

FORMACIÓN PARA EL MANTENIMIENTO DE MÁQUINAS

Roque Calero Pérez
Catedrático de Universidad
Área de Ingeniería Mecánica

**XVIII Congreso
de Confiabilidad**

Madrid. 23 y 24 de noviembre de 2016





EL MARCO GLOBAL DEL MANTENIMIENTO

La fabricación masiva de productos en los últimos años se ha basado en la deslocalización de las fábricas a zonas de bajos costes de producción y en la limitación de la vida de los productos (hasta el punto que en muchos casos el mantenimiento se basa en la reposición completa del producto).

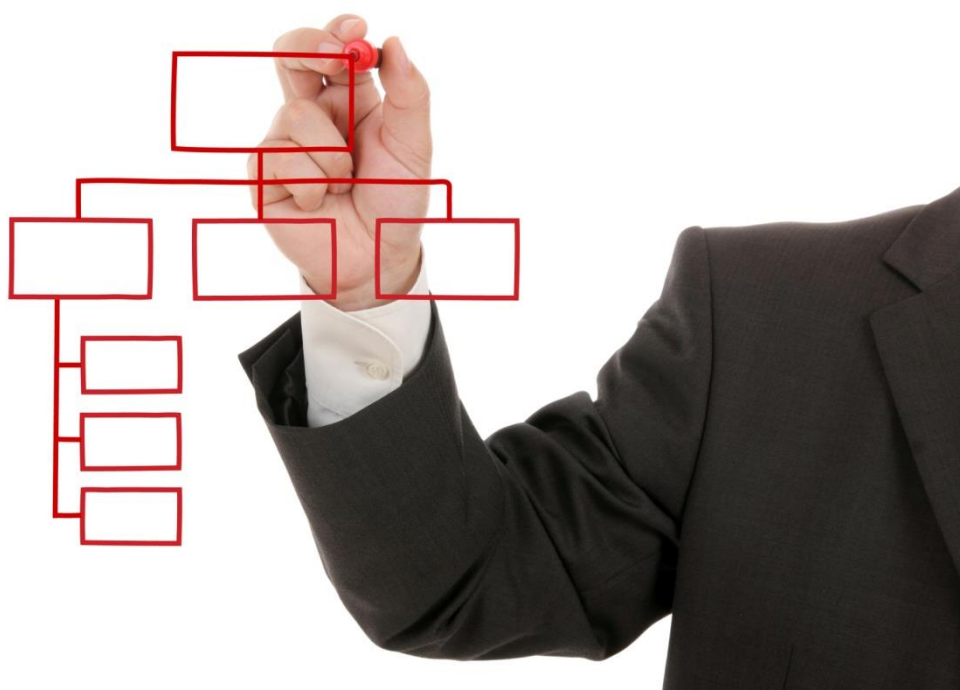
Esta situación, claramente insostenible por múltiples razones, requiere dos actuaciones:

- La necesidad de alargar la vida útil de todo tipo de máquinas y productos para conseguir la disminución del consumo de materias primas y la generación de residuos.
- La necesidad de relocalizar la producción tanto por razones de equilibrio del mercado de trabajo como por la implantación de las nuevas tecnologías de fabricación cerca del consumidor (impresoras 3D)

