



## RESUMEN

---

# TECNOLOGÍA DE MÁQUINAS BLOQUEII

---

### Autor

LEÓN PITA Pedro

Este documento es un resumen de la parte de la asignatura de mantenimiento, vibraciones y corrientes inducidas hasta la prueba del 17 oct 2017. No se recomienda usarlo como único soporte para el estudio. Cualquier errata, comentario o añadido, enviar el PDF comentado a [pleonpita@gmail.com](mailto:pleonpita@gmail.com), gracias.

Última actualización 17 de diciembre de 2017

# Índice

<b>I</b>	<b>Mantenimiento (Tema 6)</b>	<b>3</b>
<b>1</b>	<b>Mantenimiento</b>	<b>3</b>
1.1	Definiciones . . . . .	3
1.2	Objetivos y funciones . . . . .	3
1.3	Probabilidad de fallo de la máquina frente al tiempo . . . . .	4
1.4	Filosofías de mantenimiento . . . . .	4
1.5	Técnicas de ensayo predictivo . . . . .	4
<b>II</b>	<b>Vibraciones (Tema13)</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Fundamentos</b>	<b>6</b>
2.1	Movimiento armónico simple . . . . .	6
2.2	Medida de la amplitud de vibración . . . . .	6
2.3	Espectro de vibración . . . . .	7
<b>3</b>	<b>Adquisición de datos</b>	<b>8</b>
3.1	Transductores . . . . .	8
3.2	Posicionamiento del sensor . . . . .	8
<b>4</b>	<b>Normas y guías</b>	<b>9</b>
<b>5</b>	<b>Diagnóstico de fallos mediante análisis espectral</b>	<b>9</b>
5.1	Desequilibrio . . . . .	10
5.2	Desalineación . . . . .	10
5.3	Excentricidad . . . . .	10
5.4	Eje doblado . . . . .	10
5.5	Holgura mecánica eje-agujero . . . . .	11
5.6	Soltura estructural . . . . .	11
5.7	Engranajes . . . . .	11
5.8	Rodamientos . . . . .	11

5.9	Otros . . . . .	11
<b>III</b>	<b>Corrientes Inducidas (Tema 11)</b>	<b>12</b>
<b>6</b>	<b>Corrientes Inducidas</b>	<b>12</b>
6.1	Características . . . . .	12
6.2	Fundamentos teóricos . . . . .	12
6.3	Variables que intervienen en los exámenes por CI . . . . .	12
6.4	Tipos de sondas . . . . .	13

## Parte I

# Mantenimiento (Tema 6)

## 1. Mantenimiento

### 1.1. Definiciones

- **Disponibilidad:** es la proporción de tiempo durante la cual el sistema o equipo está en condiciones de ser usado.
- **Fiabilidad:** la fiabilidad se define como la probabilidad de que un bien funcione adecuadamente durante un período determinado bajo condiciones operativas específicas.
- **Mantenibilidad:** la capacidad que tiene un activo o componente de ser mantenido o restaurado en un período de tiempo dado a un estado donde sea capaz de realizar su función original de nuevo.

### 1.2. Objetivos y funciones

Los objetivos del mantenimiento son:

- Reducir costos de operación, reparación y producción.
- Maximizar el aprovechamiento de los recursos disponibles.
- Garantizar la seguridad de operación de los equipos.

Las funciones del mantenimiento son:

- Administrar y formar al personal de mantenimiento.
- Programar los trabajos de mantenimiento.
- Mantener las listas de repuestos y lubricantes.
- Coordinar la retirada de equipos que presentan altos costos de mantenimiento, así como disponer de los desperdicios y del material recuperable.

### 1.3. Probabilidad de fallo de la máquina frente al tiempo

- **Período de mortalidad infantil:** se produce en cierta maquinaria nueva o tras reparación. Pobre lubricación, mala instalación, desalineamiento o desequilibrio de ejes, etc.
- **Período de vida útil:** con probabilidad de fallo constante y baja.
- **Período de envejecimiento:** la máquina o el componente falla por fatiga o desgaste.

