vibración aparte de la propia del desequilibrio, o si no hemos colocado bien los sensores o definido bien los parámetros de medida, o si ha detectado holguras en la máquina o su anclaje, o si la velocidad de giro, la amplitud o la fase de la vibración no son estables, etc.



Fig. 8. En función de la geometría del rotor, el programa de equilibrado del equipo PRE5140 nos recomienda equilibrar en uno o dos planos.

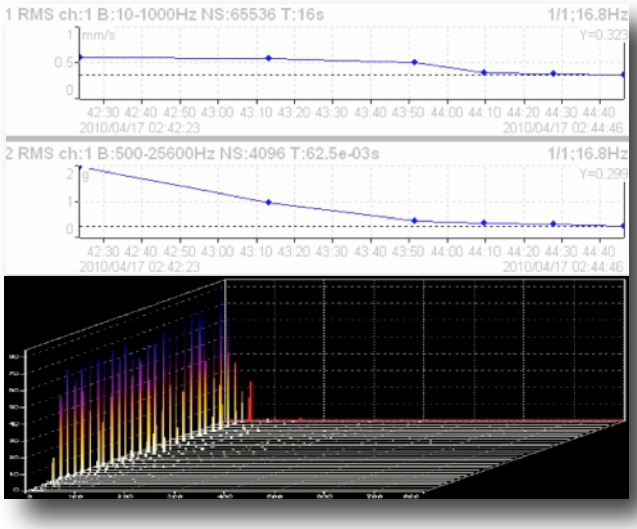


Las medidas en cuatro canales simultáneos reducen considerablemente el tiempo empleado en el equilibrado.

Una vez se llega al final del equilibrado y tras la medida final de verificación, la pantalla nos muestra el grado de equilibrado según la norma ISO 1940-1:2003.

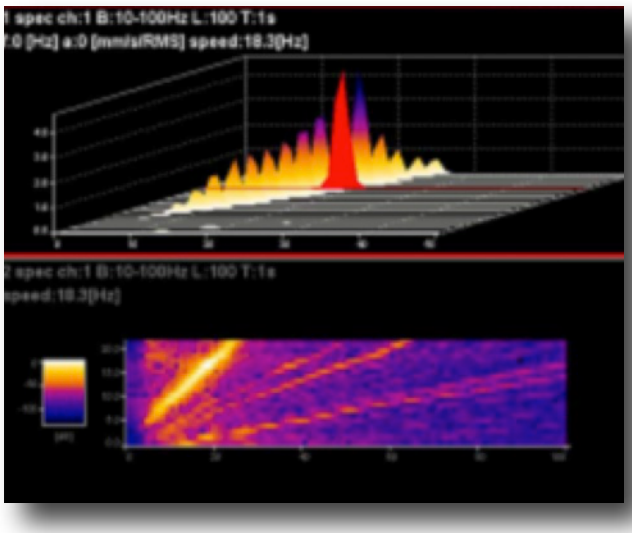
Fig. 9. Hayamos decidido dejar puesta la masa de prueba o eliminarla, el programa de equilibrado nos indica cuánta masa poner o quitar en cada pala del rotor.

Análisis de arranques y paradas (run-up&coast-down)



La función de registro de arranques y paradas de maquinaria también está presente en el analizador avanzado de maquinaria PRE5140. Mediante este módulo se pueden registrar los arranques o paradas de maquinaria para guardar de manera automática un conjunto de medidas espaciadas por un incremento en la velocidad de giro (por ejemplo cada 10 rpm) o cada intervalo de tiempo prefedinido.

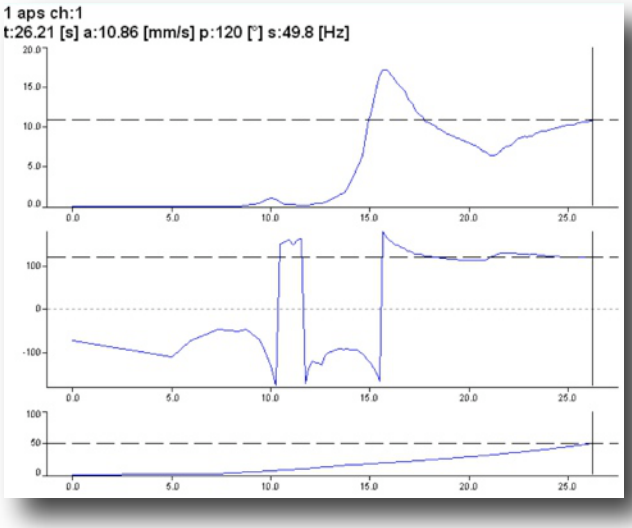
Fig. 10. Mediante el módulo de análisis de arranques y paradas podemos identificar facilmente las velocidades críticas de una máquina.



El resultado tras una medición con este módulo es una serie de medidas que nos permite analizar las velocidades críticas de una máquina y las consecuencias de las amplitudes y cambios en estos datos.

Mediante los diagramas de Bodé, Nyquist y el Espectro en Cascada, el analista puede identificar las velocidades de la máquina en las que la amplitiud de la vibración es mayor y cambia la fase de la vibración, lo cual sirve para identificar las velocidades críticas.

Fig. 11. El módulo de análisis y paradas dispone del diagrama de Campbell coloreado.



Todas estas funciones se aplican con la potencia de los cuatro canales simultáneos más el tacómetro, con la excelente frecuencia de muestreo y elevada velocidad de proceso del equipo PRE5140 para facilitar al analista sus capacidades para el diagnóstico.

Fig. 12. La representación de la vibración y la fase con respecto a la velocidad de giro permite identificar las velocidades críticas.

Control de la lubricación

Existe una creciente demanda de instrumentos capaces de verificar la lubricación de rodamientos y su estado. Cada máquina tiene en sus especificaciones la cantidad de grasa en gramos que ha de añadirse a cada rodamiento después de un periodo de horas de funcionamiento definido. Una de las tareas de mantenimiento es revisar regularmente todos los puntos de lubricación y mantener el lubricante en niveles adecuados. La carencia o exceso de grasa lubricante son perjudiciales para los rodamientos. El resultado es siempre un calentamiento excesivo del rodamiento y como consecuencia la pérdida de sus propiedades de dureza, lo cual acelera su desgaste. Cada punto de lubricación tiene definido un intervalo de tiempo de relubricación (en horas de servicio) y también la cantidad de lubricante que debe reponerse. Esta forma de control de lubricación tiene una desventaja importante. La cantidad de lubricante que en realidad necesita un rodamiento no es algo fijo, sino que cambia a lo largo de su vida útil. Por ejemplo, una máquina nueva necesita relubricarse en periodos más cortos. Otros parámetros como la carga, velocidad de giro, temperatura ambiente... también afectan a la cantidad necesaria para la relubricación. Está claro que lo ideal sería poder determinar el estado de un rodamiento y reponer sólo la cantidad necesaria. La lubricación controlada aumenta la vida útil del rodamiento y reduce los costos de lubricación y reparaciones.

La función “lubri” del analizador avanzado de maquinaria PRE5140 tiene por objeto la determinación de la cantidad de grasa necesaria para una correcta lubricación, al indicar al operador de lubricación cuándo la cantidad de grasa es suficiente. De esta manera se garantiza que no falta ni sobra grasa lubricante.

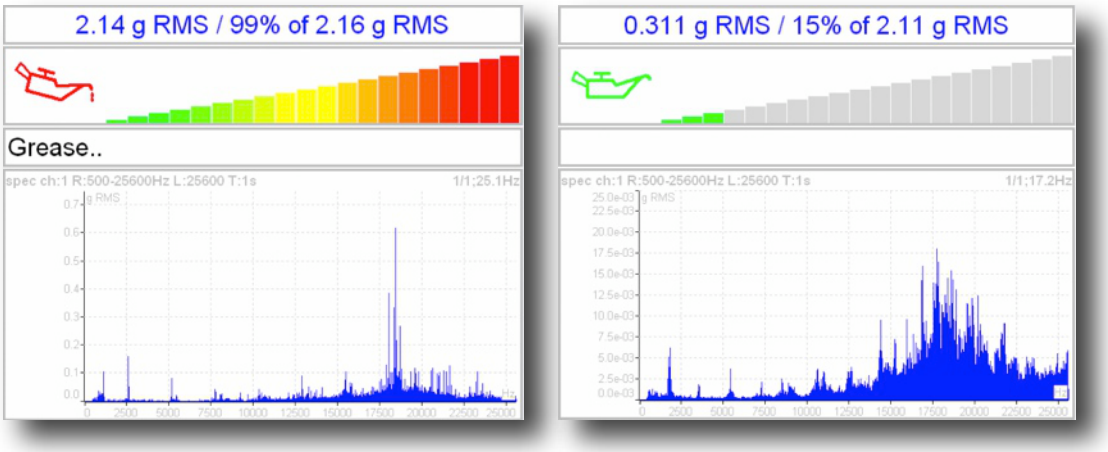


Fig. 13. A la izquierda se representa un rodamiento con una lubricación deficiente y a la derecha el mismo rodamiento tras añadir la cantidad de grasa adecuada para reducir el nivel de vibración en aceleración (téngase en cuenta que las escalas de amplitud en los espectros son diferentes).

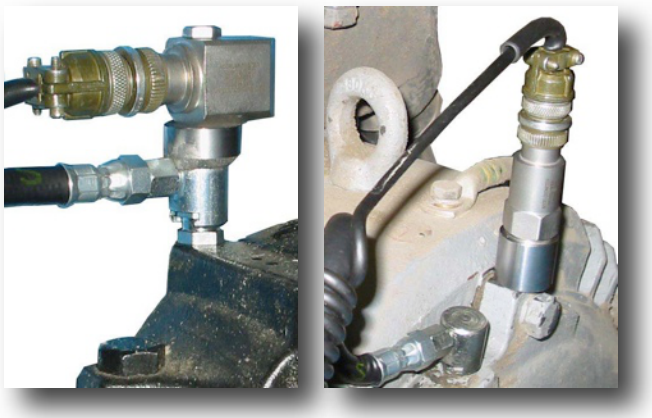


Fig. 14. Dos métodos para realizar las medidas de vibración para el control de la lubricación. A la izquierda el sensor se monta sobre la boquilla de la bomba de engrase. Este método ahorra tiempo, pero se pierde sensibilidad. A la derecha el sensor de vibración se acopla directamente al soporte del rodamiento, lo cual lleva más tiempo pero facilita una señal de mayor calidad.

Detección de fallos en rodamientos y ruedas dentadas que giran a velocidad lenta (tecnología ACMT)

Los fallos en los rodamientos y ruedas dentadas que giran a baja velocidad producen impactos con una energía mínima, que es muy difícil de detectar con herramientas de análisis de vibración convencionales. El analizador avanzado de maquinaria PRE5140 dispone de una función específica para la detección de fallos en rodamientos a velocidades lentas, la tecnología ACMT. Esta tecnología es excelente para detectar fallos en maquinaria cuyos ejes giran a velocidades lentas, como multiplicadoras de generadores eólicos, máquinas de papel, trenes de laminación, los mecanismos de transporte, molinos, agitadores, tornillos de arquímedes, coronas y todo tipo de reductoras.

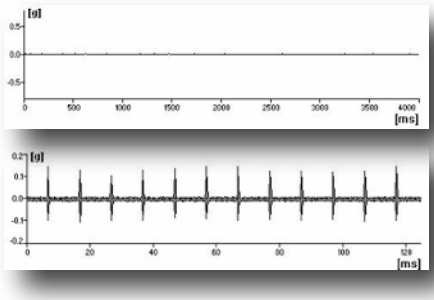


Fig. 15. Sin una técnica de filtrado potente los fallos en los rodamientos y engranajes en la maquinaria lenta pasan desapercibidos, como en la figura de la izquierda arriba. Con la tecnología ACMT se hacen perceptibles los impactos generados por una picadura en el aro exterior de un rodamiento Torrington 23132 a 60 rpm (1 Hz), como se aprecia en la imagen de la izquierza abajo.



Fig. 16. Si los fallos en máquinas con ejes a bajas velocidades de giro no se detectan a tiempo las consecuencias de estos fallos pueden llegar a destruir completamente la máquina, como sucede en las multiplicadoras de los generadores eólicos. Aparte del coste de la multiplicadora se han de añadir los costes del reemplazamiento de esta en localizaciones donde la intervención para el reemplazo es también muy costosa.

Software de gestión y análisis de datos PRE5140-SW

Todo buen colector analizador de vibraciones para mantenimiento predictivo necesita combinarse con un potente software predictivo para la gestión y el análisis de los datos registrados. El software predictivo PRE5140-SW es el complemento perfecto para el excelente analizador de vibraciones PRE5140. Este software se encuentra en versiones monopuesto, multipuesto y red.

El software predictivo PRE5140-SW destaca por su facilidad de uso y por disponer de todas las funciones que un analista de maquinaria necesita para poder realizar sus diagnósticos.

Además, dispondrá de actualizaciones gratuitas, compatibilidad con Windows 7 y Windows Server 2008 R2 in 64bit y compatibilidad de la base de datos con Microsoft SQL Server 2008.

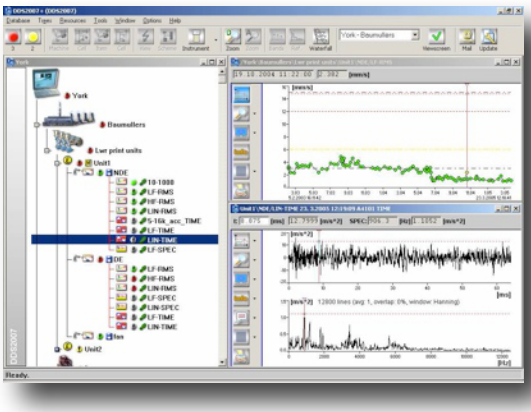


Fig. 17. La estructura de árbol facilita el acceso a los datos de los parámetros de supervisión y diagnóstico de la maquinaria y hace más sencilla la localización de los puntos en alarma. Además, la posibilidad de visualizar tendencias, espectros y ondas en la misma pantalla, reduce el tiempo que el analista ha de dedicar para elaborar sus informes de diagnóstico.



Fig. 18. La toma de datos en rutas predictivas a partir de sensores triaxiales reduce el tiempo total dedicado a medir cada máquina. Además, al acoplar el sensor triaxial mediante una base magnética, se ahorra el tiempo dedicado a atornillar y desatornillar el sensor de la base.



Fig. 19. El software PRE5140 dispone de ventanas con imágenes que identifican las máquinas para localizar las máquinas con alertas o alarmas, de una manera práctica e intuitiva.

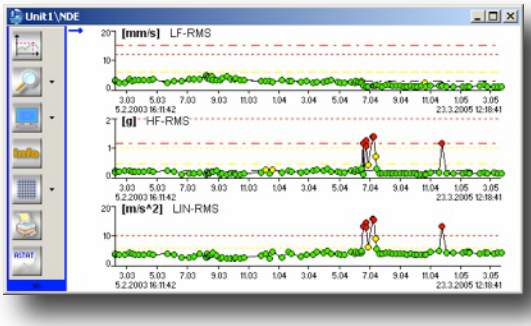


Fig. 20. Las tendencias de los parámetros de seguimiento se pueden representar en gráficas que identifican de forma clara las mediciones que han superado los límites de alerta o alarma establecidos para cada parámetro de supervisión. Además, se puede comparar la evolución en el tiempo de varios parámetros sobre la misma ventana.

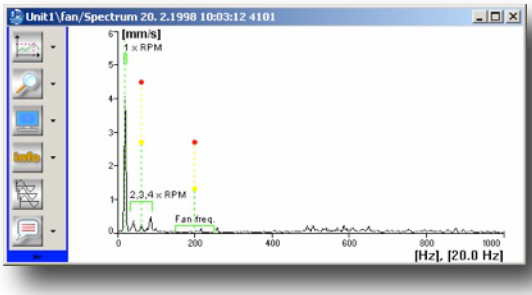


Fig. 21. Se pueden fijar alarmas en las bandas de frecuencia definidas para la supervisión de la máquina. Estas alarmas se marcan en las gráficas espectrales para delimitar la zona segura de la zona en alerta o peligro.

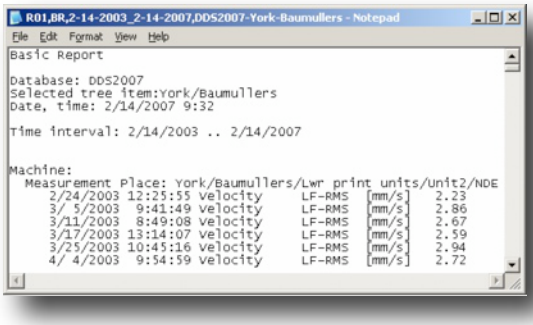


Fig. 22. Se pueden configurar informes de excepción o de puntos en alerta o alarma para indicar al analista de forma automática, dónde ha de encontrar las máquinas sobre las cuales ha de trabajar sus diagnósticos.

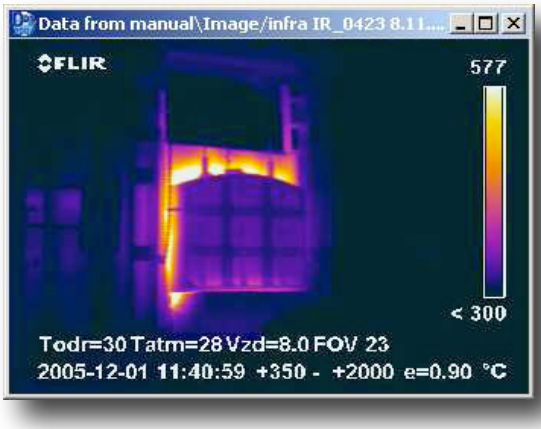


Fig. 23. El software predictivo PRE5140 puede archivar imágenes termográficas para documentar los fallos detectados mediante esta técnica predictiva. También admite imágenes de cualquier tipo que documenten los fallos encontrados con cualquier técnica, incluso con inspecciones visuales.