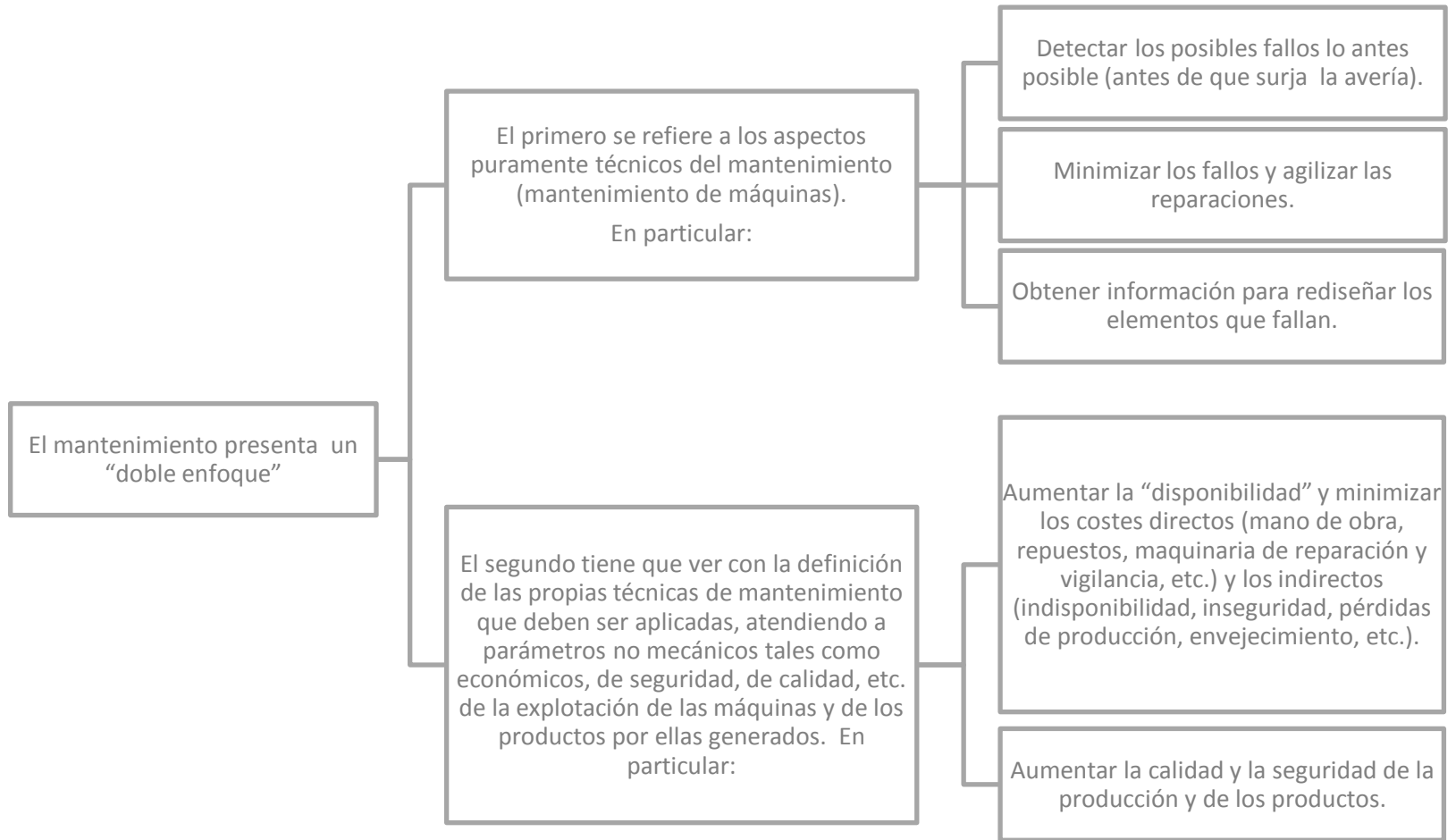
Por otro lado cada vez mayor número de máquinas se caracterizan por una elevada complejidad y una elevada incidencia sobre la calidad de vida y la seguridad de todas las personas.

Todas estas razones exigen un mantenimiento de máquinas próximo y de calidad y que además se va a constituir en una pieza esencial del giro necesario hacia un mundo mas sostenible.





ÁREAS CONCEPTUALES DEL MANTENIMIENTO



Para cubrir ambos objetivos del mantenimiento existen múltiples análisis, técnicas y procedimientos, destacando en el primer grupo las técnicas de mantenimiento preventivo, predictivo, etc. y dentro del segundo los análisis de confiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad, etc. (Conocidas por sus siglas en inglés RAM: Reliability, Availability, Maintainability)
En todo caso ambos aspectos están directamente relacionados.