### 1.4. Filosofías de mantenimiento

- **Correctivo:** mantenimiento hasta el fallo. Permitir que la máquina falle y sólo reparar o reemplazar los componentes dañados. Sólo si la parada de equipos no afecta a la producción. Coste elevado de daños secundarios.
- **Preventivo:** mantenimiento basado en el calendario, programar las actividades de mantenimiento en intervalos de tiempo predeterminados.
- **Predictivo:** mantenimiento basado en la condición de la máquina, sólo cuando detectamos un **fallo funcional**. Nos avisa de que la máquina va a fallar pero no prolonga su vida útil.
- **Proactivo:** mantenimiento basado en la confiabilidad, evitando además del fallo, la causa que produce su mal funcionamiento y deterioro.

**Fallo potencial vs. fallo funcional:** hablamos de fallo potencial como señal o indicador de un posible fallo funcional. Este último impide a la máquina llevar a cabo su función y está sujeto a la definición de cuál es la *función* de la máquina, mientras que con un fallo potencial la máquina sigue cumpliendo su misión.

### 1.5. Técnicas de ensayo predictivo

- **1- Emisión acústica:** se denomina emisión acústica a la energía liberada por una fisura cuando una estructura se deforma elásticamente debido a una carga externa. Detectar grietas, corrosión, defectos de soldadura, etc.

- **2- Análisis de aceites y partículas:** prueba poco específica que indica anomalías en las condiciones de funcionamiento. Para concretar las causas del fallo se debe estudiar más en profundidad.
- **3- Termografía:** : análisis a distancia. Control de la condición de aisladores de alta tensión y las conexiones eléctricas, elementos de máquinas como ventiladores, cojinetes, rodamientos, etc.
- **4- Control de corrosión:** pérdidas por corrosión = 3-4 % PIB. Tipos de ensayos: ultrasonidos, corrientes inducidas, resistencia eléctrica, penetración de hidrógeno, probetas de ensayo de corrosión y polarización lineal.
- **5- Análisis de vibración:** explicadas en profundidad en la Parte [II](#).
- **6- Ensayos no destructivos (END):** visual, líquidos penetrantes, partículas magnéticas, ultrasonidos, radiología y corrientes inducidas (Parte [III](#)).

## Parte II

# Vibraciones (Tema13)

## 2. Fundamentos

Todo sistema dinámico está compuesto por tres elementos básicos: Masa (M), Rigidez (K) y Amortiguación (C).

### 2.1. Movimiento armónico simple

- **Frecuencia:**  $f$ (Hz=ciclo por segundo).  $f = \frac{1}{T}$
- **Amplitud:** indicador de la severidad de la vibración y se puede expresar: de pico, pico-pico (en señales asimétricas distinto a  $2* pico$ ) y  $RMS = 0,707.pico$ .
- **Fase:** indicador de la causa que genera el fallo. Relación temporal entre dos señales.

### 2.2. Medida de la amplitud de vibración

- **Desplazamiento:** sensible a bajas frecuencias ( $f < 10Hz$ ). Valor p-p ( $\mu m$ )
- **Velocidad:** zona intermedia de frecuencias. Valor RMS ( $\frac{mm}{s}$ ).
- **Aceleración:** sensible a altas frecuencias ( $f > 1kHz$ ). Valor RMS ( $\frac{mm}{s^2}$ ,  $\frac{m}{s^2}$ ,  $g's$ )