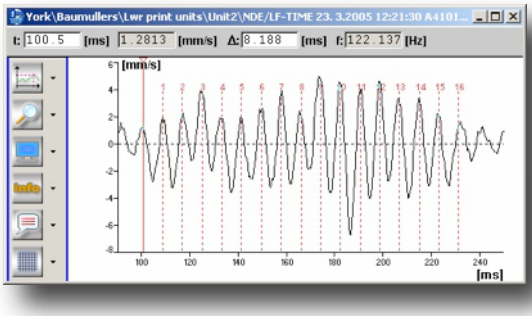


Fig. 24. Las herramientas para el análisis de ondas incluyen cursores con marcas periódicas y zooms de las zonas de interés.

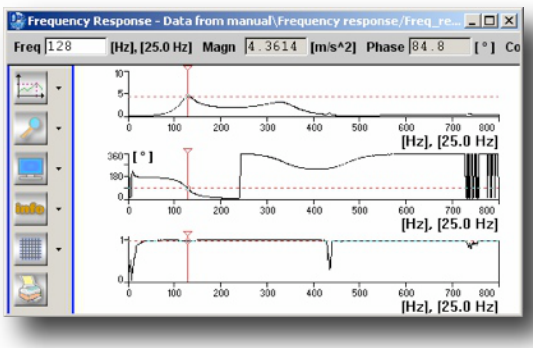


Fig. 25. La función de respuesta en frecuencia FRF se aplica en diagnóstico avanzado de estructuras.

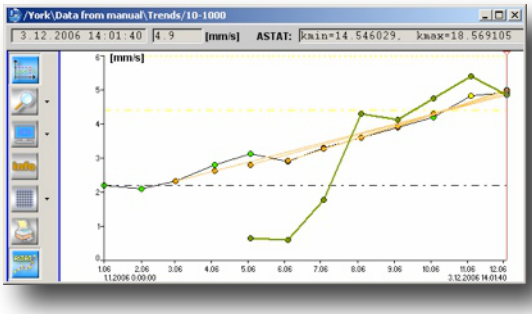


Fig. 26. Cuando se dispone de suficientes datos históricos, se pruede aplicar la función ASTAT (prognosis) para determinar la fecha en la cual se alcanzarán los niveles de alarma, así se pueden supervisar con mayor atención aquellas máquinas con fallos en desarrollo.

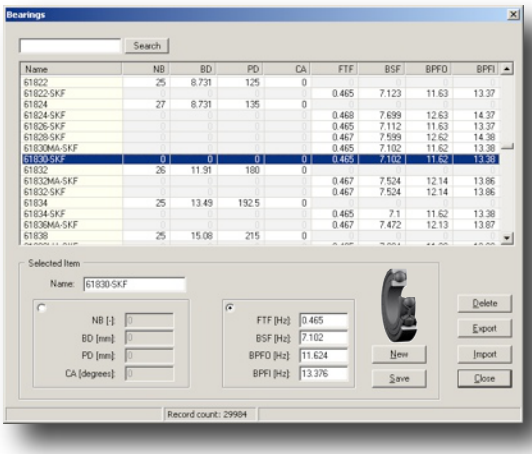


Fig. 27. El software predictivo PRE5140-SW incorpora una base de datos con las frecuencias de fallo de 30.000 rodamientos. Además, se pueden añadir las frecuencias de fallo de otros rodamientos.

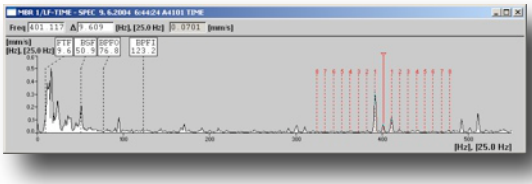


Fig. 28. Las frecuencias de fallo de los rodamientos se marcan sobre los espectros de vibración para indicar al analista las frecuencias donde ha de buscar coincidencias en los espectros en la máquina.

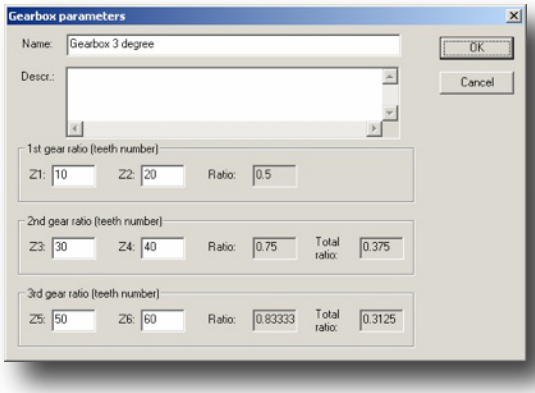


Fig. 29. Las frecuencias de engrane de las reductoras y multiplicadoras de hasta tres etapas son calculadas automáticamente a partir de los números de dientes de las ruedas dentadas.

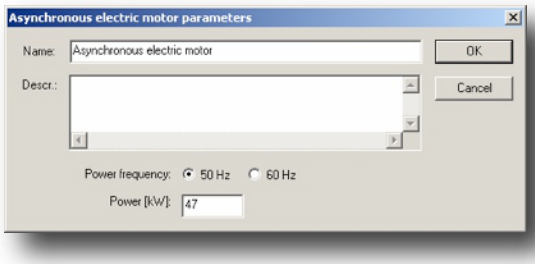


Fig. 30. El módulo de análisis de motores eléctricos asíncronos permite definir y marcar las frecuencias eléctricas del motor, como son la frecuencia de línea, la frecuencia de deslizamiento, bandas laterales de la frecuencia de deslizamiento sobre la frecuencia de línea, frecuencia de fallo de excentricidad estática, frecuencia de fallo de excentricidad dinámica...

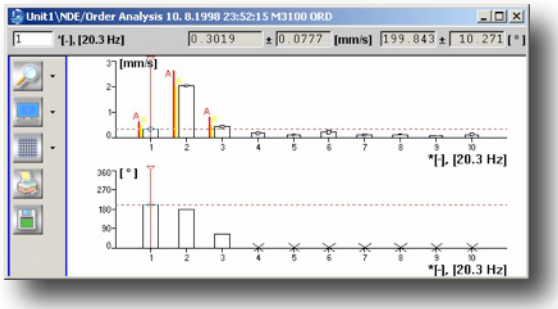


Fig. 31. La gráfica para el rastreo de órdenes identifica la amplitud de cada armónico de la velocidad de giro y su ángulo de fase en diagramas superpuestos.

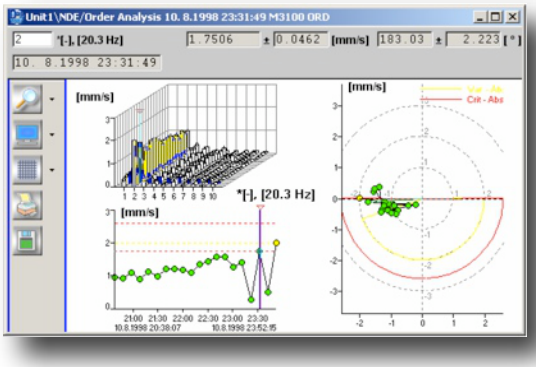


Fig. 32. Las alarmas puden configurarse incluso en el diagrama polar, para alertar de cambios no sólo en la amplitud de la vibración, sino también en su fase.

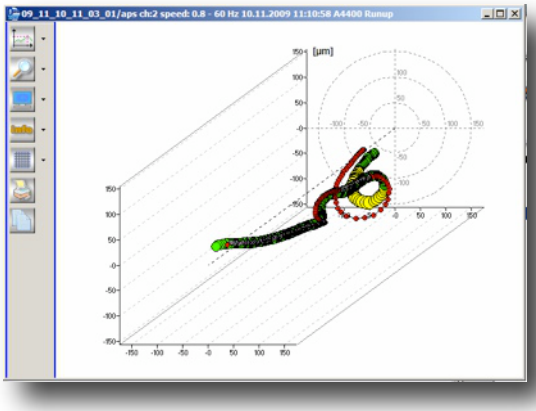


Fig. 33. El diagrama polar 3D se puede configurar para que el tercer eje sea el tiempo o la velocidad de giro. La gráfica "the tube" indica las alarmas sobre la misma gráfica.

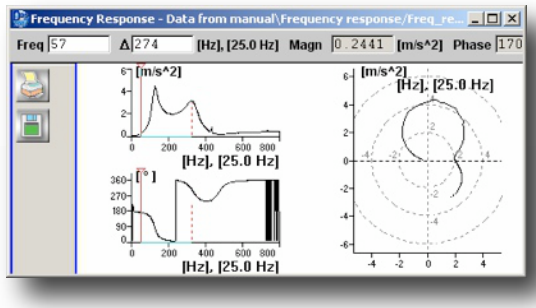


Fig. 34. Los diagramas de Bode y Nyquist se aplican al estudio de las velocidades críticas de las máquinas de eje flexible (turbomáquinas) u otras máquinas que funcionan por encima de sus velocidades críticas, como las máquinas instaladas sobre camas de muelles.

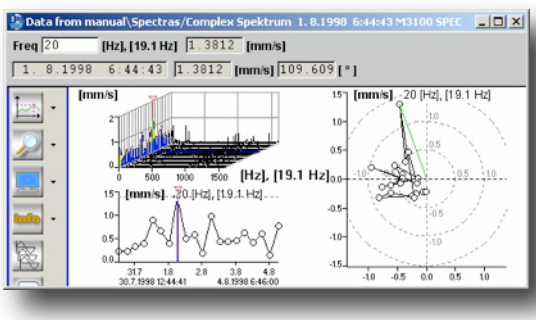


Fig. 35. Las gráficas de espectros en cascada, diagramas polares y tendencias de parámetros puden representarse en la misma ventana.

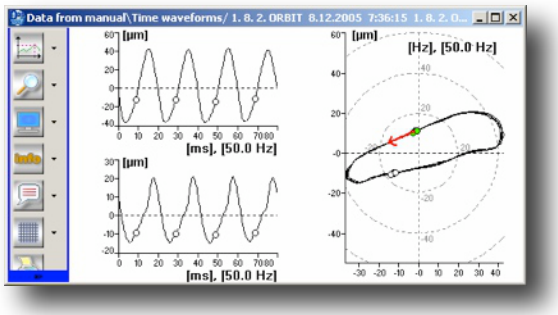


Fig. 36. Las órbitas se componen a partir de las sañales de vibración de las sondas de desplazamiento de los cojinetes lisos típicos en turbomaquinaria. Las órbitas pueden filtrarse para visualizar la órbita del 1X, 2X...

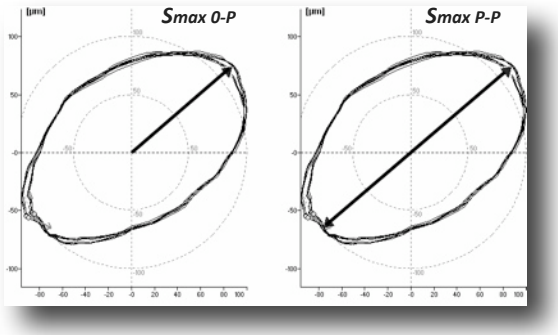


Fig. 37. La determinación del Smax a partir de la vibración de las sondas de desplazamiento instaladas con un desfase de 90º entre sí.

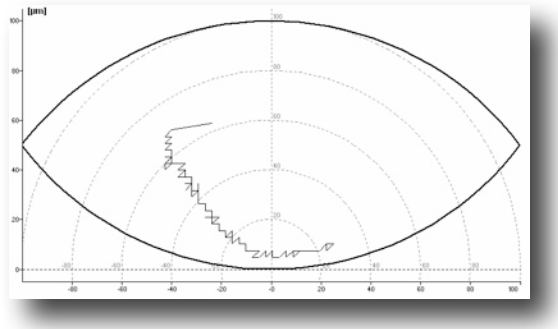


Fig. 38. La línea central de eje (shaft center line) marca la posición del eje con respecto al cojinete. Se define una zona donde es normal encontrar el eje, de manera que si se sobrepasa el límite establecido, o bien se están produciendo roces, o bien las medidas no se están tomando de la manera correcta por fallos en los sensores o en su configuración.

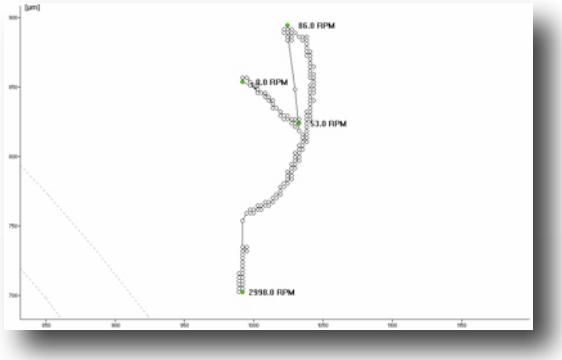


Fig. 39. El diagrama APS (amplitude-phase-speed) polar 3D añade el eje del tiempo para una mejor comprensión de los cambios de la amplitud y la fase.

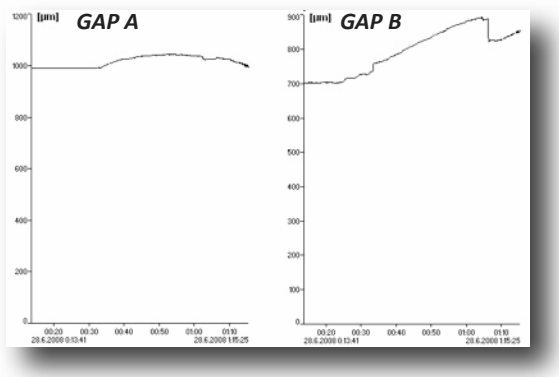


Fig. 40. La medida del GAP de las sondas de desplazamiento a lo largo del tiempo indica fallos de la sonda o de cambios en importantes en los cojinetes.

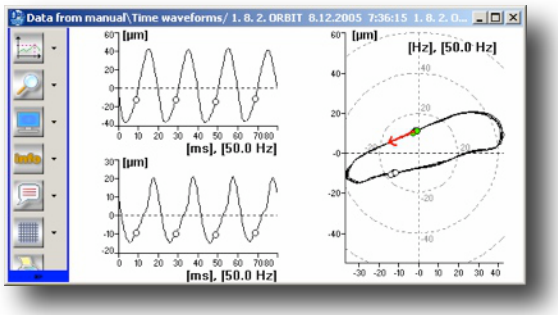


Fig. 36. Las órbitas se componen a partir de las sañales de vibración de las sondas de desplazamiento de los cojinetes lisos típicos en turbomaquinaria. Las órbitas pueden filtrarse para visualizar la órbita del 1X, 2X...

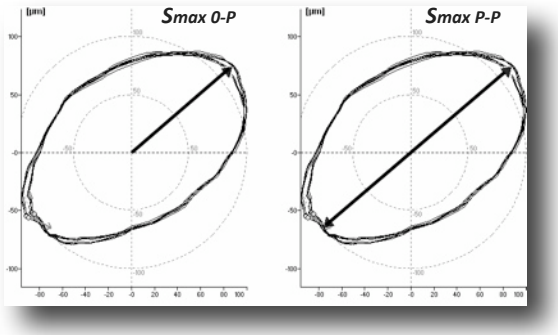


Fig. 37. La determinación del Smax a partir de la vibración de las sondas de desplazamiento instaladas con un desfase de 90º entre sí.

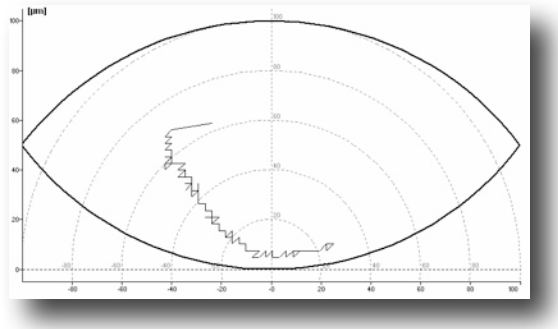


Fig. 38. La línea central de eje (shaft center line) marca la posición del eje con respecto al cojinete. Se define una zona donde es normal encontrar el eje, de manera que si se sobrepasa el límite establecido, o bien se están produciendo roces, o bien las medidas no se están tomando de la manera correcta por fallos en los sensores o en su configuración.

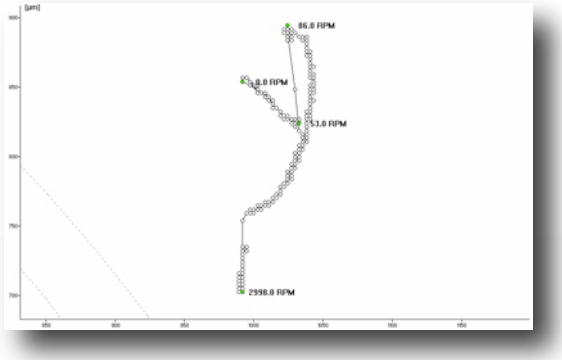


Fig. 39. El diagrama APS (amplitude-phase-speed) polar 3D añade el eje del tiempo para una mejor comprensión de los cambios de la amplitud y la fase.

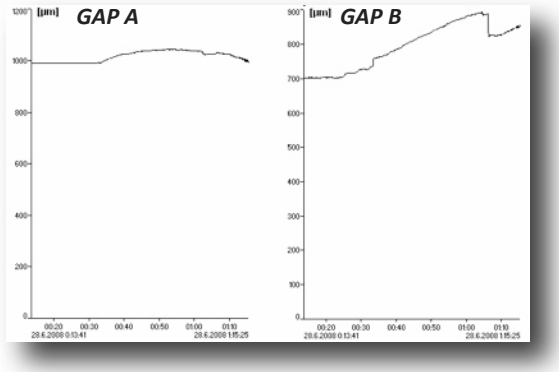


Fig. 40. La medida del GAP de las sondas de desplazamiento a lo largo del tiempo indica fallos de la sonda o de cambios en importantes en los cojinetes.