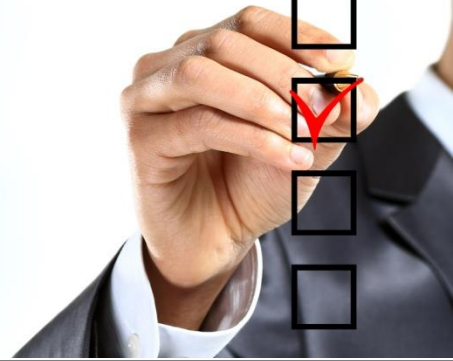


ÁREAS RESTRINGIDAS DEL MANTENIMIENTO



El Mantenimiento de Máquinas se centra en los aspectos técnicos del mantenimiento (y no en la gestión del mismo) y en particular:

- ✓ Mantenimiento de máquinas aisladas en servicio (incluyendo sus componentes mecánicos, hidráulicos, eléctricos o electrónicos).
- ✓ Mantenimiento de sistemas mecánicos en servicio compuestos por varias máquinas encadenadas dentro de un proceso industrial.
- ✓ Mantenimiento de instalaciones que pueden contener máquinas y otros componentes: de aire acondicionado, de frío (frigoríficos), de aire comprimido, de suministro de agua, etc.
- ✓ Rediseño de máquinas, con la perspectiva de eliminar sus fallos o mejorar sus prestaciones.



**NIVELES DE OPERACIÓN EN EL
MANTENIMIENTO DE MÁQUINAS Y PERSONAL
NECESARIO**

1

Primer nivel de mantenimiento:

Acciones sencillas que se precisan para la correcta operación de la máquina, realizadas en puntos de la misma accesibles y con garantías de seguridad (gracias a normas estrictas y equipos y herramientas incorporadas a la misma), tales como inspecciones y controles simples, limpiezas, engrases, cambios de componentes consumibles, etc. En general operaciones incluidas en un mantenimiento preventivo elemental

Requiere una mínima cualificación del personal y la realiza en muchos casos por el propio operario de la máquina.

2

Segundo nivel de mantenimiento:

Acciones que precisan el uso de equipos específicos de mantenimiento y del procedimientos de uso de los mismos, pero de elevada simplicidad, tales como ajustes y reglajes, sustitución normalizada de componentes (de fácil sustitución). etc. En general operaciones incluidas en un mantenimiento correctivo y preventivo medio

Requiere un personal con una formación específica para estas tareas (que se sustente en una formación profesional adaptada)

3

Tercer nivel de mantenimiento:

Acciones que precisan el uso de equipos complejos y procedimientos también complejos, tales como reglajes generales, alineaciones de ejes, reparaciones y cambios de componentes complejas, etc. , pero referidas a una máquina (o conjunto de estas) determinada. Se trata de operaciones relacionadas con un mantenimiento preventivo de elevada complejidad pero especializado.

Requiere de un personal con una formación de técnico especializado que domine equipos complejos e instrucciones de operación de seguimiento pero en el estricto marco de la máquina objeto de mantenimiento

4

Cuarto nivel de mantenimiento:

Acciones que precisan el uso de equipos complejos y procedimientos también complejos tales como reparaciones especializadas, verificación de aparatos de medida, medida de parámetros críticos (vibraciones, termografía, etc.), emisión de informes, etc.. pero no circunscritas a una máquina determinada. Se trata de trabajos relativos a un mantenimiento preventivo y predictivo de alto nivel

Requiere un personal técnico muy cualificado (o un equipo de estos) con el dominio de una técnica (análisis del estado de las máquinas por vibraciones, por ejemplo) y que se ayude de instrucciones de mantenimiento particulares y generales

5

Quinto nivel de mantenimiento:

Acciones relacionadas con la renovación o reconstrucción de componentes y de máquinas recurriendo a un amplio número de tecnologías (incluyendo las de diseño y fabricación), así como a la definición (o redefinición) de las propias técnicas de mantenimiento y de su gestión (análisis estadísticos y de fiabilidad, análisis financieros, etc.)

Requiera de un personal técnico de muy alta cualificación, con formación multidisciplinar, capaces de trabajar en el conjunto de un equipo en el que participan diseñadores , constructores, etc.