### 2.3. Espectro de vibración

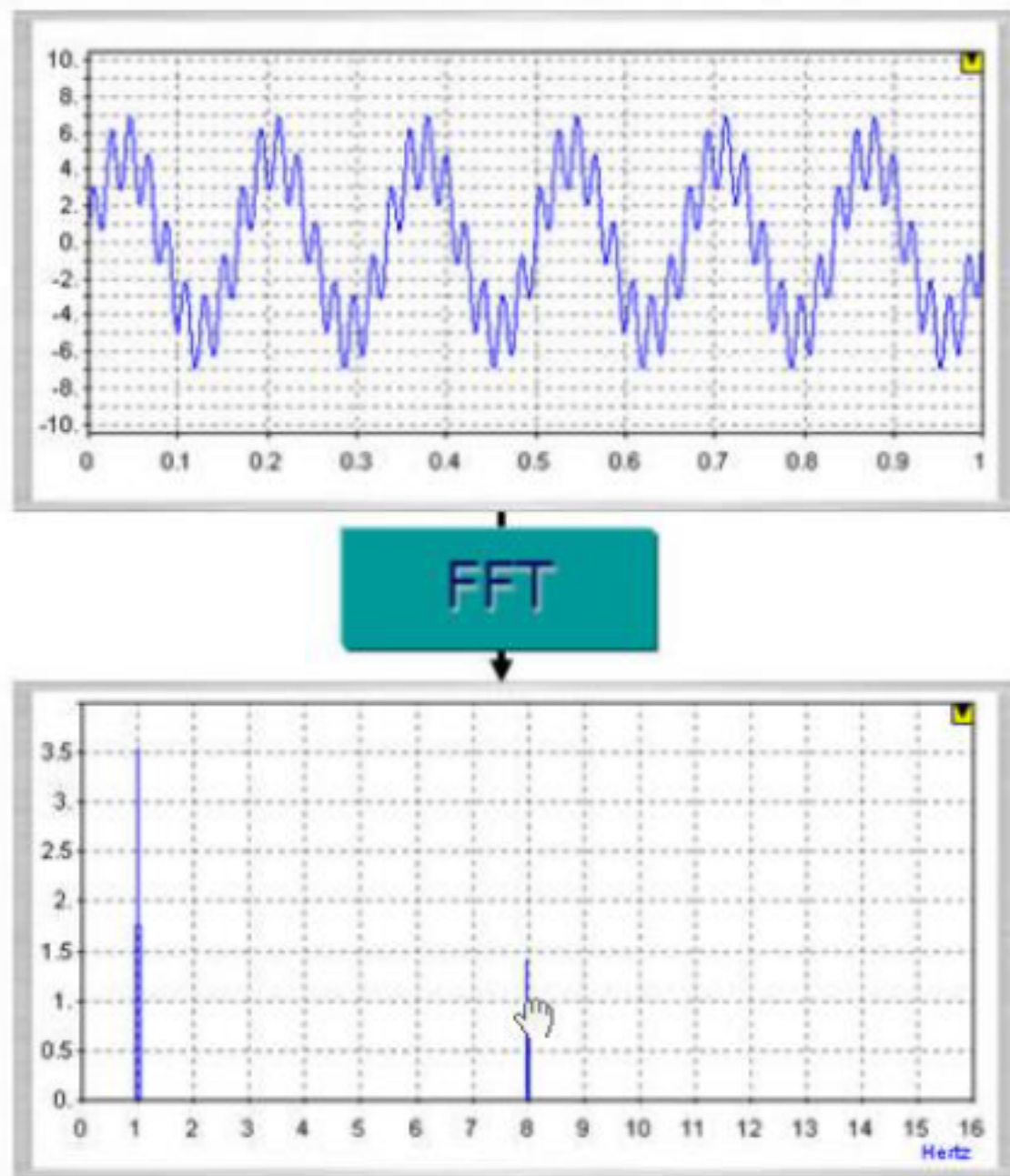


Figura 1: Fast Fourier Transformation

**Vibración libre vs vibración forzada:** libre si se deja después de una perturbación inicial y forzada si el sistema se somete a una  $F_{externa}$  que se repite en el tiempo.



### 3. Adquisición de datos

Existen dos tipos de medidores, el vibrómetro es más simple que el analizador de vibraciones:

- **Vibrómetro:** mide vibraciones entre 10Hz y 1kHz. Se dice que capta únicamente la señal.
- **Analizador de vibraciones:** tiene uno o varios canales. Con FFT (Fast Fourier Transformation) obtiene las componentes del espectro de vibración. Con varios análisis espectrales podemos obtener las gráficas de tendencia de la máquina.