Formación

Preditec/IRM ofrece la formación necesaria para sacar el máximo rendimiento al sistema predictivo PRE5140. Los cursos recomendados para este fin son:

- Curso práctico de manejo avanzado de analizadores de vibraciones
- Mantenimiento Predictivo y Fiabilidad. Las mejores prácticas para mantener la salud de los activos.
- Curso de certificación de analista de vibraciones Categoría I según ISO-18436-2
- Curso de certificación de analista de vibraciones Categoría II según ISO-18436-2
- Diagnóstico de averías en maquinaria: Resolución de casos prácticos según metodología ISO-18436-2
- Curso Análisis y Diagnóstico de Vibraciones en Turbomaquinaria



Fig. 41. Preditec/IRM dispone del programa formativo en análisis de maquinaria por vibraciones, mantenimiento predictivo y temas relacionados más completo que se ofrece actualmente en Europa.

Soporte técnico

Preditec/IRM, compañía líder en España en servicios y tecnologías para el mantenimiento predictivo cuenta con el equipo humano y los medios necesarios para soportar técnicamente sus tecnologías predictivas.

El soporte y mantenimiento del software predictivo y los equipos portátiles puede contratarse según coberturas Básica o Premium.

Consulte las coberturas de cada contrato de soporte o mantenimiento en:
www.preditec.com/servicios/



Fig. 42. El soporte técnico que ofrece Preditec/IRM para el sistema predictivo PRE5140 es fundamental para garantizar la operatividad del sistema.

Preconcerto, Predictive Maintenance Manager

Preconcerto es un servicio de alto valor añadido ofrecido como modelo SaaS (Software as a Service) que permite gestionar la información generada por las técnicas predictivas para aplicar la estrategia predictiva en el mantenimiento de la forma más rápida y eficiente. En esencia convertimos datos existentes en diferentes formatos y procedentes de múltiples tecnologías en información valiosa para el gestor de mantenimiento.

Infórmese sobre Preconcerto en:
www.preconcerto.com



Fig. 43. Preconcerto es la manera más rápida y segura de establecer la estrategia predictiva en el mantenimiento de su planta industrial.

Accesorios opcionales

El analizador PRE5140 puede combinarse con multitud de accesorios, aparte de los incluidos en el paquete básico, para ampliar su funcionalidad:

- Sensor acelerómetro triaxial. Para reducción de tiempo de recolección de datos en rutas predictivas.
- Tacómetro. Para medidas de fase, órdenes, equilibrado en campo.
- Lámpara estroboscópica. Para medidas de fase.
- Pinza amperimétrica. Para el estudio del circuirto del rotor en motores eléctricos.
- Micrófono. Para análisis de ruido.
- Presión dinámica. Para análisis dinámico de la señal de la presión en motores y compresores alternativos.
- Pirómetro. Para rutas predictivas de temperatura.



Fig. 44. Pinza amperimétrica compatible con el analizador PRE5140.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL COLECTOR ANALIZADOR PRE5140

Inputs:

Dynamic Channels (AC)
Number of synchronous parallel channels (AC): 4 AC
Frequency range: max 76800 Hz (196 kHz sampling frequency)
Input range: +/- 12V (only one range, no gains)
Measurement timing: fully synchronous
A/D Resolution: 24 bit input, 64 bit double floating point internal precision
(no gain procedures used !)
Dynamic range: 120 dB
Channel configuration: voltage or ICP (individually for every channel)
Input protection: up to 30 V
Input impedance: 100 kOhm
Input type: acceleration, velocity, displacement, any non-vibration AC voltage
Integration: single, double fully digital integration
2D Processing: axis rotation according sensor mounting
Accuracy: < 0.5 %
ICP drive: 18 V, 3.8 mA
High pass filter: 1Hz -12800 Hz (user definition)
Low pass filter: 25Hz -76800 Hz (user definition)
Connector: Binder 712 series

Tacho Channel
Number: 1 independent tacho input
Speed range: 0,8 Hz - 1000 Hz
Input impedance: 80 kOhm
Input type: voltage
Input range: + 10V (only one range, no gains)
+/-30V (tacho signal + DC) with optional tacho signal converter
Accuracy: <0.5 %
Trigger level: 0.1 -9.9 V, user defined
Input protection: up to 48 V
Connector: Binder 712 series

Static Channels (DC or 4-20mA)
Number: 4 DC or 4-20mA (has to be specified in order)
Input range: +/- 24 V or 4-20mA
Input impedance: 100kOhm (VDC), 250 Ohm (4-20mADC)
A/D Resolution: 12 bit input
Accuracy: 0.1% fsd
Input protection: up to 30 V

Measurement Functions
Data Analysis Speed: 0.25 sec for 25600 lines FFT spectrum
Amplitude Units: Metric, Imperial (English) or user programmable
Frequency Units: Hz, CPS, RPM, CPM, Orders
Amplitude scale: Acceleration, Velocity, Displacement, User defined
Scaling: Linear or Log, both X and Y axes
Cursor: Single (optional Harmonic, Sideband)
Triggering: free run, tacho
amplitude (positive or negative)
external (voltage)
Signal Range: full, No Auto ranging
Data acquisition: TRUE RMS, TRUE PEAK, TRUE PEAK-PEAK overall or band values
user defined high and low pass filters for band measurement
time waveforms (65 536 samples max)
real-time FFT
3D graphs (waterfall, cascade)
order analysis
Amplitude + phase values on speed frequency
speed measurement
process static DC or 4-20mA values
Envelope demodulation
ACMT procedure for low speed machines bearings
Time waveform samples: 256 - 65536
Waveform length: max 1024sec
Spectrum ranges: 25 - 76800 Hz
Spectrum lines: 100 - 25600
Spectrum Peaks listing: yes
Spectrum units: RMS, 0-P and P-P
Windows: Rectangular, Hanning, Exponential, Transient
Order analysis parameters: 1/2 - 10th order
Averaging: 1-255
Overlap: yes
Smax, Gap and Centerline displays for proximity sensors: yes

Recording:
Sampling frequency: user defined in range 64Hz - 196 kHz
Record length example: 3 GB for 1 hour record with 64kHz sampling (4ch AC+4ch DC+1ch tacho signal)
(160GB memory enables over 50 hours of full 64kHz recording)

Balancing:
Planes: 1 or 2
Balancing Advisor for automatic fault detection: yes
Balancing Quality factor according ISO1940: yes
Balancing vector graph for balancing process reporting: yes
Balancing Report: yes
Trim function: yes
Vector split (e.g. to blades positions): yes
Manual entry: yes
Intuitive graphic user interface: yes
Trial mass: get out or leave in

General:
Processor: Atom 1.6 GHz
RAM: 1 GB
Display: LCD colour 174 x 127 mm (8.5" diagonal), 800x600 resolution
Memory: 120 GB
Interface: USB
Powering: Li-Ion long life battery pack (more than 5 hours of measurement)
Operating temperature: -10 °C - +50 °C, 15°F-120°F
EMC: CE tested
Dimensions: 280 x 205 x 55 mm
Weight: 2.5 kg

Preditec/IRM
Proción, 7 - Ed. América II
28023 Madrid (España)
Tel: +34 916 121 163
Fax: +34 976 362 340
info@preditec.com

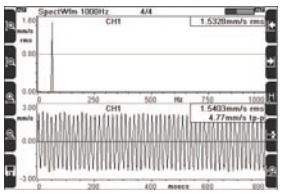
Ed. 20120611 Rev.2

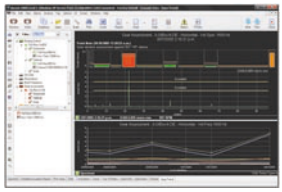


PREDYCSA
PREDICTIVO Y CONTROL, S.A.

Av. Ribera de Axpe, 11 B – Local 101
48950 ERANDIO (Bizkaia)
☎ +34 94 431 90 15
Fax +34 94 430 00 91
E-mail: info@predycsa.com
http://www.predycsa.com

vb5™







THE ECONOMICAL SOLUTION FOR THE PROACTIVE MAINTENANCE PROFESSIONAL

The **vb5™** data collector is a single channel, route-enabled product that provides everything needed for cost effective data collection and analysis. Using this instrument maintenance professionals are able to easily take recordings with up to 6400 lines of resolution and greater than 95dB of dynamic range, and all at a low price that represents exceptional value for money. The **vb5** instrument includes the powerful **Ascent®** software in the purchase price.

Ascent Level 1 enables you to program the instrument with thousands of separate machine definitions covering a number of route choices. A library of over 300 customizable parameter sets is also available enabling a vast array of measurement options.

Ascent Level 1 software:

- Route enabled - build routes in **Ascent** software and send to the instrument
- CBDb - Commtest Bearing Database with over 30 000 bearings

Enhanced instrument functionality

- 1 channel recordings
- 6400 line FFT resolution
- 40 kHz Fmax
- 1 GB memory – virtually unlimited spectra storage
- ≥ 95 dB dynamic range
- Spectrum and Waveform recordings
- Large, high resolution (HVGA) backlit LCD
- "Commtest Care" including 5 year warranty on the instrument hardware

vbSeries®



commtest
The Revolution

vbSeries®



Basado en el confiable historial del los analizadores y balanceadores portátiles clásicos vbSeries®, los completamente nuevos colectores de datos, analizadores y balanceadores vbSeries ha sido re-diseñados desde cero para ofrecer tecnología de punta en relación a la confiabilidad, precisión y fácil manejo.

- Ergonomía mejorada del equipo para la recolección de datos
- Pantalla LCD de alta resolución (HVGA) con luz posterior
- Operación con ambas manos. (izquierda y derecha)
- Multi-Canal para captura en ruta (colectores y analizadores solamente)
- 1 GB de Memoria - Almacenamiento de formas de onda y espectros virtualmente ilimitado.
- 10 horas de vida de la batería
- Ligero, carcaza robusta con aislamiento IP65
- Soporta sensor acoplado en CD
- 12,800 líneas de resolución (max)
- 40 kHz Fmax
- 1, 2 ó 4 canales dependiendo del modelo.
- Compatibilidad con Triaxiales (vb6™ y vb8™ solamente)
- CSA Clase I, División 2 Ambientes Peligrosos
- Puerto USB integrado para transferencia de datos a memoria USB externa

Elija el modelo mas adecuado para usted. Nuestra gama de diversos instrumentos le permite seleccionar un conjunto apropiado de características a un precio realmente atractivo. Elija un modelo adaptado a sus necesidades con la mayor tranquilidad proporcionada por nuestra sólida garantía de 5 años.

	Colectores Datos	Analizadores Datos	Balanceadore
Sencillo	vb5	vb7	vbBalancer
De Lujo	vb6	vb8	vbBalancer+

vb8™









*La incorporación de "El Método Probado" esta disponible exclusivamente en el software Ascent®

EL PAQUETE COMPLETO DE ANÁLISIS DE VIBRACIONES

El analizador de **vb8**™ es un único y sofisticado instrumento lleno de funciones, sin embargo, sigue siendo intuitivo y flexible en operación, lo suficiente para adaptarse a cada nivel de los analista de vibraciones, desde novatos hasta expertos.

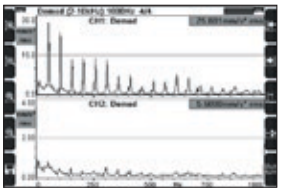
El software incluido **Ascent**® contiene la experiencia colectiva de expertos por más 25 años en análisis profundo de fallas en máquinas.

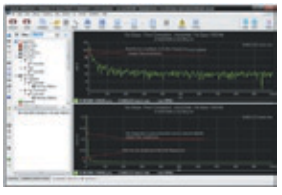
1. Los usuarios sin experiencia o sin ningún historial previo de datos de vibración, pueden ahora establecer un programa de mediciones utilizando los valores de referencia ya verificados por los estándares ISO y por "El Método Probado" de la Asociación de Técnicos.*
2. Los usuarios experimentados pueden ahora generar automáticamente útiles bandas de alarmas espectrales, en lugar de solo confiar en alarmas generales básicas o realizando conjeturas sobre las bandas espectrales.
3. Los analistas veteranos pueden ahora evaluar objetivamente y comparar sus resultados frente a hechos históricos comprobados.

Software **Ascent**® Nivel 2:
- Medición de parámetros completamente automatizado y configuración de alarmas basado en "El Método Probado" de la Asociación de Técnicos.
- Estándares ISO 2372 y 10816

Funcionalidad de Instrumento Mejorada
- 4 canales de grabación simultánea.
- Habilitado para Triax
- 12,800 línea de resolución FFT
- 40 kHz Fmax
- 1 GB de Memoria - Almacenamiento de formas de onda y espectros virtualmente ilimitado.
- Pantalla LCD de alta resolución (HVGA).
- Diseño instrumento cómodo y ergonómico
- Soporta aceleración, velocidad, desplazamiento, acoplamiento CD, sensores con salida de corriente y voltaje (con acoplamiento de AC y CD)
- Balanceo en 2 planos con hasta 4 sensores (captura simultánea)
- El sistema de captura único de Commtest el 6Pack™: toma hasta 12 mediciones simultaneas (HF, LF y demodulación en espectro y forma de onda) a través de 2 canales.
- Parámetros de entrada numéricos con capacidad de alarma y tendencias en el software de Ascent®
- Actualizable usando el sistema 'Proflash' y actualización gratuita de firmware por cinco años.

vb7™







FÁCIL Y EFICIENTE CON CAPACIDAD DE DOS CANALES

El analizador **vb7**™ le ofrece la potencia y conveniencia de usar dos canales para mediciones y para balanceo en dos planos. Sus funciones de balanceo permiten el rápido diagnóstico y corrección del desequilibrio dinámico, la forma más común de desequilibrio. La combinación de precisión del **vb7**, operación intuitiva, fácil uso y sorprendente capacidad de almacenamiento, garantiza que el **vb7** le entregará un retorno de inversión excelente. El instrumento **vb7** incluye el poderoso software Ascent® en el precio de compra.

El Ascent Nivel 2 le permite programar el instrumento con miles de definiciones de equipo diferentes que abarcan una serie de opciones de ruta. Una librería de más de 300 juegos de parámetros personalizables también está disponible, lo que permite una amplia gama de opciones de medición.

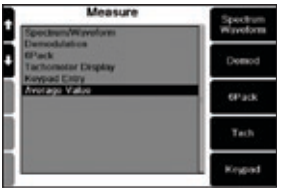
El software **Ascent** Nivel 2:

- Habilitado para Rutas - defina rutas en el software Ascent y envíelas al instrumento.
- "CBDb" - Base de datos Commtest de rodamientos con más de 30,000 rodamientos.
- Órbita y diagramas de Bode.
- Herramienta de análisis de formas de Onda - perfecta para los grandes usuarios
- El usuario puede diseñar reportes en formato SQL/ HTML - reportes con flexibilidad ilimitada
- Creación y ajuste de alarmas estadísticas.

Funcionalidad del Instrumento mejorada

- Ergonomía optimizada para recorridos de recolección de datos
- 2 Canales de captura simultánea
- Operación con mano izquierda o derecha
- Amplio rango de medición: 1000 g. 25 000 mm/s, 2500mm
- Balanceo en 2 planos
- Rango dinámico de ≥ 95 dB.
- 6400 líneas de resolución FFT
- 40 kHz Fmax
- 1 GB de Memoria - Almacenamiento de formas de onda y espectros virtualmente ilimitado
- Sensor de velocidad láser para captura automática de velocidad de maquina
- Modo de Tacómetro Keyphasor®
- 5 años de garantía en el hardware del instrumento

vb6™







CUATRO CANALES DE MEDICIÓN DE ALTA RESOLUCIÓN PARA EL MANTENIMIENTO PROACTIVO PROFESIONAL

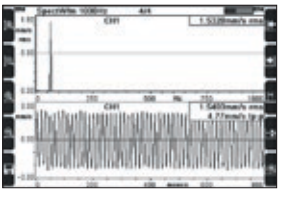
El colector de datos **vb6**™ es un producto de cuatro canales habilitado para rutas, que proporciona todo lo necesario para una recolección avanzada de datos en alta resolución. Este instrumento incluye una amplia gama de tipos de registros y mediciones con hasta 12,800 líneas de resolución. El **vb6** incluye el poderoso software **Ascent**® en el precio de compra.

Ascent Nivel 1 le permite programar el instrumento con miles de definiciones equipo diferente que abarcan una serie de opciones de ruta. Una librería de más de 300 juegos de parámetros personalizables también está disponible que permite una amplia gama de opciones de medición.

El Software **Ascent** Nivel 1:
- Habilitado para rutas - defina rutas en el software Ascent y envíelas al instrumento.
- CBDb - Base de datos Commtest de rodamientos con más de 30,000 rodamientos

Funcionalidad del instrumento mejorada
- 4 Canales de captura simultanea
- 12,800 líneas de resolución FFT
- 40 kHz Fmax
- Sensor de velocidad láser para captura automática de velocidad de maquina
- 1 GB de Memoria - Almacenamiento de espectros virtualmente ilimitado.
- Rango dinámico de ≥ 95 dB.
- Pantalla LCD de alta resolución (HVGA)
- Soporta sensores con voltaje de salida
- Registros definidos por el usuario de Temperatura, Presión, Flujo, Masa, Fuerza y Potencia.
- 5 años de garantía en el hardware del instrumento.

vb5™







LA SOLUCIÓN ECONÓMICA PARA EL MANTENIMIENTO PROACTIVO PROFESIONAL

El colector de datos **vb5**™ es un producto de un solo canal habilitado para rutas, que proporciona todo lo necesario para recolección y análisis de datos de una manera rentable. Haciendo uso de este instrumento, los profesionales de mantenimiento son capaces de obtener registros fácilmente con hasta 6,400 líneas de resolución y con un rango dinámico mayor de 95dB, y todo esto a un bajo precio que representa un valor excepcional por su inversión. El instrumento **vb5** incluye el poderoso software **Ascent**® en el precio de compra.