Características generales de los diferentes niveles

	Primer nivel	Segundo nivel	Tercer nivel	Cuarto nivel	Quinto nivel
Especialización	No precisa	Baja	Alta	Media	Baja
Multidisciplinaridad	No precisa	No precisa	Baja	Alta	Muy Alta
Capacidad de análisis	No precisa	No precisa	Baja	Media	Muy Alta
Dominio de conceptos	No precisa	Baja	Media	Alta	Muy Alta
Inmediatez de las acciones	Elevada	Elevada	Elevada	Media	Baja
Responsabilidad	Baja	Media	Media	Alta	Muy Alta
Duración de la formación	Muy corta	Corta	Media	Alta	Muy Alta





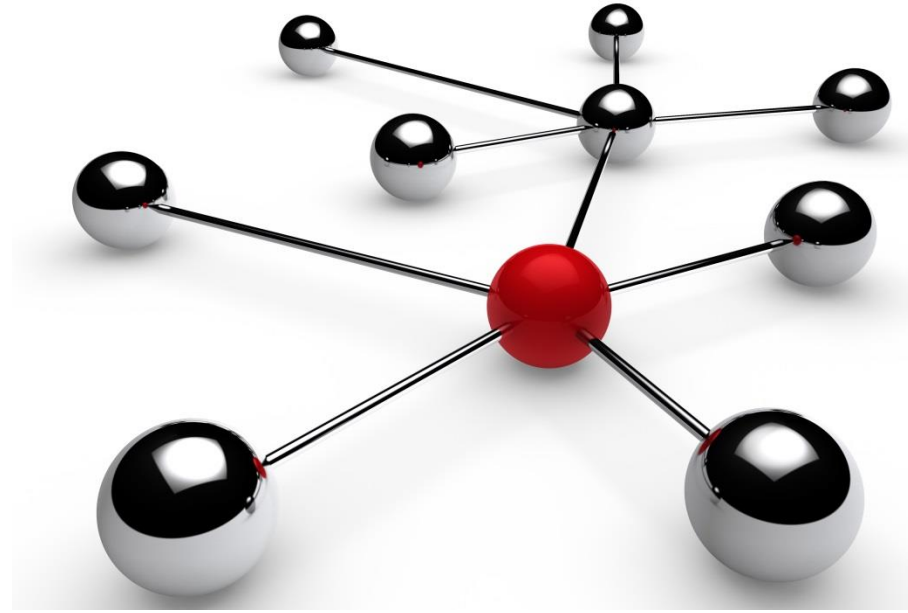
CONTENIDO GENÉRICO DE LA FORMACIÓN PARA EL MANTENIMIENTO DE MÁQUINAS

Árbol de conocimientos implícitos en el mantenimiento de máquinas



Materias implícitas en la formación para el mantenimiento de máquinas

Teoría de máquinas	
<ul style="list-style-type: none"> • Topología de máquinas y elementos • Comportamiento cinemático y dinámico de máquinas 	
Diseño de elementos de máquinas	Economía y administración de empresas
<ul style="list-style-type: none"> • Esfuerzos sobre los componentes (de todo tipo) • Acciones exteriores sobre la máquina 	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de costes • Gestión del mantenimiento
Materiales	Informática
<ul style="list-style-type: none"> • Composición química y física • Composición metalúrgica 	<ul style="list-style-type: none"> • Software aplicado al mantenimiento
Sistema de fabricación de los elementos de las máquinas	Estadística
<ul style="list-style-type: none"> • Deformación, corte, fundición, arranque de material, adición de material, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fiabilidad
Electricidad y Electrónica	
<ul style="list-style-type: none"> • Máquinas eléctricas y circuitos • Instrumentación (de todo tipo) 	



CONTENIDO TEMÁTICO DE LA FORMACIÓN PARA EL MANTENIMIENTO DE MÁQUINAS (MÁXIMO NIVEL)