#### 3.1. Transductores

Transforma la vibración mecánica en una señal analógica.

- **de desplazamiento:** instalación permanente, rango [0,1.000] Hz. Son imprescindibles para máquinas críticas<sup>1</sup>
- **de velocidad:** fijos o portátiles, rango [10,2.000] Hz. Sensibles a los cambios de temperatura.
- **de aceleración:** fijos o portátiles, rango [1,30.000]Hz. Pueden integrar la señal para obtener velocidades y posiciones. Son los más usados.<sup>2</sup>

#### 3.2. Posicionamiento del sensor

En el mejor de los casos se montan sensores en los 3 planos para obtener una imagen completa. Los verticales y horizontales se suelen colocar a 45 grados para evitar la gravedad. A la hora de posicionar el sensor, evitar carcassas para conseguir una transmisión óptima de la vibración y superficie lisa.

---

<sup>1</sup>Cojinete vs. rodamientos: los rodamientos tienen elementos rodantes y sus vibraciones serán de frecuencia elevada, proporcional al número de elementos rodantes. Esto no pasa así en los cojinetes. Frecuencias elevadas indican pequeños desplazamientos.

<sup>2</sup>Para máquinas con temperatura >120°C se usan medidas de **termografía** para realizarlas a distancia.

## 4. Normas y guías

La carta de Rathbone ha quedado en desuso y actualmente se utiliza la **Norma ISO 10816**, según la cual las máquinas se clasifican en 4 sub-grupos para detectar sus fallos.

- **Grupo 1:** grandes,  $P > 300\text{kW}$  y altura de eje  $H > 315\text{mm}$ .
- **Grupo 2:** medianas,  $15\text{kW} < P < 300\text{kW}$  y  $160\text{mm} < H < 315\text{mm}$ .
- **Grupo 3:** bombas con impulsor de múltiples álabes,  $P > 15\text{kW}$ .
- **Grupo 4:** bombas con impulsor de múltiple álabes,  $P < 15\text{kW}$ .