Ascent Nivel 1 le permite programar el instrumento con miles de definiciones equipo diferente que abarcan una serie de opciones de ruta. Una librería de más de 300 juegos de parámetros personalizables también está disponible que permite una amplia gama de opciones de medición.

El Software **Ascent** Nivel 1:

- Habilitado para rutas - defina rutas en el software Ascent y envíelas al instrumento.
- CBDb - Base de datos Commtest de rodamientos con más de 30,000 rodamientos

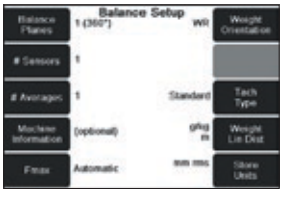
Funcionalidad del instrumento mejorada

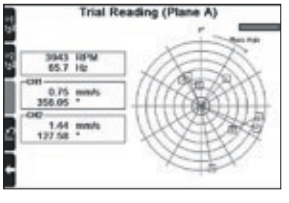
- 1 canal de captura
- 6,400 líneas de resolución FFT
- 40 kHz Fmax
- 1 GB de Memoria - Almacenamiento de espectros virtualmente ilimitado.
- Rango dinámico de ≥ 95 dB
- Captura de formas de onda y espectros
- Pantalla LCD de alta resolución (HVGA)
- 5 años de garantía en el hardware del instrumento.

vbBalancer+™









PAQUETE PARA CORRECCIÓN DE DESEQUILIBRIO DE CUATRO CANALES

Ligero y extremadamente portátil, los instrumentos **vbBalancer+**™ de 4 canales y el **vbBalancer**™ de 2 canales se pueden transportar fácilmente al sitio donde se encuentre cualquier máquina problemática. Sus 10 horas de vida de la batería y su memoria interna de 1GB le garantiza un progreso ininterrumpido, prácticamente elimina la necesidad de hacer una pausa con el fin de conectarse a una PC o la fuente de alimentación. El instrumento **vbBalancer** también cuenta con la legendaria garantía de Commtest de 5 años y apoyo gratuito de por vida como un estándar.

El desequilibrio causa altos niveles de estrés mecánico y vibraciones que son transferidas directamente a los rodamientos, resultando en una reducción proporcional de la vida útil de los mismos. Con algunos parámetros básicos, el instrumento **vbBalancer** calcula los niveles de desequilibrio permitido para garantizar que la maquinaria opere dentro del lineamiento internacional ISO 1940.

Configuración

La configuracion del intrumento **vbBalancer** es minima, rapida y facil. Solo unas pocas corridas de prueba son requridas, con o sin quitar sus pesos de prueba

Memoria

El instrumento **vbBalancer** almacena los datos de las corridas previas de balanceo. No hay necesidad de desperdiciar un tiempo valioso llevando acabo corridas de prueba en trabajos de balanceo repetidos o rutinarios.

Balanceo

El desequilibrio es procesado rápidamente y el monitor LCD y la interfase grafica amigable le indica la posición angular para la corrección del peso.

El instrumento **vbBalancer+** le permite el monitorear completamente con 4 sensores ambos ejes horizontal y vertical en cada rodamiento. Esta capacidad proporciona confianza en que el balanceo en cualquier eje no ha empeorado las vibraciones en el otro.

	RECOPILADORES DE DATOS		ANALIZADOR DE DATOS
ESPECIFICACIONES	**vb5**	**vb6**	**vb7**
Entrada del Sensor			
Canales (Simultáneos)	1	4	2
Sensores	Acelerómetro	Acelerómetro, Velocidad, Desplazamiento, Corriente, Voltaje	Acelerómetro, Velocidad, Desplazamiento, Corriente.
Rango de acoplamiento en CA	16V pico a pico	16V pico a pico	16V pico a pico
Rango de acoplamiento en CD	N/A	0 V a 20 V, -10 V a 10 V, -20 V a 0 V	0 V a 20 V, -10 V a 10 V, -20 V a 0 V
Conectores	BNC	BNC, LEMO	2x BNC
Conversión Análogo a Digital	Convertidor Análogo-Digital de 24-bits	Convertidor Análogo-Digital de 24-bits	Convertidor Análogo-Digital de 24-bits
Corriente de excitación del Sensor	0 mA o 2.2 mA (configurable), 24 V máximo	0 mA o 2.2 mA (configurable), 24 V máximo	0 mA o 2.2 mA (configurable), 24 V máximo
Detección del sensor	Advierte si esta en corto circuito ó desconectado	Advierte si esta en corto circuito ó desconectado	Advierte si esta en corto circuito o desconectado
Tacómetro			
Sensor			Sensor Láser con cinta reflejante esta incluido en paquete
Rango del Sensor Láser	10cm a 2m nominal	10cm a 2m nominal	10cm a 2m nominal
Otro tipo de sensores soportados	Contacto, Pulso TTL	Contacto, Pulso TTL, Keyphasor®	Contacto, Pulso TTL, Keyphasor®
Fuente de alimentación al sensor	5 V, 50 mA	5 V, 50 mA	5 V, 50 mA
Rango de pulsos TTL	3.5 V (4 mA) mínimo, 28 V (6 mA) máximo, estado apagado 0.8 V	3.5 V (4 mA) mínimo, 28 V (6 mA) máximo, estado apagado 0.8 V	3.5 V (4 mA) mínimo, 28 V (6 mA) máximo, estado apagado 0.8 V
Umbral Keyphasor®	N/A	13 V ± 1 V	13 V ± 1 V
Rango de velocidad	30 RPM a 300 000 RPM (0.5 Hz a 5 kHz)	30 RPM a 300 000 RPM (0.5 Hz a 5 kHz)	30 RPM a 300 000 RPM (0.5 Hz a 5 kHz)
Indicación de Parámetros			
Niveles Máximos	›1000 g (10 000 m/s2), ›1000 in/sec (25 000 mm/s), ›100 in (2500 mm)	›1000 g (10 000 m/s2), ›1000 in/sec (25 000 mm/s), ›100 in (2500 mm), ›10 000 Amperes	›1000 g (10 000 m/s2), ›1000 in/sec (25 000 mm/s), ›100 in (2500 mm), ›10 000 Amperes
Rango de señal dinámica	›95 dB	›95 dB	›95 dB
Distorsión Armónica	Menor que -70dB típico	Menor que -70dB típico	Menor que -70dB típico
Unidades	g ó m/s2, in/s ó mm/s, mil ó mm ó µm adB, vdB	g ó m/s2, in/s ó mm/s, mil ó mm ó µm adB, vdB, amperes y definido por el usuario	g ó m/s2, in/s ó mm/s, mil ó mm ó µm adB, vdB, amperes
Magnitud y Cursores	Valor global RMS, cursores duales, armónicos	Valor global RMS, cursores duales, armónicos	Valor global RMS, cursores duales, armónicos
Precisión	± 1% (0.1 dB)	± 1% (0.1 dB)	± 1% (0.1 dB)
Respuesta a la frecuencia	± 0.1 dB desde 10 Hz a 15 kHz; ± 3 dB desde 1 Hz a 40 kHz	± 0.1 dB desde 10 Hz a 15 kHz; ± 3 dB desde 1 Hz a 40 kHz	± 0.1 dB desde 10 Hz a 15 kHz; ± 3 dB desde 1 Hz a 40 kHz
Visualización Espectro			
Rangos de Fmax posibles	25, 50, 100, 125, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 800, 1000, 1200, 1600, 2000, 2500, 3000, 4000, 5000, 6000, 8000, 10 000, 15 000, 20 000, 30 000, 40 000 Hz	25, 50, 100, 125, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 800, 1000, 1200, 1600, 2000, 2500, 3000, 4000, 5000, 6000, 8000, 10 000, 15 000, 20 000, 30 000, 40 000 Hz	25, 50, 100, 125, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 800, 1000, 1200, 1600, 2000, 2500, 3000, 4000, 5000, 6000, 8000, 10 000, 15 000, 20 000, 30 000, 40 000 Hz
Rango de Fmin posible	0 a Fmax	0 a Fmax	0 a Fmax
Resolución	400, 800, 1600, 3200, 6400 líneas	400, 800, 1600, 3200, 6400, 12 800 líneas	400, 800, 1600, 3200, 6400 líneas
Escala de Amplitud	Aceleración, velocidad, desplazamiento	Aceleración, velocidad, desplazamiento, corriente o definido por el usuario	Aceleración, velocidad, desplazamiento o corriente
Tipos de Ventana	Hanning, rectangular	Hanning, rectangular	Hanning, rectangular
Traslape	(0, 12.5, 25, 37.5, 50, 62.5, 75, 87.5) %	(0, 12.5, 25, 37.5, 50, 62.5, 75, 87.5) %	(0, 12.5, 25, 37.5, 50, 62.5, 75, 87.5) %
Número de promedios	1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128	1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128	1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128
Tipos de promedios			
Anchos de Banda Demodulación			
Visualización Formas de Onda			
Número de muestras	1024, 2048, 4096, 8192, 16 384	1024, 2048, 4096, 8192, 16 384, 32 768	1024, 2048, 4096, 8192, 16 384
Escala de tiempo	10ms a 640 segundos	10 ms a 640 segundos	10 ms a 640 segundos
Promediacion Sincrónica con el tiempo.	N/A	N/A	1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128
Formas de onda de larga duración	N/A	N/A	Hasta 40 kHz Fmax (28 M muestras)

	BALANCEADORES		
vb8	**vbBalancer**	**vbBalancer+**	**OBSERVACIONES**
4	2	4	Muestreo simultaneo
Acelerómetro, Velocidad, Desplazamiento, Corriente, Voltaje	Acelerómetro	Acelerómetro, Velocidad, Desplazamiento	
16V pico a pico	16V pico a pico	16V pico a pico	Permite ± 8 V de variación en salida del sensor (± 80 g)
0 V a 20 V, -10 V a 10 V, -20 V a 0 V	N/A	N/A	Ejemplo: para medir entrehierro de proximitor
BNC, LEMO	2x BNC	BNC, LEMO	Característica de seguridad: Conector de desacoplamiento en línea
Convertidor Análogo-Digital de 24-bits	Convertidor Análogo-Digital de 24-bits	Convertidor Análogo-Digital de 24-bits	
0 mA o 2.2 mA (configurable), 24 V máximo	0 mA o 2.2 mA (configurable), 24 V máximo	0 mA o 2.2 mA (configurable), 24 V máximo	2.2mA requeridos para acelerómetro tipo ICP®
Advierte si esta en corto circuito o desconectado	Advierte si esta en corto circuito o desconectado	Advierte si esta en corto circuito o desconectado	
Sensor Láser con cinta reflejante esta incluido en paquete	Sensor Láser con cinta reflejante esta incluido en paquete	Sensor Láser con cinta reflejante esta incluido en paquete	El sensor se activa con reflexión del haz
10cm a 2m nominal	10cm a 2m nominal	10cm a 2m nominal	Depende del tamaño de la cinta reflejante
Contacto, Pulso TTL, Keyphasor®	Contacto, Pulso TTL	Contact, TTL pulse, Keyphasor®	Entrada ópticamente aislada
5 V, 50 mA	5 V, 50 mA	5 V, 50 mA	
3.5 V (4 mA) mínimo, 28 V (6 mA) máximo, estado apagado 0.8 V	3.5 V (4 mA) mínimo, 28 V (6 mA) máximo, estado apagado 0.8 V	3.5 V (4 mA) mínimo, 28 V (6 mA) máximo, estado apagado 0.8 V	
13 V ± 1 V	N/A	13 V ± 1 V	
30 RPM a 300 000 RPM (0.5 Hz a 5 kHz)	30 RPM a 300 000 RPM (0.5 Hz a 5 kHz)	30 RPM a 300 000 RPM (0.5 Hz a 5 kHz)	
›1000 g (10 000 m/s2), ›1000 in/sec (25 000 mm/s), ›100 in (2500 mm), ›10 000 Amperes	›1000 g (10 000 m/s2), ›1000 in/sec (25 000 mm/s), ›100 in (2500 mm)	›1000 g (10 000 m/s2), ›1000 in/sec (25 000 mm/s), ›100 in (2500 mm)	El límite efectivo es la sensibilidad del sensor y el voltaje de salida
›95 dB	›95 dB	›95 dB	
Menor que -70dB típico	Menor que -70dB típico	Menor que -70dB típico	Otras distorsiones y ruidos son menores
g ó m/s2, in/s ó mm/s, mil ó mm ó µm adB, vdB, amperes y definido por el usuario	g ó m/s2, in/s ó mm/s, mil ó mm ó µm adB, vdB	g ó m/s2, in/s ó mm/s, mil ó mm ó µm adB, vdB	0-pico, pico a pico ó RMS. Auto-escala por 1000x cuando es requerido, opciones US & SI para ambos abB & vdB
Valor global RMS, cursores duales, armónicos	Valor global RMS, cursores duales, armónicos	Valor global RMS, cursores duales, armónicos	Lecturas digitales en gráfica
± 1% (0.1 dB)	± 1% (0.1 dB)	± 1% (0.1 dB)	Para niveles de CD (%F.S.) & mediciones de CA a 100 Hz.
± 0.1 dB desde 10 Hz a 15 kHz; ± 3 dB desde 1 Hz a 40 kHz	± 3 dB desde 1 Hz a 5 kHz	± 3 dB desde 1 Hz a 5 kHz	Aceleración y velocidad. Del valor medido a 100 Hz
25, 50, 100, 125, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 800, 1000, 1200, 1600, 2000, 2500, 3000, 4000, 5000, 6000, 8000, 10 000, 15 000, 20 000, 30 000, 40 000 Hz	25, 50, 100, 125, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 800, 1000, 1200, 1600, 2000, 2500, 3000, 4000, 5000,Hz	25, 50, 100, 125, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 800, 1000, 1200, 1600, 2000, 2500, 3000, 4000, 5000,Hz	O de valores CPM equivalentes. O de órdenes desde 1X a 999X
0 a Fmax	0 a Fmax	0 a Fmax	El Instrumento vb lleva a 0 todas las líneas espectrales debajo de Fmin
400, 800, 1600, 3200, 6400, 12 800 líneas	800 Líneas	800 Líneas	3200 líneas máximo para mediciones en canal dual
Aceleración, velocidad, desplazamiento, corriente o definido por el usuario	Aceleración, velocidad, desplazamiento	Aceleración, velocidad, desplazamiento	Escalas lineales o log, escalamiento manual o automático
Hanning, rectangular	Hanning	Hanning	
(0, 12.5, 25, 37.5, 50, 62.5, 75, 87.5) %	50%	50%	Depende de Fmax y número de líneas.
1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128	4	4	Incrementa proporcionalmente el tiempo de muestreo
1024, 2048, 4096, 8192, 16 384	2048	2048	
10 ms a 640 segundos	160 ms a 32 segundos	160 ms a 32 segundos	U órdenes basadas desde 1 a 999 revoluciones
1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128	N/A	N/A	Solo disponible cuando es activado por tacómetro
Hasta 40 kHz Fmax (28 M muestras)	N/A	N/A	

	RECOPILADORES DE INFORMACION		ANALIZADORES DE INFORI
ESPECIFICACIONES	**vb5**	**vb6**	**vb7**
Características de registro			
Almacenamiento Información	1 GB	1 GB	1 GB
Estructura almacenamiento información	Carpetas / máquinas / puntos / localización / rutas	Carpetas / máquinas / puntos / localización / rutas	Carpetas / máquinas / puntos / localización / rutas
Tamaño máximo Carpeta	10,000 localidades de medición	10,000 localidades de medición	10,000 localidades de medición
Reportes Impresos directos	N/A	N/A	A través de Ethernet a una impresora PCL habilitada
Balanceo			
Planos	N/A	N/A	2 planos, 2 sensores
Rango de Velocidad	N/A	N/A	30 a 60,000 RPM
Tipos de medición	N/A	N/A	Aceleración, Velocidad, Desplazamiento
Colocación pesos	N/A	N/A	Angulo 0° a 360°, posición fija, arco de la circunferencia
Remover pesos de prueba	N/A	N/A	Sí, No
Entrada manual de datos	N/A	N/A	√
Almacenamiento	N/A	N/A	Contra las máquinas en una estructura de datos
Selección de canal	N/A	N/A	Uno o doble canal
Visualización y Comunicaciones			
Resolución	480 x 320 pixeles (HVGA) Pantalla de Cristal Líquido en tono de Grises	480 x 320 pixeles (HVGA) Pantalla de Cristal Líquido en tono de Grises	480 x 320 pixeles (HVGA) Pantalla de Cristal Líquido en tono de Grises
Área de visualización	4.6" x 3.1" (117 x 79) mm	4.6" x 3.1" (117 x 79) mm	4.6" x 3.1" (117 x 79) mm
Luz de fondo	LED Blanco, 4V, 100 Cd/m2	LED Blanco, 4V, 100 Cd/m2	LED Blanco, 4V, 100 Cd/m2
Comunicación con la PC	USB y Ethernet	USB y Ethernet	USB y Ethernet
Puerto USB	√	√	√
Cargador y Batería			
Tipo de Batería	Paquete de baterías de Lithium-Ion , 7.4V, 4500 mA/h	Paquete de baterías de Lithium-Ion , 7.4V, 4500 mA/h	Paquete de baterías de Lithium-Ion , 7.4V, 4500 mA/h
Tiempo de Vida (operación)	10 Horas	10 Horas	10 Horas
Tipo de cargador	Cargado interno, control automático	Cargado interno, control automático	Cargado interno, control automático
Corriente de carga	3 A nominal	3A nominal	3A nominal
Mecánico			
Tamaño	9.9" ancho x 5.8" Largo x 2.4" Alto (252 x 148x 60) mm	9.9" ancho x 5.8" Largo x 2.4" Alto (252 x 148x 60) mm	9.9" ancho x 5.8" Largo x 2.4" Alto (252 x 148x 60) mm
Peso	2.7 lb (1.2 kg) incluyendo la batería	2.7 lb (1.2 kg) incluyendo la batería	2.7 lb (1.2 kg) incluyendo la batería
Mediombiente			
Temperatura de Operación	14 °F a 122 °F (-10 a 50) °C	14 °F a 122 °F (-10 a 50) °C	14 °F a 122 °F (-10 a 50) °C
Temperatura de almacenamiento & Humedad	-4 °F a 140 °F (-20 a 60) °C, 95% RH	-4 °F a 140 °F (-20 a 60) °C, 95% RH	-4 °F a 140 °F (-20 a 60) °C, 95% RH
Compatibilidad Electromagnética (EMC)	EN61326	EN61326	EN61326
Robustez	IP65 / 4' (1.2 m) drop onto concrete / MIL-STD-810F-IV	IP65 / 4' (1.2 m) drop onto concrete / MIL-STD-810F-IV	IP65 / 4' (1.2 m) drop onto concrete / MIL-STD-810F-IV
Ambientes peligrosos	CSA Class I, Division 2 (Groups A, B, C, D)	CSA Class I, Division 2 (Groups A, B, C, D)	CSA Class I, Division 2 (Groups A, B, C, D)
Certificación	CE	CE	CE

	RECOPILADORES DE INFORMACION		ANALIZADORES DE INFORI
Tipos de Almacenamiento	**vb5**	**vb6**	**vb7**
Ruta habilitada			
Espectro/Forma de onda	√	√	√
6Pack	√	√	√
Ingreso por teclado	√	√	√
Valor promedio	√	√	√
Promedio Sincrónico con el Tiempo		√	√*
Prueba de impacto (Bump Test)			√
Paro/Arranque			√
Fase de Canal-Cruzado			√
Cross-channel phase			√

* Acceleration, Velocity, Displacement and Current units only.