FORMACIÓN PARA EL MANTENIMIENTO DE MÁQUINAS

BLOQUE 1	Conceptos previos	M 0: Introducción al mantenimiento de máquinas
		M 1: Tribología aplicada al mantenimiento de máquinas
		M 2: Teoría de vibraciones aplicada al mantenimiento de máquinas
		M 3: Instrumentación aplicada al mantenimiento de máquinas
		M 4: Teoría de equilibrado aplicada al mantenimiento de máquinas
		M 5: Teoría de fiabilidad aplicada al mantenimiento de máquinas
BLOQUE 2	Cuerpo central de conocimientos	M 6: Tipos y origen de fallos en elementos de máquinas.
		M 7: Técnicas y sistemas de detección de fallos en elementos de máquinas
		M 8: Técnicas y sistemas para la detección de fallos de máquinas en servicio por análisis del lubricante
		M 9: Técnicas y sistemas para la detección de fallos de máquinas en servicio por análisis de las vibraciones
		M 10: Otras técnicas y sistemas para la detección de fallos de máquinas en servicio (termografía, ultrasonidos, etc.)
BLOQUE 3	Introducción a la gestión del mantenimiento	M 11: Tipos de gestión del mantenimiento de máquinas

M0: Introducción al mantenimiento de máquinas

M0 - Tema 1

Visión global del mantenimiento de máquinas

M0 - Tema 2

La máquina en el proceso tecnológico

M0 - Tema 3

Composición general de las máquina

M1: Tribología aplicada al mantenimiento de máquinas

M1 - Tema 1

Rozamiento entre elementos de máquinas

M1 - Tema 2

Desgaste entre elementos de máquinas

M1 - Tema 3

Lubricantes para máquinas

M1 - Tema 4

Lubricación de mecanismos y máquinas

M2: Teoría de vibraciones aplicada al mantenimiento de máquinas

M2 - Tema 1

Movimientos armónicos y movimientos periódicos

M2 -Tema 2

Introducción al estudio de las vibraciones mecánicas

M2 -Tema 3

Caracterización de las acciones perturbadoras y de las vibraciones inducidas

M2 -Tema 4

Vibraciones en sistemas vibrantes

M2 -Tema 5

Análisis de vibraciones en diferentes dominios

M3: Instrumentación aplicada al mantenimiento de máquinas

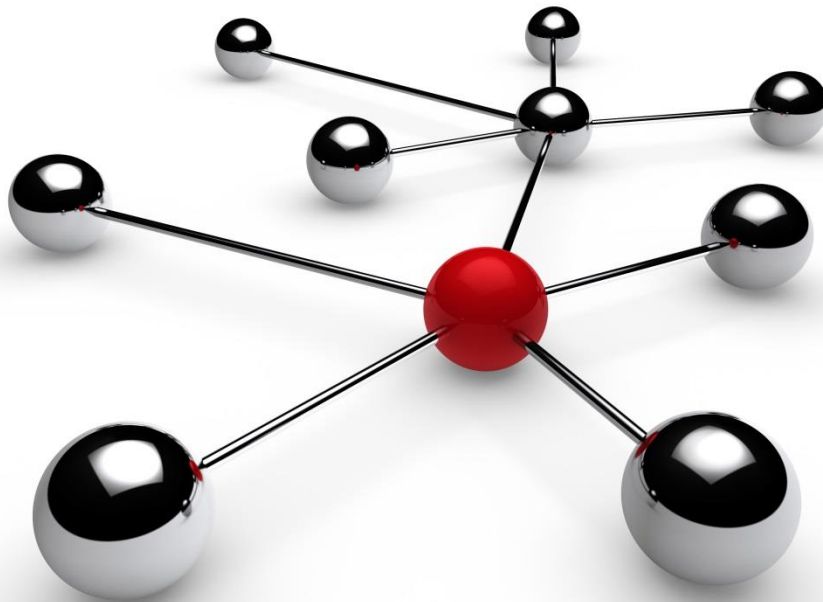
M3 - Tema 1	Introducción a la instrumentación aplicada al mantenimiento de máquinas
M3 -Tema 2	Características generales y básicas de la instrumentación
M3 -Tema 3	Elementos del subsistema de captación y acondicionamiento
M3 -Tema 4	Elementos del subsistema de tratamiento, visualización y registro
M3 -Tema 5	Elementos del subsistema de análisis de la señal
M3 -Tema 6	Cadena para medida de desplazamientos (lineales y angulares)
M3 -Tema 7	Cadena para medida de velocidades angulares
M3 -Tema 8	Cadena para medida de velocidades y aceleraciones lineales
M3 -Tema 9	Cadena para medida de vibraciones
M3 -Tema 10	Cadena para medida de tensiones
M3 -Tema 11	Cadena para medida de fuerzas y pares
M3 -Tema 12	Cadena para medida de presiones
M3 -Tema 13	Cadena para medida del sonido
M3 -Tema 14	Cadena para medida de temperaturas
M3 -Tema 15	Cadena para medida de gastos