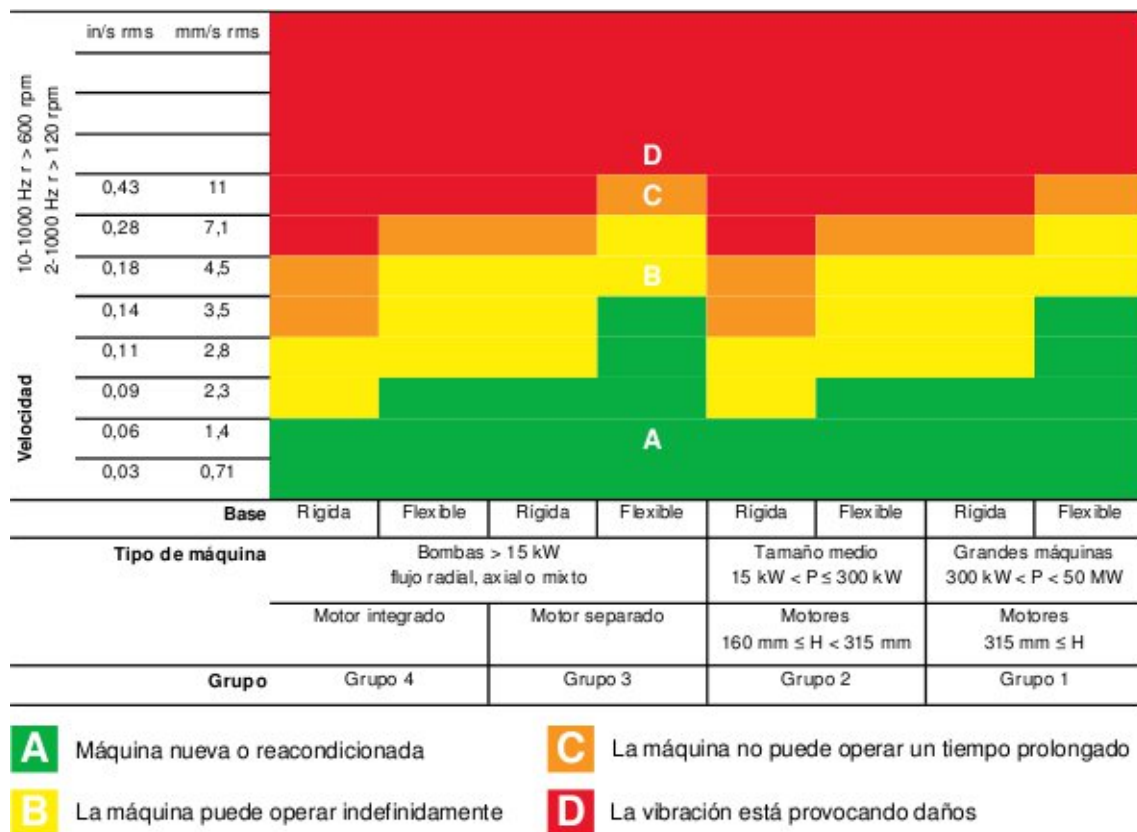


Figura 2: Severidad 10816

## 5. Diagnóstico de fallos mediante análisis espectral

Diferenciamos 3 zonas del espectro:

- **Frecuencia múltiplo de 1:** desequilibrio, desalineación, holguras, paso de álabes, frecuencia de engranajes, etc.
- **Sub-síncrona, menor a la 1:** turbulencias de aceite, frecuencia de correas, holguras, etc.
- **Asíncrona, no múltiplo de 1:** fallos en rodamientos, resonancia, cavitación, etc.

### 5.1. Desequilibrio

- **Estático:**  $1 * rpm$ , desfase = 0 V1/V2 (extremos distintos) y 90 V1/H1 (mismo extremo).
- **De par:**  $1 * rpm$ , desfase = 180 V1/V2 y 90 V1/H1.
- **Dinámico:**  $1 * rpm$ , se observa en sensores axiales.
- **En rotor voladizo:**  $1 * rpm$ , se observa en sensores axiales y radiales.

### 5.2. Desalineación

- **Angular:**  $1, 2, 3 * rpm$   
Desfase en sensores respecto al acoplamiento axiales = 180 y radiales = 0.
- **Longitudinal:**  $1, 2, 3 * rpm$   
Desfase en sensores respecto al acoplamiento axiales = 180 y radiales = 180.
- **Mixta**

### 5.3. Excentricidad

$1 * rpm$  del eje que sufre la falla. Desfase H/V (mismo punto) = 0.

### 5.4. Eje doblado

$1 * rpm$  (centrado) y  $2 * rpm$  (extremos). Desfase axial = 180.

### 5.5. Holgura mecánica eje-agujero

$\frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{2}{3}, 1, 2, 3, 4, 5 \dots * rpm$ . Desfase = se dice que la fase es inestable.

### 5.6. Soltura estructural

$1 * rpm$ . Desfase máquina-pie = 180.

### 5.7. Engranajes

$1, 2 * rpm$  del piñón conductor y a  $GMF = n.dientes * RPM$

- **Desgaste del diente:** frecuencia natural del engranaje desgastado.
- **Desalineamiento:**  $2^\circ$  o mayor orden de la GMF.
- **Problemas de Hunting:**  $f_H = \frac{GMF}{n.dientesPin * n.dientesEngranaje}$

### 5.8. Rodamientos

Conocidos el número de bolas (n), el diámetro de las bolas (d), el diámetro primitivo (D) y el ángulo de contacto ( $\alpha$ ) tenemos los posibles defectos:

- **Defect on Inner Race,**  $BPI = \frac{1}{2} \cdot n \cdot \left(1 + \frac{d}{D} \cdot \cos \alpha\right)$
- **Defect on Outer Race,**  $BPO = \frac{1}{2} \cdot n \cdot \left(1 - \frac{d}{D} \cdot \cos \alpha\right)$
- **Defect on Cage,**  $FT = \frac{1}{2} \cdot \left(1 - \frac{d}{D} \cdot \cos \alpha\right)$
- **Defect on Balls,**  $BS = \frac{1}{2} \cdot \frac{D}{d} \cdot \left(1 + \left(\frac{d}{D}\right)^2 \cdot \cos^2 \alpha\right)$

$$f_{bola} = BS * velocidadGiroDelEje$$

### 5.9. Otros

- **Flujo de líquidos y gases:**  $BPF = n.paletas * RPM$
- **Lubricación de cojinetes:** 40 o 50 por ciento del RPM.
- **Problemas eléctricos:** 50Hz (a veces 100Hz).

## Parte III

# Corrientes Inducidas (Tema 11)

## 6. Corrientes Inducidas

### 6.1. Características

- Técnicos mejor preparados que para los métodos de LP (Líquidos Penetrantes) y PM (Partículas Magnéticas)<sup>3</sup>.
- Más sensible a los defectos muy pequeños superficiales y sub-supeficiales.
- Profundidad limitada.
- Solo válido para materiales conductores, ferromagnéticos y no ferromagnéticos.

### 6.2. Fundamentos teóricos

El campo magnético producido por la sonda induce una corriente en el material que queremos examinar, esta corriente a su vez crea un campo magnético opuesto que varía la corriente de la sonda, variando su impedancia también.

Impedancia de la sonda: resistiva (R) e inductiva (L).

Lift-off(LO): siendo  $Z_0$  a la impedancia del aire,  $Z_1$  será la impedancia de la superficie de la pieza. La componente inductiva disminuye porque el campo magnético de las CI se opone al original. La componente resistiva aumenta debido a las pérdidas por las CI.

### 6.3. Variables que intervienen en los exámenes por CI

- **Conductividad eléctrica ( $\rho$ )**: inversamente proporcional a la componente reactiva y directamente proporcional a la impedancia de LO,  $Z_0$ .

---

<sup>3</sup>Estos métodos se estudiarán en los temas 8 y 10 respectivamente

- **Existencia de grietas:** aumenta la reactancia inductiva y el ángulo de fase.

$$\theta = \frac{x}{\delta}$$

Donde  $\theta$  es el desfase adicional,  $x$  la profundidad del defecto y  $\delta$  la profundidad estándar de penetración.

- **Permeabilidad magnética ( $\mu_r$ ):** efectos inversos a la conductividad eléctrica.  $\mu_r = 1$  para no ferromagnéticos.
- **Frecuencia de la corriente de la bobina:** la variación de la frecuencia afecta la profundidad de penetración. La intensidad de las corrientes disminuye exponencialmente con la profundidad. Llamamos **profundidad de penetración estándar** ( $\delta$ ) para un 37 % de la existente en la superficie y **profundidad efectiva de penetración** ( $3.\delta$ ) para un 5 %.

$$\delta = 50 * \sqrt{\frac{\rho}{f \cdot \mu_r}}; \delta = \frac{660}{\sqrt{f \cdot \sigma \cdot \mu_r}}$$

Donde  $\delta$  es la profundidad estándar de penetración,  $\rho$  es la resistividad del material,  $f$  la frecuencia de la bobina,  $\sigma$  conductividad en %IACS y  $\mu_r$  la permeabilidad magnética.

## 6.4. Tipos de sondas

Según su **geometría**:

- **de superficie:** eje del solenoide normal a la superficie (torta/lápiz").
- **envolventes:** productos largos de sección circular
- **interiores:** tubos de intercambiadores de calor.

Según su **funcionamiento**:

- **absolutas:** la misma bobina produce y analiza las CI. Para medir espesores, conductividad y grietas.
- **de reflexión:** dos bobinas, una genera las CI y otra las analiza.
- **diferenciales:** la respuesta es proporcional a la diferencia de la señal de ambas bobinas y son adecuadas para grietas pequeñas.