Todas las especificaci

Ascent®, vbSeries®, vbOnline® and Commtest® son marcas registradas y vb5™, vb6™, vb7™, vb8™, vbBalancer™, vbBalancer+™ and 6Pack™ son marcas de Commtest Intruments Ltd.

© Commtest Instrume

CTI20836 JUN10

MACION	BALANCEADORES		
vb8	vbBalancer	vbBalancer+	OBSERVACIONES
1 GB	1 GB	1 GB	
Carpetas / máquinas / puntos / localización / rutas	Carpetas / máquinas	Carpetas / máquinas	No aplican límites, nombres de 50 caracteres
10,000 localidades de medición	10,000 localidades de medición	10,000 localidades de medición	
A través de Ethernet a una impresora PCL habilitada	A través de Ethernet a una impresora PCL habilitada	A través de Ethernet a una impresora PCL habilitada	Reportes de balanceo
2 planos, 4 sensores	2 planos, 2 sensores	2 planos, 4 sensores	
30 a 60,000 RPM	30 a 60,000 RPM	30 a 60,000 RPM	
Aceleración, Velocidad, Desplazamiento	Aceleración, Velocidad, Desplazamiento	Aceleración, Velocidad, Desplazamiento	
Angulo 0° a 360°, posición fija, arco de la circunferencia	Angulo 0° a 360°, posición fija, arco de la circunferencia	Angulo 0° a 360°, posición fija, arco de la circunferencia	Ejemplo: Pesos en las aspas del ventilador, distancia lineal alrededor de la circunferencia
Sí, No	Sí, No	Sí, No	Eliminando el peso se hace el calculo automático
√	√	√	Permite la re-entrada de trabajos de balanceo anteriores
Contra las máquinas en una estructura de datos	Contra las máquinas en una estructura de datos	Contra las máquinas en una estructura de datos	No aplican límites
Hasta 4 canales simultáneos	Uno o doble canal	Hasta 4 canales simultáneos	
480 x 320 pixeles (HVGA) Pantalla de Cristal Líquido en tono de Grises	480 x 320 pixeles (HVGA) Pantalla de Cristal Líquido en tono de Grises	480 x 320 pixeles (HVGA) Pantalla de Cristal Líquido en tono de Grises	
4.6" x 3.1" (117 x 79) mm	4.6" x 3.1" (117 x 79) mm	4.6" x 3.1" (117 x 79) mm	
LED Blanco, 4V, 100 Cd/m2	LED Blanco, 4V, 100 Cd/m2	LED Blanco, 4V, 100 Cd/m2	
USB y Ethernet	USB y Ethernet	USB y Ethernet	Transferencia de Ruta/ Mediciones y Proflash actualización firmware
√	√	√	Guarde carpetas en memoria USB
Paquete de baterías de Lithium-Ion , 7.4V, 4500 mA/h	Paquete de baterías de Lithium-Ion , 7.4V, 4500 mA/h	Paquete de baterías de Lithium-Ion , 7.4V, 4500 mA/h	
10 Horas	10 Horas	10 Horas	Luz de fondo Encendida (duración 60 segundos)
Cargado interno, control automático	Cargado interno, control automático	Cargado interno, control automático	Paquete externo de alimentación 12 V CD, 3A de salida, incluido
3A nominal	3A nominal	3A nominal	3 horas para una carga completa
9.9" ancho x 5.8" Largo x 2.4" Alto (252 x 148x 60) mm	9.9" ancho x 5.8" Largo x 2.4" Alto (252 x 148x 60) mm	9.9" ancho x 5.8" Largo x 2.4" Alto (252 x 148x 60) mm	
2.7 lb (1.2 kg) incluyendo la batería	2.7 lb (1.2 kg) incluyendo la batería	2.7 lb (1.2 kg) incluyendo la batería	
14 °F a 122 °F (-10 a 50) °C	14 °F a 122 °F (-10 a 50) °C	14 °F a 122 °F (-10 a 50) °C	
-4 °F a 140 °F (-20 a 60) °C, 95% RH	-4 °F a 140 °F (-20 a 60) °C, 95% RH	-4 °F a 140 °F (-20 a 60) °C, 95% RH	
EN61326	EN61326	EN61326	
IP65 / 4' (1.2 m) drop onto concrete / MIL-STD-810F-IV	IP65 / 4' (1.2 m) drop onto concrete / MIL-STD-810F-IV	IP65 / 4' (1.2 m) drop onto concrete / MIL-STD-810F-IV	
CSA Class I, Division 2 (Groups A, B, C, D)	CSA Class I, Division 2 (Groups A, B, C, D)	CSA Class I, Division 2 (Groups A, B, C, D)	
CE	CE	CE	

MACION	BALANCEADORES	
vb8	vbBalancer	vbBalancer+
√		
√	√	√
√		
√		
√		
√		
√		√
√		√
√		

ones de producto están sujetas a cambios sin previo aviso. Última revisión 1 de septiembre 2008

ents Ltd. All rights reserved. Rev A04

commtest
The Revolution

Commtest, Inc.
6700 Baum Drive
Suite 12
Knoxville, Tennessee 37919
Telephone 865 588-2946
Facsimile 865 588-2949
USA Toll Free 877 582-2946
americas@commtest.com

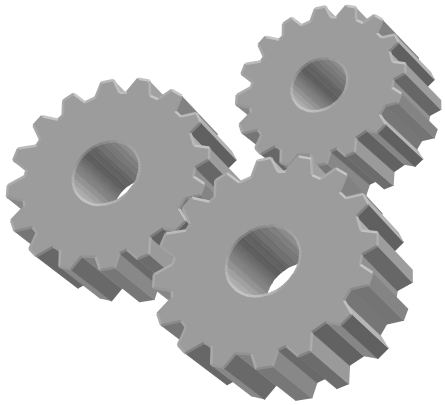
Commtest Instruments Ltd
Level 2, 22 Moorhouse Ave
PO Box 9297
Christchurch 8011
New Zealand
Telephone +64 3 943 0700
Facsimile +64 3 943 0727
sales@commtest.com
www.commtest.com

Commtest Instruments Ltd
PO Box 502689
Dubai Internet City
Dubai, United Arab Emirates
middleeast@commtest.com

PROYECTO

METODOLOGIA DE IMPLANTACION PARA EL DESARROLLO DE LA FUNCION MANTENIMIENTO EN UNA EMPRESA O REINGENIERIA DE MANTENIMIENTO

EQUIPOS ANALISIS TERMOGRAFICO



Autor: Ramon Arizaga Arcelus

Cámaras termográficas Ti125 y Ti110 para aplicaciones industriales y comerciales y Ti100 de propósito general.

FLUKE®

Datos técnicos



Las cámaras termográficas más ligeras, robustas y fáciles de utilizar del sector.

Una cámara termográfica Fluke puede ahorrarle tiempo y dinero, ya que detecta los posibles problemas antes de que se conviertan en caras averías. Con las innovadoras funciones y características de las cámaras termográficas Ti125, Ti110 y Ti100 de Fluke, podrá realizar inspecciones en infrarrojos de forma más rápida y eficiente y documentar áreas problemáticas detalladamente para su posterior seguimiento.

Características principales

- El sistema de enfoque exclusivo IR-OptiFlex™ garantiza que las imágenes estén bien enfocadas a partir de 1,2 metros (4 pies) para obtener una claridad óptima de la imagen y una exploración más cómoda. Para adquirir imágenes a distancias más cortas, cambie al modo manual con solo tocar un botón (Ti110 y Ti125).
- Siempre tendrá las referencias a mano, porque el sistema de anotaciones IR-PhotoNotes™ identifica rápidamente y conserva las ubicaciones de inspección al añadir imágenes digitales de información importante y las áreas de alrededor (Ti110 y Ti125).
- Localice los problemas más rápida y fácilmente gracias a la tecnología IR-Fusion® con modo AutoBlend™ (solo el modelo Ti125) que permite identificar de forma precisa los problemas al combinar las imágenes digitales e infrarrojas con AutoBlend. Mezcla las imágenes infrarrojas parcialmente transparentes y las imágenes digitales en una sola y repleta de información.
- Con la grabación de vídeo multimodo podrá tomar imágenes de vídeo sin enfoque en el espectro de luz visible e infrarroja con todas las funciones IR-Fusion. (Solo Ti110 y Ti125).
- Comunique fácilmente la ubicación de los problemas gracias a la brújula electrónica (con 8 puntos cardinales).

Gracias a las cámaras termográficas Ti125 y Ti110 para aplicaciones industriales y comerciales y Ti100 para uso general, que son innovadoras, robustas y de fácil manejo, podrá pasar menos tiempo buscando problemas y más solucionándolos.

Mantenimiento industrial, mecánico, electromecánico y general de edificios.

Procesos, aislamiento refractario, niveles de depósitos y recipientes, trampas y sistemas de vapor, tuberías y válvulas, etc.

Cargas eléctricas sin equilibrar, sistemas sobrecargados, problemas de cableado o fallos de componentes, etc.

IR-Fusion®

Tecnología patentada IR-Fusion® de Fluke
Disfrute de la única cámara IR-Fusion con función "apuntar y disparar" del sector. La tecnología patentada de Fluke ofrece al usuario imágenes infrarrojas y digitales en una sola para documentar áreas problemáticas con precisión.

Sistema de enfoque IR-OptiFlex™
Localice los problemas mucho más rápido con el revolucionario y robusto sistema de enfoque de Fluke. El sistema de enfoque IR-OptiFlex le proporciona un enfoque óptimo, ya que combina la facilidad de uso del modo sin enfoque con la flexibilidad del enfoque manual, y todo en la misma cámara.

FLUKE®

Especificaciones detalladas

	Ti125	Ti110	Ti100
	Aplicaciones industriales/comerciales		Uso general
Resolución IR (tamaño FPA)	Microbolómetro no refrigerado 160 x 120 FPA		
Banda espectral	7,5 µm a 14 µm (onda larga)		
Captura o velocidad de actualización	Versiones de 9 Hz o 30 Hz		9 Hz
NETD (sensibilidad térmica)	≤ 0,10 °C a una temp. objetivo de 30 °C (100 mK)		
Campo de visión (FOV)	22,5 ° H x 31 ° V		
Resolución espacial (IFOV)	3,39 mRad		
Rango de medición de temperatura (no calibrada por debajo de -10 °C)	-20 °C a +350 °C (-4 °F a +350,00 °F)	-20 °C a +250 °C (-4 °F a +250,00 °F)	
Precisión de la medida de temperaturas	± 2 °C o 2% (a 25 °C nominales, la mayor de ambas)		
Mecanismo de enfoque	Sistema de enfoque IR-OptiFlex™		Sin enfoque a partir de 1,2 m (4 pies)
Tecnología IR-Fusion®	PIP, totalmente IR, visible completo, AutoBlend	PIP, totalmente IR, visible completo	No, solo infrarrojos
Alarmas de color	Temperatura alta, temperatura baja e isoterma	Alta temperatura	—
Paletas estándar	Azul-rojo, escala de grises, escala de grises inversa, alto contraste, metal caliente, hierro (Ironbow), ámbar, ámbar inverso		Azul-rojo, hierro (Ironbow), escala de grises, ámbar
Paletas Ultra Contrast™	Azul-rojo, escala de grises, escala de grises inversa, alto contraste, metal caliente, hierro (Ironbow), ámbar, ámbar inverso	Azul-rojo, escala de grises, hierro (Ironbow)	—
Marcadores calientes o fríos	Sí	—	
Marcadores de puntos que puede definir el usuario	Tres en la cámara y en SmartView®		Solo en SmartView®
Cuadro central (MÍN/MÁX/PROM)	Sí	—	
Nivel y rango de amplitud	Manual y automático		
Intervalo mínimo en el modo automático	5 °C		
Intervalo mínimo en el modo manual	2,5 °C		
Distancia focal de infrarrojos mínima	15,25 cm (6 pulg.)		1,2 m (4 pies)
Peso	0,726 kg (1,6 libras)		
Dimensiones	28,4 x 8,6 x 13,5 cm (11,2 x 3,4 x 5,3 pulg.)		
Pantalla LCD	3,5 pulgadas diagonal (formato vertical)		
Cámara visible	2 megapíxeles		N/D
Corrección automática de paralaje mínimo	~18-22 pulgadas		N/D
Sistema de anotaciones IR-Photonotes®	Sí (3 imágenes)		—
Puntero láser	Sí		
Linterna	Sí		—
Brújula electrónica	Sí		—
Corrección de la emisividad	Sí		
Corrección de la transmitancia	Sí		—
Compensación de la temperatura reflejada de fondo	Sí		
Anotaciones por voz (audio)	Sí (60 segundos) por imagen		—
Salida de vídeo multimodo	Salida de reproducción de vídeo USB (modos infrarrojo, luz visible e IR-Fusion)	—	
Grabación de vídeo multimodo (AVI estándar con codificación MPEG)	Sí (AVI con codificación MPEG, hasta 5 minutos)		—
Grabación de vídeo multimodo (.IS3 radiométrica)	Sí, .is3 radiométrica durante aprox. 2,5-5 minutos en función de la escena térmica	—	
Revisión de las imágenes en memoria	Revisión de las miniaturas		
Batería (reemplazable en terreno, recargable)	Dos	Una	
Duración de la batería	+4 horas (cada una)*		
Base de carga externa de la batería	Sí	Opcional (accesorio)	
Fuente de alimentación de carga	Sí		
Prueba de caída	2 metros (6,5 pies)		
Clasificación de protección (IP) (IEC 60529)	IP 54		
Ciclo de calibración recomendado	Dos años		
Lector de tarjetas multifunción	Se incluye	—	
Almacenamiento en memoria	Tarjeta de memoria SD de 2 GB		
Capacidad de descarga directa	Descarga directa a través del mini USB a PC		
Rango de temperaturas de funcionamiento	-10 °C a +50 °C (14 °F a 122 °F)		
Rango de temperaturas de almacenamiento	-20 °C a +50 °C (-4 °F a 122 °F)		
Humedad en funcionamiento	En funcionamiento y en almacenamiento, del 10% al 95%, sin condensación		
Resistencia a choques y vibraciones	2G, IEC 68-2-26 y 25G, IEC 68-2-29		
Normativas de seguridad	CSA (EE.UU. y Canadá): C22.2 No. 61010-1-04, UL: UL STD 61010-1 (2ª edición), ISA: 82.02.01		
C Tick	IEC/EN 61326-1		
EMI, RFI, EMC	EN61326-1; FCC Parte 5		
Manuales del usuario	Alemán, checo, chino simplificado, chino tradicional, coreano, español, finés, francés, holandés, húngaro, inglés, italiano, japonés, polaco, portugués, ruso, sueco y turco		
Período de garantía estándar	Dos años		
Planes de servicio y garantía ampliados	Sí		

*Supone un 50% de brillo de LCD

Información para realizar pedidos

FLK-Ti110 30HZ	Cámara termográfica industrial o comercial
FLK-Ti110 9HZ	Cámara termográfica industrial o comercial
FLK-Ti125 30HZ	Cámara termográfica industrial o comercial
FLK-Ti125 9HZ	Cámara termográfica industrial o comercial
FLK-Ti100 9HZ	Cámara termográfica de uso general

Incluido con el producto
Las cámaras termográficas se entregan con un adaptador de potencia de CA; batería inteligente de ión litio (Ti125 incluye dos; los demás modelos, una); cable USB; tarjeta de memoria SD; maletín de transporte rígido; estuche de transporte flexible; correa de mano ajustable (uso para diestros o zurdos); manual de usuario impreso en inglés, español, francés, alemán y chino simplificado, los demás manuales están en CD (hay un total de 18); software SmartView® y tarjeta de registro de garantía. El modelo Ti125 también incluye una base de carga para dos baterías y un lector de tarjeta USB multiformato.

Opcional:

FLK-TI-VISOR2	Visor para el sol
FLK-TI-TRIPOD2	Accesorio para montaje en trípode
BOOK-ITP	Introducción a los principios de la termografía
FLK-TI-SBC3	Base de carga externa y alimentación de potencia
FLK-TI-SBP3	Batería inteligente recargable de ión litio
TI-CAR CHARGER	Cargador de batería de la cámara termográfica para vehículo

Fluke. *Manteniendo su mundo en marcha*

Fluke Ibérica, S.L.
Pol. Ind. Valportillo
C/ Valgrande, 8
Ed. Thanworth II · Nave B1A
28108 Alcobendas
Madrid

Tel.: 91 4140100
Fax: 91 4140101
E-mail: info.es@fluke.com
Web: www.fluke.es

© Copyright 2011 Fluke Corporation. Reservados todos los derechos. Impreso en los Países Bajos 01/2012. Información sujeta a modificación sin previo aviso.

Pub ID: 11838-spa

FLIR E-Serie Especificaciones técnicas

Específicas de la cámara

	FLIR E30	FLIR E40	FLIR E50	FLIR E60
Imagen térmica				
Resolución IR	160 × 120 píxeles	160 × 120 píxeles	240 × 180 píxeles	320 × 240 píxeles
Resolución espacial	2.72 mrad	2.72 mrad	1.82 mrad	1.36 mrad
Sensibilidad térmica	< 0,1 ℃	< 0,07 ℃	< 0,05 ℃	< 0,05 ℃
Zoom	N/A	1–2× continuo, zoom digital, vista panorámica incluida	1–4× continuo, zoom digital, vista panorámica incluida	1–4× continuo, zoom digital, vista panorámica incluida
Presentación de la imagen				
Función imagen en imagen	N/A	Área IR sobre imagen visual	IR ajustable sobre imagen visual	IR ajustable sobre imagen visual
Fusión térmica	N/A	N/A	Si	Si
Modos de imagen	Imagen IR, imagen visual, galería de imágenes en miniatura	Imagen IR, imagen visual, galería de imágenes en miniatura	Imagen IR, imagen visual, imagen en imagen, Fusión térmica, galería de imágenes en miniatura	Imagen IR, imagen visual, imagen en imagen, Fusión térmica, galería de imágenes en miniatura
Medición				
Intervalo de temperaturas del objeto	–20℃ a +120 ºC / 0℃ a +350 ºC	–20℃ a +120 ºC / 0℃ a +650 ºC	–20℃ a +120 ºC / 0℃ a +650 ºC	–20℃ a +120 ºC / 0℃ a +650 ºC
Análisis de medición				
Puntos	1	3	3	3
Área	1 recuadro con máx./mín./promedio	3 recuadros con máx./mín./promedio	3 recuadros con máx./mín./promedio	3 recuadros con máx./mín./promedio
Diferencia de temperatura	N/A	Variación de temperatura entre funciones de medición o con respecto a la temperatura de referencia	Variación de temperatura entre funciones de medición o con respecto a la temperatura de referencia	Variación de temperatura entre funciones de medición o con respecto a la temperatura de referencia

Generación de informes

Informe instantáneo	N/A	N/A	N/A	Si

Cámara digital

Cámara digital incorporada	2 megapíxeles y LED	3.1 megapíxeles y LED	3.1 megapíxeles y LED	3.1 megapíxeles y LED

Comentarios en la imagen

Voz	N/A	60 segundos por Bluetooth®	60 segundos por Bluetooth®	60 segundos por Bluetooth®
Texto	N/A	Texto a partir de una lista predefinida o introducido mediante un teclado blando que se encuentra en la pantalla táctil	Texto a partir de una lista predefinida o introducido mediante un teclado blando que se encuentra en la pantalla táctil	Texto a partir de una lista predefinida o introducido mediante un teclado blando que se encuentra en la pantalla táctil
MeterLink	N/A	Conexión de la pinza amperimétrica Extech Clamp Meter EX845 o el medidor de humedad Extech Moisture Meter MO297 por Bluetooth	Conexión de la pinza amperimétrica Extech Clamp Meter EX845 o el medidor de humedad Extech Moisture Meter MO297 por Bluetooth	Conexión de la pinza amperimétrica Extech Clamp Meter EX845 o el medidor de humedad Extech Moisture Meter MO297 por Bluetooth

Interfaces

Bluetooth®, WiFi	N/A	Si	Si	Si

Grabación/Transmisión de video

Grabación de video IR radiométrico	N/A	MPEG4 a tarjeta de memoria	MPEG4 a tarjeta de memoria	MPEG4 a tarjeta de memoria
Transmisión de video IR radiométrico	N/A	Dinámico completo a PC mediante USB	Dinámico completo a PC mediante USB	Dinámico completo a PC mediante USB
Transmisión de vidio IR no radiométrico	N/A	Video sin comprimir en color mediante USB	Video sin comprimir en color mediante USB	Video sin comprimir en color mediante USB

General

Imagen térmica

Campo visual/distancia focal mínima	25° × 19° / 0.4 m
Rango espectral	7.5–13 µm
Frecuencia de imagen	60 Hz
Enfoque	Manual
Matriz de plano focal (FPA)	Microbolómetro sin refrigerar

Presentación de la imagen

Pantalla	Pantalla táctil incorporada, LCD de color de 3,5", 320 x 240 píxeles

Medición

Precisión	±2℃ o 2% de lectura

Puntero láser

Alineación láser	Se indica la posición automáticamente sobre la imagen IR

Análisis de medición

Detección automática de caliente/frío	Indicadores automáticos de puntos clientes o fríos dentro del área
Corrección de emisividad	Variable de 0,01 a 1,0 o a seleccionar de una lista de materiales
Correcciones de mediciones	Temperatura reflejada, transmisión de óptica y transmisión atmosférica
Isoterma	Detección de temperatura alta/baja/intervalo

Configuración

Gama de colores	Gamas de color (blanco y negro, blanco y negro inv, hierro, arcoiris, arcoiris HC)
Controles de configuración	Adaptación local de unidades, idioma, formatos de fecha y hora; apagado automático, intensidad de la pantalla

Almacenamiento de imágenes

Formato	JPEG estándar, con datos de medición incluidos
Tipo	Imágenes IR/visuales, almacenamiento simultáneo de imágenes IR y visuales

Puntero láser

Laser	Se indica la posición automáticamente sobre la imagen IR

Sistema de alimentación

Duración de la batería	Batería de ión litio recargable, que puede sustituirse en el terreno - 4 horas
Sistema de	En la cámara, adaptador de CA, cargador de batería de 2

recarga	compartimientos o de 12 V desde un vehículo
Administración de la alimentación	Apagado automático (a elección del usuario)
Sistema de CA	Adaptador de CA, 90-260 V CA
Tensión del adaptador	VCC de salida de 12 voltios

Información ambiental

Intervalo de temperaturas de uso	-15 ℃ a +50 ℃
Intervalo de temperaturas de almacenamiento	-40 ℃ a +70 ℃
Humedad (funcionamiento y almacenamiento)	IEC 60068-2-30/24 h, humedad relativa del 95%, de +25 ℃ a +40 ℃
Golpes / Vibración	25 g (IEC 60068-2-29) / 2 g (IEC 60068-2-6)
Drop	2m
Protección	Carcasa y lente de la cámara: IP 54 (IEC 60529)

Interfaces

Interfaces	USB-mini, USB-A, Vídeo compuesto
USB	USB-A: Conectar dispositivo externo USB - USB-mini-B: Intercambio de datos con un PC/ transmisión de vídeo (streaming) MPEG4

Características físicas

Peso de la cámara, con batería	0.825 kg
Tamaño de la cámara (L x Ø x H)	246 × 97 × 184 mm
Tamaño de transporte	560 x 370 x 190 mm
Peso de transporte	5.3 kg

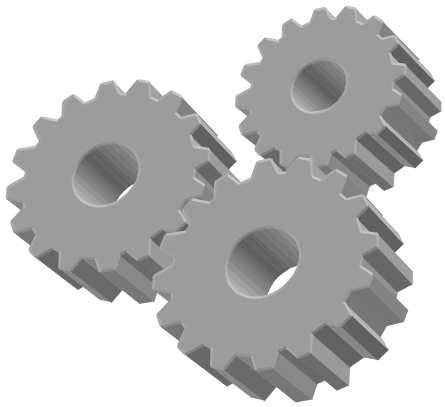
Suministro estándar

FLIR E30, FLIR E40, FLIR E50 o FLIR E60: maleta rígida, cámara térmica con lente, batería, correa de mano, certificado de calibración, CD-ROM del software FLIR Tools, tarjeta de memoria, tapa de lente, adaptador de corriente múltiple, guía de Primeros Pasos, guía de información importante, cable USB, CD-ROM de la documentación del usuario, cable de video, tarjeta de extensión de garantía o tarjeta de registro.

PROYECTO

METODOLOGIA DE IMPLANTACION PARA EL DESARROLLO DE LA FUNCION MANTENIMIENTO EN UNA EMPRESA O REINGENIERIA DE MANTENIMIENTO

DETECCIÓN DE FUGAS



Autor: Ramon Arizaga Arcelus

Detector de fugas ultrasónico WHISPER ®



Whisper®
Detector de fugas ultrasónico

El equipo que quedará amortizado el primer día de utilización

HAINGOR, S.L.
automatismos industriales

SMC
Distribuidor Oficial

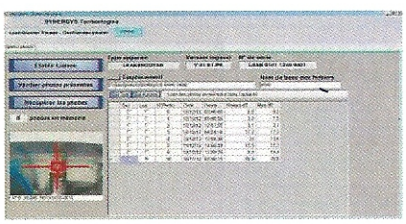
POLIGONO BASABE (PAB. D-02)
Telf.: 943 797 755 - Fax: 943 795 565
haingoraretxabaleta@euskalnet.net
20550 ARETXABALETA (Gipuzkoa)

POLÍGONO SIGMA
1ª Planta, Puerta 2
Telf.: 943 744 635 - Fax: 943 748 730
haingorelgoibar@euskalnet.net
20870 ELGOIBAR (Gipuzkoa)

INFICON es líder en equipos de primera calidad para el análisis, la medición y el control de gases.

El **Whisper** detecta y localiza las fuentes de alteración ultrasónica.
Los ultrasonidos son producidos por el choque de las moléculas de los gases y líquidos, que ocurren cuando pasan por una fuga.
Por último, todos los materiales sólidos crean alteraciones cuando se produce fricción.
El Whisper es sensible a los ultrasonidos 40,5 KHz y no se ve afectado por los ruidos audibles.

DESCRIPCION	***PRECIO "EUROS"***
Equipo Portátil de Ultrasonidos *LEAKSHOOTER*	
• *Incluye maleta de transporte* • *Software de tratamiento de las imágenes recogidas* • *Garantía de 2 años*	**CONSULTAR PRECIO**

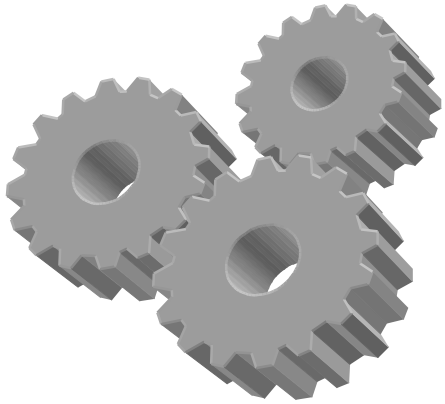




PROYECTO

METODOLOGIA DE IMPLANTACION PARA EL DESARROLLO DE LA FUNCION MANTENIMIENTO EN UNA EMPRESA O REINGENIERIA DE MANTENIMIENTO

ACELOREMETROS PARA EQUIPOS DE VIBRACIONES



Autor: Ramon Arizaga Arcelus

GUEMISA (Electrónica Guerra y Miró Guemisa S.L.)
Sta. Virgilia, 29 - local - 28033 Madrid (Spain)
Tlfno.: (034) 91 764 21 00 Fax.: (034) 91 764 21 32
Email.: ventas@guemisa.com Web.: www.guemisa.com

MONITRAN

SENSING THE FUTURE

General & Special Purpose
Vibration Sensors



Automotive

B & M

Heavy Industry

Mining

Paper Making

Petrochemical

R & D

Utilities

Windfarms

T: +44 (0)1494 816569 ● **F:** +44 (0)1494 812256 ● **E:** info@monitran.com ● **www.monitran.com**

Monitran's general purpose accelerometers fall into two categories: those for vibration analysis, which have AC outputs and are suitable for use with hand-held and on-line vibration analysers; and those for machine protection, which have DC outputs and are ideal for direct input to a PLC or other industrial controller.

For more specialised applications we have sensors with dual outputs; for acceleration and temperature, for velocity and acceleration, plus triple output devices for velocity, acceleration and envelope g. Also, available are dedicated sensors for AC velocity, high temperature applications, modal analysis and tri-axial measurements.

Key to Sector Icons



Automotive



Buildings & Maintenance



Heavy Industry



Mining



Paper Making



Petrochemical



Research & Development



Utilities (gas, water, electricity)



Windfarms

Selection Tips

These tips will help you identify the most effective sensor types for your task but with such a wide and varied offering we welcome your enquiry to our technical sales team who will enable you to pinpoint the perfect match for the task in hand.

What do you need to do?
For vibration analysis and condition monitoring, sensors with an AC or charge output are most suitable. For continuous monitoring and machine protection you will need sensors with a DC output.

In which application are the sensors to be used?
Each accelerometer is coded with one or more icons indicating the most suitable applications.

How will you connect the accelerometer to your measuring system?
Monitran's sensors either have 'plug and socket' connections or are supplied with integral cables.

Which orientation do you need?
For many models there is a choice of top or side entry, with the latter having a lower profile and therefore making them ideal when space is at a premium.

Are the sensors to be installed in a hazardous area?
Many of our sensors are available in ATEX- or IECEx-approved versions and are suitable for use in flammable gas or dust hazard areas, for example in petrochemical and underground environments.

Are the sensors to be used in mining operations?
We can supply top or side entry ATEX or IECEx Group I sensors for mining or tunnelling environments.

How is it best to mount your sensors?
The mounting method will be governed by the nature of the machine or structure to which the sensor will be fixed and the permanence of its installation. Bearing this in mind, mounting methods include male studs, female threads, epoxy adhesive or magnetic attachment. The Quickfit option (with a wide range of adaptors available) is particularly useful for sensors with stiff integral cables.

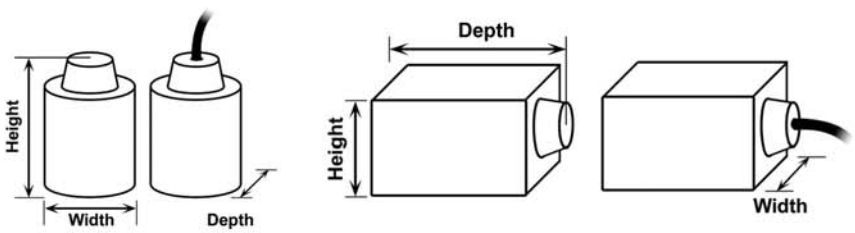
Sensitivities and ranges?
For any given application you need to select a suitable sensitivity and output range. Most sensors have standard sensitivities and ranges, which are given in this brochure, but please refer to our datasheets for other sensitivity/range options.

What frequency range?
Most of our sensors operate in the range 1Hz to a few kHz but if you need to measure seismic vibrations or movements within large structures you will need a Low Frequency sensor which measures, and produces an output, down to DC (0Hz). For very high speed machines, consider a charge output sensor which, with the right charge amplifier, will respond at very high frequencies.

Environmental protection needed?
All sensors have a high resistance to liquid penetration with fully submersible to IP68 versions available for deep water applications.

Which temperature range do you need?
Most of our sensors will work in sub-zero temperatures and most can handle any heat generated by the machinery to which they are attached. For hotter environments we can supply sensors which will operate in temperatures as high as 250°C.

Dimensions:



T: +44 (0)1494 816569 ● **F:** +44 (0)1494 812256 ● **E:** info@monitran.com ● **www.monitran.com**

MTN/1135C



The MTN/1135C is a small footprint, general purpose accelerometer with an isolated AC output and overbraided cable, and is suitable for use in harsh environments where space is at a premium.

It has a frequency response of 0.8Hz to 12kHz @ 3dB points, requires a constant current supply of 0.5 to 8mA and has a standard sensitivity[1] of 100mV/g up to 100g, with other sensitivity/range combinations available upon request.

Dimensions[3] (mm): 16 x 16 x 25

Weight[2]: 30g
Entry: Side
Sealing[4]: IP67

-55 to 140°C

AC

MTN/1830



The MTN/1830 is a low profile, general purpose accelerometer with an isolated AC output and is suitable for use in harsh environments with restricted headroom.

It has a frequency response of 2Hz to 9kHz, requires a constant current supply of 0.5 to 8mA and has a standard sensitivity[1] of 100mV/g up to ±80g, with other sensitivity/range combinations available upon request.

Dimensions[3] (mm): 19 x 50 x 19

Weight[2]: 110g
Entry: Side
Sealing[4]: IP67

-10 to 140°C

AC

General Purpose - Monitoring

MTN/1185 FAMILY



The MTN/1185 family members are general purpose accelerometers with DC outputs, and are ideal for machine protection.

Sensors are available with connectors or integral cables (C) and sealed to IP67. Intrinsically safe (I), for petrochemical and mining applications, and submersible, IP68(W) versions are also available.

The table below presents the options.

All sensors are top entry and have a frequency response of 2Hz to 1kHz, and operate in the temperature range -25 to 90°C (120°C optional). All have a maximum sensitivity[1] range of 0 to 100mm/s. Minimum sensitivity ranges are shown in the table.

MTN/	Sealing[4]	Minimum Range (mm/s)	Dimensions[3] (mm) W x D x H	Weight[2] (gm)	ATEX group
1185	IP67	0 to10mm/s	28 x 28 x 57	150	
1185C	IP67	0 to 10mm/s	28 x 28 x 43	150	
1185IW	IP68	0 to 20mm/s	28 x 28 x 75	150	II
1185W	IP68	0 to 10mm/s	28 x 28 x 75	150	
1185IC	IP67	0 to 20mm/s	28 x 28 x 43	150	II
M1185IC	IP67	0 to 20mm/s	28 x 28 x 43	150	I

-25 to 90°C

DC

MTN/1187 FAMILY



The MTN/1187 family members are general purpose accelerometers with DC outputs proportional to RMS acceleration and are ideal for machine protection.

Sensors are available with connectors or integral cables (C) and sealed to IP67. Intrinsically safe (I), for petrochemical and mining applications, and submersible, IP68(W) versions are also available.

The table below presents the options.

All sensors are top entry, have a frequency response of 2Hz to 1kHz, operate in the temperature range -25 to 90°C and have sensitivities[1] in the range of 0 to 1g (RMS) 0 to 20g (RMS).

Please refer to the data sheets.

MTN/	Sealing[4]	Dimensions[3] (mm) W x D x H	Weight[2] (gm)	ATEX group
1187	IP67	28 x 28 x 57	150	
1187C	IP67	28 x 28 x 43	150	
1187IW	IP68	28 x 28 x 75	150	II
1187W	IP68	28 x 28 x 75	150	
1187IC	IP67	28 x 28 x 43	150	II
M1187IC	IP67	28 x 28 x 43	150	I

-25 to 90°C

DC

MTN/**1600** & **1600C**



The MTN/1600 and 1600C are dedicated velocity sensors with isolated AC outputs and suitable for use in harsh environments.

Both require a constant current supply of 0.5 to 8mA, have standard sensitivities[1] of 4mV/mm/s and frequency responses of 5Hz to 4kHz.

Weight[2]: 100g

Dimensions[3] (mm): 46 x 46 x 76.7 (W x D x H)

Sealing[4]: IP67

-25 to 90°C

Velocity

Mounting options



- *Top Entry sensors are available with ¼ inch female, male stud and QuickFit mounts.*
- *Side Entry sensors are available with ¼ inch female, M6 and M8 bolt mounts*
- *Magnetic and adhesive mounts are also available.*

MTN/**1105CE**



The MTN/1105CE is a high temperature*, top entry accelerometer with an in-line charge amplifier.

The standard sensitivity[1] is 50pC/g, giving 100mV/g at the output of the amplifier, and the frequency response is 0.8Hz to 12kHz @ 3dB points.

Weight[2]: 100g

Dimensions[3] (mm): 25 x 25 x 37 (W x D x H)

Sealing[4]: IP67

Charge amplifier: In-line encapsulated

* Many of our general purpose sensors operate up to 140°C

-55 to 250°C

AC

MTN/**1800**



The MTN/1800 is a lightweight, high sensitivity accelerometer for modal analysis.

Its standard sensitivity[1] is 1000mV/g in the range ±10g, though other sensitivities and ranges are available upon request.

The sensor requires constant current supply of 0.5 to 8mA and its frequency response is 5Hz to 12kHz.

Weight[2]: 9g

Dimensions[3] (mm): 14 x 14 x 14 (W x D x H)

Sealing[4]: IP65

-55 to 120°C

AC

MTN/**P05, P50, P100** & **P1100**



The P05, P50, P100 and P1100 sensors are charge output accelerometers and are ideal for R&D and certain monitoring applications. The smallest members of this family have increased high frequency response needed for very fast rotating machinery.

All require the use of a charge amplifier (for example, the MTN/CA003).

MTN/	Sensitivity[1] (pC/g)	Frequency range*	Acceleration Range	Dimensions[3] (mm)	Weight[2] (gm)	Sealing[4]
P05	5	1Hz to 30kHz	±2,000g	9.5 x 9.25 x 11	7	IP65
P50	50	1Hz to 10kHz	±1,000g	19 x 19 x 24	35	IP66
P100	20	1Hz to 30kHz	±800g	15 x 15 x 24	30	IP65
P1100	1100	1Hz to 10kHz	±100g	32 x 32 x 42	250	IP65

* Depends on charge amplifier

-55 to 250°C

AC

For further information please go to **www.monitran.com**

MTN/**7000, 7010** & **7020**



The MTN/7000, 7010 and 7020 are special purpose, low frequency accelerometers with output response starting at DC (0Hz).

All three sensors are available with frequency response ranging from DC to 250Hz (for ±1g) and DC to 1kHz (for ±50g) – please refer to the 7000 series data sheet - and the standard sensitivities[1] are 50mV/g and 100mV/g with others available upon request.

MTN/	Dimensions[3] (mm) W x D x H
7000	25 x 25 x 25
7010	34 x 34 x 28
7020	25 x 25 x 33

Weight[2]: 40g

Sealing[4]: IP65

Entry: Side

DC Supply: 10 to 24V at 7mA

-20 to 85°C

AC

MTN/**7100, 7110** & **7120**



The MTN/7100, 7110 and 7120 are special purpose, low frequency accelerometers with output responses starting at DC (0Hz) for strain gauge amplifiers.

All three sensors are available with frequency response ranging from DC to 250Hz (for ±1g) and DC to 1kHz (for ±50g) – please refer to the 7000 series data sheet - and the sensitivity[1] range is 0.6 to 20mV/g depending on range.

MTN/	Dimensions[3] (mm) W x D x H
7100	25 x 25 x 25
7110	34 x 34 x 28
7120	25 x 25 x 33

Weight[2]: 40g

Sealing[4]: IP65

Entry: Side

DC Supply: 10 to 24V at 7mA

-20 to 85°C

AC

MTN/**1310**



The MTN/1310 is a side entry, tri-axial accelerometer with overbraided cable.

The standard sensitivity[1] from the in-line charge amplifier is 10mV/g with a frequency response of 1Hz to 10kHz.

Weight[2]: 35g

Dimensions[3] (mm): 19.5 x 19.5 x 26 (W x D x H)

Sealing4: IP67

Entry: Side

-55 to 250°C

AC

MTN/**7200, 7210** & **7220**



The MTN/7200, 7210 and 7220 are special purpose, two-wire, low frequency accelerometers with output responses starting at DC (0Hz).

All three sensors are available with frequency response ranging from DC to 250Hz (for ±1g) and DC to 1kHz (for ±50g) – please refer to the 7000 series data sheet - and the output is 4-20mA for the full range with 12mA at 0g.

MTN/	Dimensions[3] (mm) W x D x H
7200	25 x 25 x 25
7210	34 x 34 x 28
7220	25 x 25 x 33

Weight[2]: 40g

Sealing[4]: IP65

Entry: Side

DC Supply: 10 to 24V at 7mA

-20 to 85°C

AC

MTN/**1186, 1186C** & **1186W**



The MTN/1186 family members are top entry, dual output sensors, ideal for machine protection and data collection.

As standard, velocity (mm/s) is output as 4-20mA DC and acceleration is output as 100mV/g AC, with alternative sensitivities available upon request.

Sensors are available with connectors or integral cables (C) and sealed to IP67 or 68(W). The table below presents the options.

All sensors have a frequency response of 2Hz to 1kHz for the velocity output and 2Hz to 8kHz (±10%) for the AC output and have a maximum sensitivity[1] range of 0 to 100mm/s.

MTN/	Dimensions[3] (mm) W x D x H	Sealing[4]
1186	28 x 28 x 57	IP67
1186C	28 x 28 x 43	IP67
1186W	28 x 28 x 75	IP68

Weight[2]: 150g

-25 to 90°C

DC & AC

MTN/**1188** & **1188C**



The MTN/1188 and 1188C are dual output sensors ideal for machine protection and data collection.

As standard, acceleration (g RMS) is output as 4-20mA DC and AC acceleration is output as 100mV/g AC, with alternative sensitivities available upon request.

Both sensors are Top Entry with the MTN/1188 having a connector and the 1188C having an integral overbraided cable.

Both have a frequency response of 2Hz to 1kHz for the velocity output and 2Hz to 8KHz at ±10% for the AC output and have a maximum sensitivity[1] range of 0 to 20g RMS.

MTN/	Dimensions[3] (mm) W x D x H	Sealing[4]
1188	28 x 28 x 57	IP67
1188C	28 x 28 x 43	IP67
1188W	28 x 28 x 75	IP68

Weight[2]: 150g

-25 to 90°C

DC & AC

MTN/1185TC



The MTN/1185TC is a dual output accelerometer (velocity and temperature) and is ideal for machine maintenance applications.

It outputs a DC current in the range 4-20mA in proportion to RMS velocity (mm/s) and its frequency response is 2Hz to 1kHz.

Weight[2]: 150g

Dimensions3 (mm): 28 x 28 x 43 (W x D x H)

Sealing[4]: IP67

Entry: Top

-20 to 85°C

DC Velocity & °C

MTN/1181



The MTN/1181 is a versatile, triple output sensor ideally suited to R&D T&M and building management systems.

Output 1 is 0 to 10V DC proportional to RMS velocity with a standard sensitivity[1] of 0 to 25mm/s but with other sensitivities available upon request. Its frequency range is 10Hz to 1kHz.

Output 2 is 0 to 10V DC proportional to Envelope g, with a standard range of 0 to 10g but with other ranges available upon request.

Output 3 is AC, with a standard sensitivity of 100mV/g but with other sensitivities available upon request.

DC Supply: 15 to 24V at 10mA

Weight[2]: 400g

Dimensions[3] (mm): 46 x 46 x 76.7 (W x D x H)

Sealing[4]: IP67

0 to 90°C

Velocity, g (Env) & AC

MTN/1100STC, 1100T, 1100TC & 1100TW



The MTN/1100T family members are dual output devices (acceleration and temperature) with isolated AC (g) and temperature outputs, and are suitable for use in a wide range of industrial applications.

Sensors are available with top or side entry (S), with connectors or integral cables (C) and sealed to IP67 or 68(W).

The table below presents the options.

All family members have a frequency response of 0.8Hz to 12kHz @ 3dB points, require a constant current supply of 0.5 to 8mA and have a standard sensitivity[1] of 100mV/g and 10mV/°C, with other sensitivities available upon request.

MTN/	Entry	Sealing[4]	Temperature Range	Dimensions[3] (mm) W x D x H	Weight[2] (gm)
1100STC	Side	IP67	-55 to 120°C	25 x 53x 29	170
1100T	Top	IP67	-55 to 120°C	25 x 25 x 51	110
1100TC	Top	IP67	-55 to 120°C	25 x 25 x 41	110
1100TW	Top	IP68	-25 to 90°C	25 x 25 x 67	120

-55 to 120°C

AC & °C

Notes

1. *Sensitivity is at 80Hz and 21°C (±10%). Also, for DC output devices the sensitivity relates to an output of 4-20mA equal to the velocity or RMS acceleration range*
2. *Weight excludes cables and connectors*
3. *Dimensions are for the body only. Also, different body shapes may be available. Please refer to the datasheet sheet (available online at www.monitran.com)*
4. *The sealing rating excludes any mating connector*
5. *W sensors have a maximum operating temperature of 90°C*

ATEX and IECEx Approved Sensors

Many of our accelerometers and velocity transducers are available in versions approved for use in hazardous areas, both gas and dust hazards using Intrinsically Safe protection. Select Group II sensors for petrochemical and dust and Group I for mining applications. Please consult our sales office or technical support for assistance.

Not found what you're looking for?

Monitran also offers a full custom design service.
For more information please call us on +44(0)1494 816569

*MTN/**1100** FAMILY*

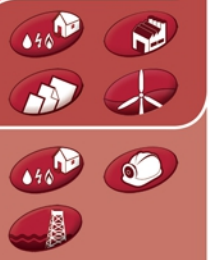


The MTN/1100 family members are general purpose accelerometers with isolated AC outputs, ideal for vibration analysis and for use in harsh environments.

Sensors are available with top or side entry (S), with connectors or integral cables (C) and sealed to IP67. Intrinsically safe (I), for petro-chemical and mining applications, and submersible, IP68 (W) versions are also available. The table below presents the options.

All family members have a frequency response of 0.8Hz to 12kHz @ 3dB points, require a constant current supply of 0.5 to 8mA and have a standard sensitivity[1] of 100mV/g and range of ±80g, with other sensitivity/range combinations available upon request.

MTN/	Entry	Sealing[4]	Temperature Range	Dimensions[3] (mm) W x D x H	Weight[2] (gm)	ATEX group
1100	Top	IP67	-55 to 140°C	25 x 25 x 51	100	
1100C	Top	IP67	-55 to 140°C	25 x 25 x 41	100	
1100S	Side	IP67	-55 to 140°C	25 x 53 x 30	170	
1100SC	Side	IP67	-55 to 140°C	25 x 48 x 30	170	
1100IS	Side	IP67	-55 to 140°C	23 x 53 x 30	170	II
M1100IS	Side	IP67	-55 to 140°C	23 x 53 x 30	170	I
1100ISC	Side	IP67	-55 to 140°C	23 x 48 x 30	170	II
M1100ISC	Side	IP67	-55 to 140°C	23 x 48 x 30	170	I
1100ISW	Side	IP68	-55 to 90°C	23 x 68.5 x 30	185	II
1100I	Top	IP67	-55 to 140°C	25 x 25 x 51	100	II
M1100I	Top	IP67	-55 to 140°C	25 x 25 x 51	100	I
1100IC	Top	IP67	-55 to 140°C	25 x 25 x 41	100	II
M1100IC	Top	IP67	-55 to 140°C	25 x 25 x 41	100	I
1100SW	Side	IP68	-25 to 90°C	25 x 68.5 x 30	185	
1100W	Top	IP68	-25 to 90°C	25 x 25 x 67	110	
1100IW	Top	IP68	-25 to 90°C	25 x 25 x 67	110	II



AC

*MTN/**1120I, 1120IC** & **1120SC***



The MTN/1120 is a small footprint, general purpose accelerometer with an isolated AC output, ideal for vibration analysis.

It is suitable for use in harsh environments, and is available with a connector or overbraided cable (C) and as Top or Side (S) entry. The table below refers.

It has a frequency response of 0.8Hz to 12kHz @ 3dB points, requires a constant current supply of 0.5 to 8mA and has a standard sensitivity[1] of 100mV/g up to 100g, with other sensitivity/range combinations available upon request.

MTN/	Entry	Dimensions[3] (mm) W x D x H
1120I	Top	19 x 19 x 35
1120IC	Top	19 x 19 x 34
1120SC	Side	19 x 19 x 24

Weight[2]: 45g
Sealing[4]: IP67

-55 to 140°C



AC

*MTN/**1130 & 1140***



The MTN/1130 and 1140 are small footprint, general purpose, top entry accelerometers with isolated AC outputs, ideal for vibration analysis and suitable for use in harsh environments and restricted spaces.

Both have a frequency response 0.8Hz to 12kHz @ 3dB points, require a constant current supply of 0.5 to 8mA and have a standard sensitivity[1] of 100mV/g up to 100g, with other sensitivity/range combinations available upon request.

MTN/	Dimensions[3] (mm) W x D x H
1130	15 x 15 x 31
1140	15 x 15 x 28

Weight[2]: 30g
Entry: Top
Sealing[4]: IP67

-55 to 140°C



AC

ABOUT MONITRAN

Established in 1986 and based near High Wycombe in the UK, Monitran is a world leader in the design, development and manufacture of sensors and systems for the measurement of vibration and displacement.

The company has the widest range of standard vibration and displacement products available from any single supplier. It also has an impressive track record of customising products for bespoke applications, with a remarkably short turn-around time.

With full ISO 9001:2000 approval, Monitran's products are used for monitoring vibrations in machinery such as pumps, motors, engines and drive trains in a diverse range of applications including automotive, aerospace, industrial processing, power stations and wind turbines. Indeed, the products are at home in any application where vibration or displacement provides an early indication of mechanical wear or that a structure's integrity has been compromised. They are also used in other vibration-related applications such as R & D, structural testing, equipment qualification, testing and calibration.

Monitran is a privately-owned independent company and at present all operations, including R & D, Sales and Manufacturing, are handled out of the single site a few miles to the west of London. The site is ideally situated for easy access to Heathrow, Gatwick, Stansted and Luton airports, as well as the M40, M4, M25 and M1 motorways, and national rail networks.

Monitran Ltd.
Monitor House
Hazlemere Road
Penn
Bucks
HP10 8AD
United Kingdom

T. +44 (0)1494 816569
F. +44 (0)1494 812256
E. info@monitran.com
W. www.monitran.com

CAS 01 Issue 1

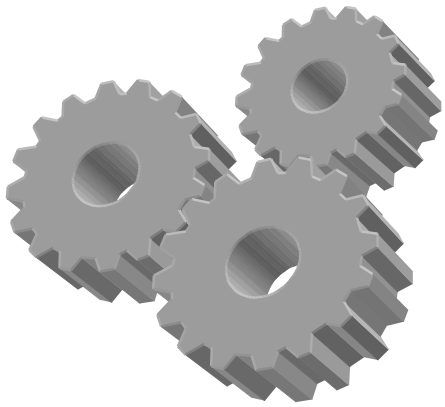
Recommended Distributor:

GUEMISA (Electrónica Guerra y Miró Guemisa S.L.)
Sta. Virgilia, 29 - local - 28033 Madrid (Spain)
Tlfno.: (034) 91 764 21 00 Fax.: (034) 91 764 21 32
Email.: ventas@guemisa.com Web.: www.guemisa.com

PROYECTO

METODOLOGIA DE IMPLANTACION PARA EL DESARROLLO DE LA FUNCION MANTENIMIENTO EN UNA EMPRESA O REINGENIERIA DE MANTENIMIENTO

ANEXO
ANÁLISIS DE WEIBULL



Autor: Ramon Arizaga Arcelus

FUNDAMENTOS DEL ANÁLISIS DE WEIBULL

Por **Robert B. Abernethy**, FL, USA

El análisis de Weibull es la técnica mayormente elegida para estimar una probabilidad, basada en datos medidos o asumidos. La distribución de Weibull descubierta por el sueco **Walodi Weibull**, fue anunciada por primera vez en un escrito en 1951. La distribución de Weibull es útil por su habilidad para simular un amplio rango de distribuciones como la Normal, la Exponencial, etc. Las técnicas discutidas en la distribución de Weibull son similares a las usadas con las distribuciones Normal y Log-Normal. Este artículo le dará una visión general de la aplicación de la distribución de **Weibull**.

Permítame nombrarlo a usted como miembro principal del Comité de Refrigerios de un equipo de béisbol. Suponga que usted compra 800 perros calientes ("*hot dogs*") cada semana, y toma nota del número de perros calientes que realmente vende en un partido de béisbol universitario. En los primeros siete juegos las cifras son:

492 287 521 604 349 453 412

El presidente de su Comité de Refrigerios quiere reducir los costos para mantener contentos a los propietarios. El presidente quiere que usted compre solamente los suficientes perros calientes la próxima vez, de tal manera que solo en el 15% de las veces no hayan suficientes perros calientes (en el 85% de las veces habrán suficientes perros calientes para vender). Usted consulta a su profesor de estadística quien le indica acerca de utilizar el **ANÁLISIS DE WEIBULL**, dado que la cantidad de perros calientes vendida es aproximadamente un número aleatoriamente variable.

Su profesor de estadística, con ayuda de un software o simplemente a mano, tabula los siete datos iniciales y procede a calcular lo que se conoce como **RANGO MEDIO**, para cada uno de ellos. El Rango Medio es un número entre 0 a 1 que refleja en orden ascendente la fracción del valor del dato que es menor que el mismo dato. Así, se obtiene la Tabla 1, una vez ordenados los datos.

ORDEN	DATO	RANGO MEDIO
1	287	0.09459459
2	349	0.2297297
3	412	0.3648649
4	453	0.5
5	492	0.6351351
6	521	0.7702703
7	604	0.9054054

Tabla 1.

En la tabla 1, hay un 90.5% de posibilidades que el número de perros calientes vendidos sea menor a 604, dado que el Rango Medio para este último punto es de 0.9054054. Usualmente, el Rango Medio se puede encontrar en los libros de estadística, o puede ser calculado con la fórmula de **Bernard**.

Si se dibuja en un gráfico el doble logaritmo de 1/(1 - Rango Medio) vs. el logaritmo de los datos en cuestión, se obtiene el **Gráfico de Weibull** (ver Fig. 1). Usualmente, la mayoría de los datos a analizar forman una línea recta en esta gráfica. Esta línea recta puede ser trazada por el método de la regresión o de los mínimos cuadrados.

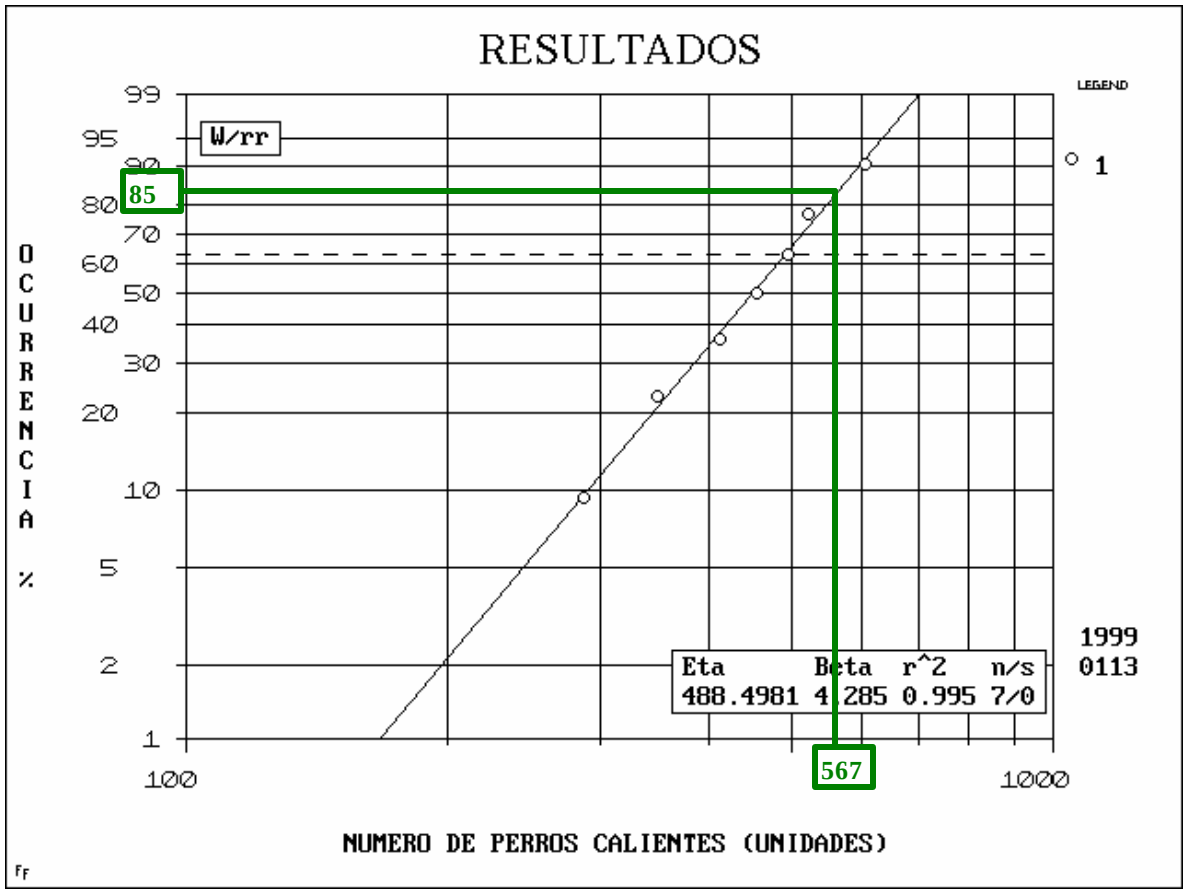


Fig. 1. Gráfico de Weibull

La ecuación de la distribución acumulativa de **Weibull** es:

$$F(t) = 1 - e^{-\{(t - to)/h\}^{b}}$$

donde:

e = Base de los logaritmos naturales = 2.718281.....
t = Parámetro de interés o valor en x
to = valor en x inicial (tercer parámetro de Weibull)
η = Vida característica
β = Factor de forma

La pendiente de la línea recta que pasa por la mayoría de los puntos en el **Gráfico de Weibull**, es también el **Factor de Forma** b. Esta β indica el tipo de distribución de probabilidad (normal, exponencial, etc.).

La **Vida Característica** h es el valor del dato (en este caso: número de perros calientes) que corresponde al 63.2% del valor del Rango Medio de la línea recta. Este 63.2% es realmente 1 - 1/e, dado to = 0 y t = η. En el Gráfico de Weibull, usted puede hacer estimaciones de probabilidades utilizando la línea recta, o simplemente leyendo la probabilidad en la escala vertical, para un dato (en este caso, un número de perros calientes).

Volviendo al ejemplo, el número estimado de perros calientes a comprar, para un 15% de veces no satisfechas, se localiza en la línea recta con una probabilidad de 0.85 (85%). Para este dato, el punto ocurre a los **567** perros calientes. Problema resuelto.

Pero, espere un momento. ¿Cómo asegura usted este tipo de análisis?

La respuesta es ..... aproximadamente en un 50% (según la estadística). Esto es, con 567 perros calientes en el próximo juego de béisbol usted tiene un 15% de probabilidad de que tenga menos perros calientes de los requeridos, o que tenga un 15% más de los perros vendidos (el Rango Medio implica un 50 - 50 de posibilidades para la probabilidad real, siendo mas bajo a mas alto de lo estimado). Dado que su presidente de comité le dice que usted deberá asegurarse en un 90% de que los clientes no atendidos sean menores al 15%, usted deberá tener **CONFIABILIDAD** (algunos autores la llaman *Confianza*).

Usted puede obtener la confiabilidad requerida para valores diferentes al 50% (Rango Medio). Para el efecto, debe trazar sobre el mismo Gráfico de Weibull la línea de confiabilidad superior del 90%, la cual usualmente es curva (Ver Fig. 2).

En la Fig. 2, entrando por la escala vertical con un 85% de ocurrencia hasta la línea curva de confiabilidad del 90%, y bajando verticalmente, se encuentra en la escala horizontal con un valor de 647 perros calientes. Esa es la cantidad (647) que usted deberá comprar para el próximo partido, para que por lo menos tenga un 85% de posibilidades de satisfacer a todos los futuros clientes con un 90 de confianza (Confiabilidad).

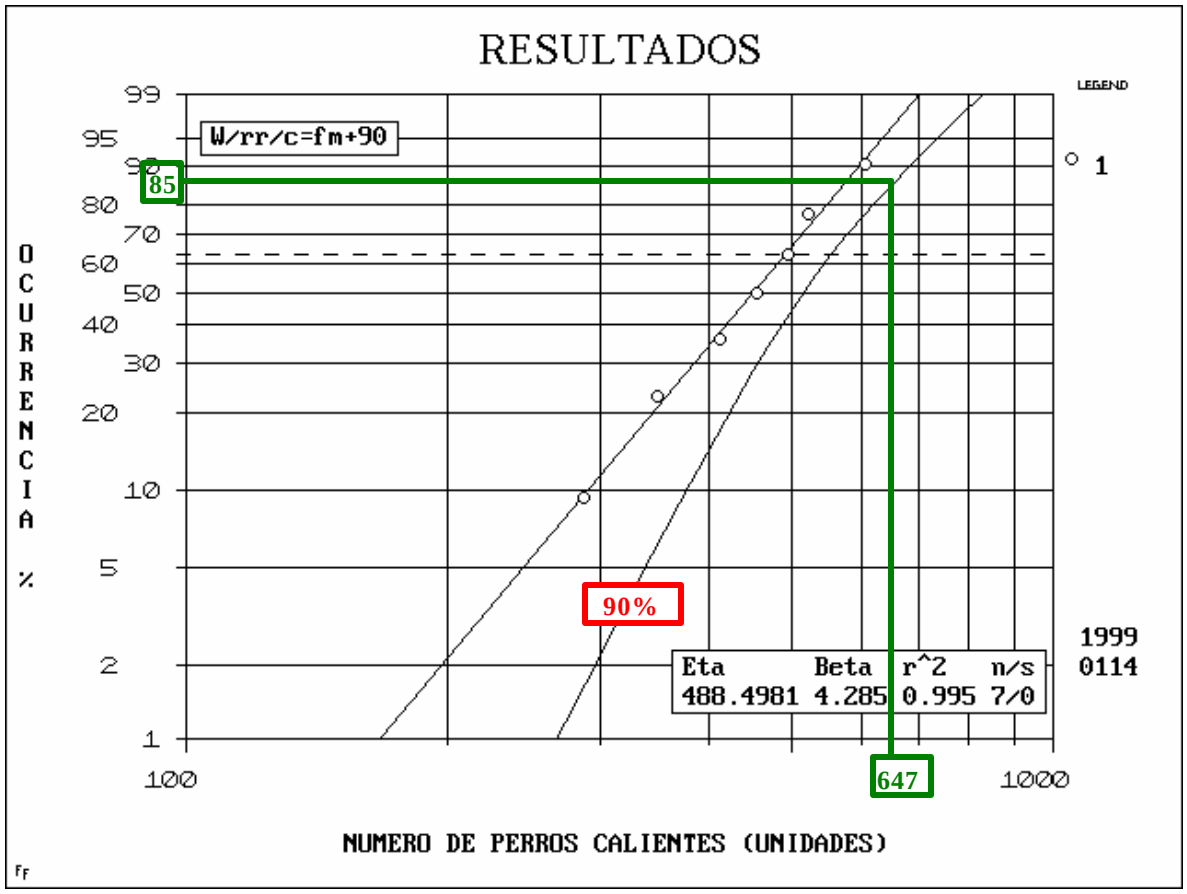


Fig. 2. Gráfico de Weibull con curva de Confianza del 90%

Pero, otro momento. Suponga ahora que en un nuevo partido (octavo) a la altura del séptimo inning empezó a llover fuertemente, se suspendió el partido y usted solamente había vendido 370 perros calientes. Usted sabe que habría podido vender más (mas de 370 perros calientes) si no hubiera llovido. Este dato, por su característica, se llama **SUSPENDIDO** y debe tenerse en cuenta para el cálculo total, por lo que la mayoría de software lo considera y le da un tratamiento especial (por convención: -370), el cual afecta los rangos medios (Ver Tabla 2).

El tercer punto en la Tabla 2 es el valor de dato de suspensión (-370). Usualmente, los números de secuencia después de una suspensión no son enteros.

Continuando con el ejemplo, el número de perros calientes que usted debe comprar, para tener un 85% de posibilidades de satisfacer a todos sus clientes, con un 90% de confianza (Confiabilidad) es de 641, debido a la adición de este nuevo dato de suspensión (Ver Fig. 3).

ORDEN	DATO	RANGO MEDIO
1	287	0.0833333
2	349	0.202381
3	-370	**Suspensión**
4	412	0.3412698
5	453	0.4801587
6	492	0.6190476
7	521	0.7579364
8	604	0.8968253

Tabla 2

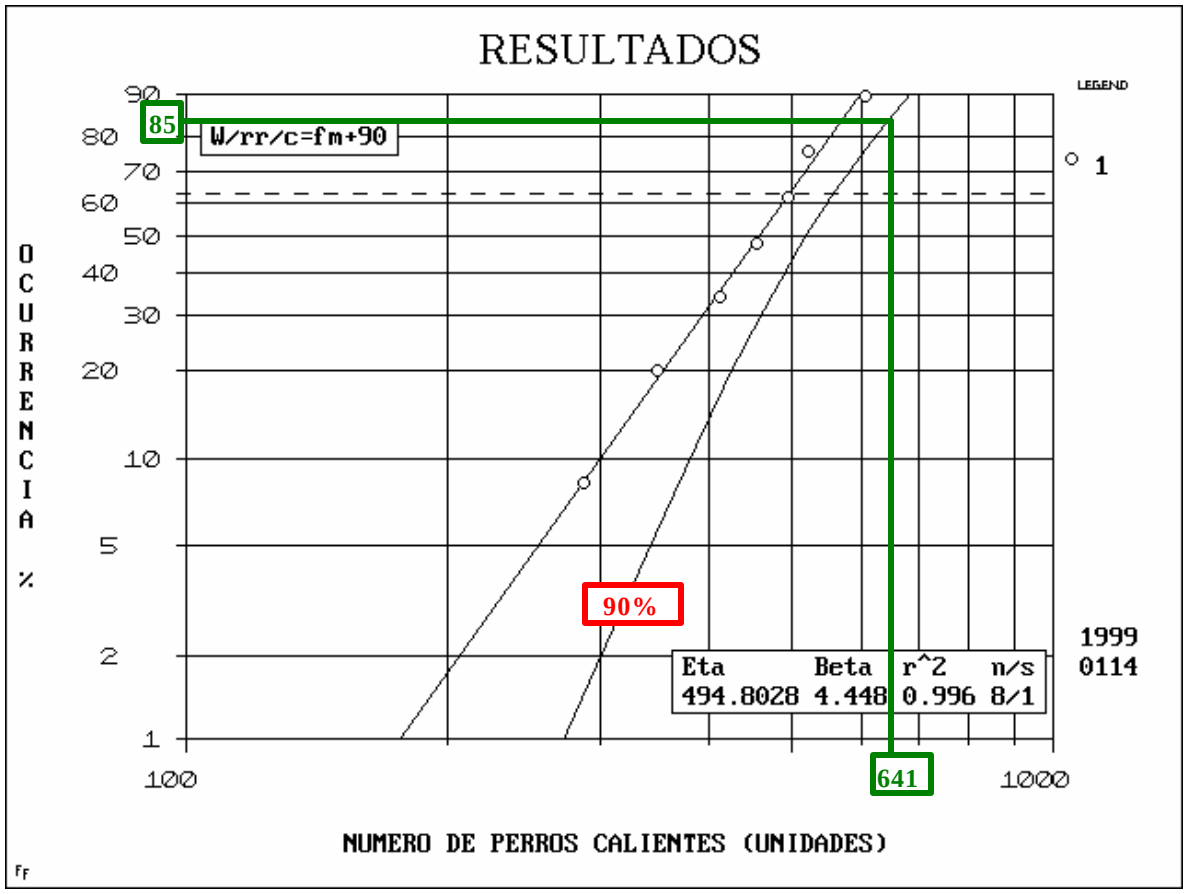


Fig. 3. Gráfico de Weibull con curva de Confianza del 90% y 1 Suspensión

Con esta información, usted regresa a donde su presidente de comité, le muestra los resultados y le indica el ahorro de 800 - 641 = 159 perros calientes por partido. Felicitaciones, ha concluido usted con éxito su análisis, con un ahorro considerable para su Comité.

OTROS CASOS

La técnica de Weibull puede ser usada para estimar la probabilidad en numerosos casos. Es frecuente emplearla en estimar la vida de los rodamientos. La vida B-10 (falla del 10%) se obtiene cuando se prueban rodamientos nuevos bajo condiciones de carga, velocidad y lubricación específicas, con un resultado de falla del 10% de los rodamientos.

Suponga que usted ha probado 4 rodamientos y registrado la vida útil de cada uno de ellos: 55, 70, 40, y 65 horas. Usted puede obtener la vida B-10 graficando los datos mediante la técnica de Weibull. La vida B-10 se obtiene localizando el 10% en la línea de ocurrencia sobre el eje vertical y encontrando el punto en el eje horizontal correspondiente. Así, para el ejemplo, la vida B-10 es de 34 horas (Ver Fig. 4). Esto quiere decir, que a las 34 horas de operación, y para esos rodamientos en particular, fallarán un 10% de ellos.



Fig. 4. Gráfico de Weibull para el ejemplo de los rodamientos

Traducido y adaptado por **Héctor Danilo Ordóñez Lozano**