M4: Teoría de equilibrado aplicada al mantenimiento de máquinas

M4 -Tema 1	Introducción al equilibrado de máquinas
M4 -Tema 2	Equilibrado de rotores
M4 -Tema 3	Equilibrado de motores
M4 -Tema 4	Máquinas y prácticas de equilibrado
M4 -Tema 5	Alineación de ejes y árboles

M5: Teoría de fiabilidad aplicada al mantenimiento de máquinas

M5 -Tema 1	Teoría de fiabilidad aplicada al mantenimiento de máquinas
------------	--



M6: Tipos y origen de fallos en elementos de máquinas y mecanismos

M6 - Tema 1	Tipos y origen de fallos en elementos de máquinas
M6 - Tema 2	Fallos en ejes y árboles
M6 - Tema 3	Fallos en cojinetes de frotamiento
M6 - Tema 4	Fallos en cojinetes de rodamientos
M6 - Tema 5	Fallos en mecanismos de engranajes
M6 - Tema 6	Fallos en mecanismos de cadenas y ruedas
M6 - Tema 7	Fallos en mecanismos de correas y poleas
M6 - Tema 8	Fallos en mecanismos de cables y poleas
M6 - Tema 9	Fallos en resortes
M6 - Tema 10	Fallos en tornillos y remaches
M6 - Tema 11	Fallos en juntas de estanqueidad
M6 - Tema 12	Fallos en mecanismos hidráulicos y neumáticos
M6 - Tema 13	Fallos en cigüeñales, bielas, pistones y cilindros de motores



M7: Técnicas y sistemas de detección de fallos en elementos de máquinas

M7 - Tema 1	Introducción
M7 - Tema 2	Técnicas ópticas
M7 - Tema 3	Técnicas acústicas
M7 - Tema 4	Técnicas magnéticas
M7 - Tema 5	Técnicas eléctricas
M7 - Tema 6	Técnicas radiográficas

M8: Técnicas y sistemas de detección de fallos de máquinas en servicio por análisis de los lubricantes

M8 - Tema 1	Introducción
M8 - Tema 2	Técnicas y equipos empleados para detectar la presencia de contaminantes en los lubricantes líquidos
M8 - Tema 3	Identificación de los fallos y sus causas a partir de los resultados del análisis del lubricante
M8 - Tema 4	Aplicación de las técnicas a equipos industriales

M9: Técnicas y sistemas de detección de fallos de máquinas en servicio por análisis de sus vibraciones

M9 - Tema 1

Conformación de la cadena de medida

M9 - Tema 2

Detección de fallos en mecanismos simples por análisis de sus vibraciones

M9 - Tema 3

Detección de fallos en elementos no mecánicos por análisis de sus vibraciones

M9 - Tema 4

Normativas sobre vibraciones en máquinas

M10: Técnicas y sistemas variados de detección de fallos de máquinas en servicio

M10 -Tema 1

Técnicas basadas en análisis de infrarrojos (termografía)

M10 -Tema 2

Técnicas basadas en análisis de ultrasonidos

M10 -Tema 3

Técnicas basadas en el análisis de la contaminación del medio circundante

M11: Tipos de gestión del mantenimiento

M11 -Tema 1

Introducción a la gestión del mantenimiento de Máquinas

M11 -Tema 2

Gestión del mantenimiento preventivo

M11 -Tema 3

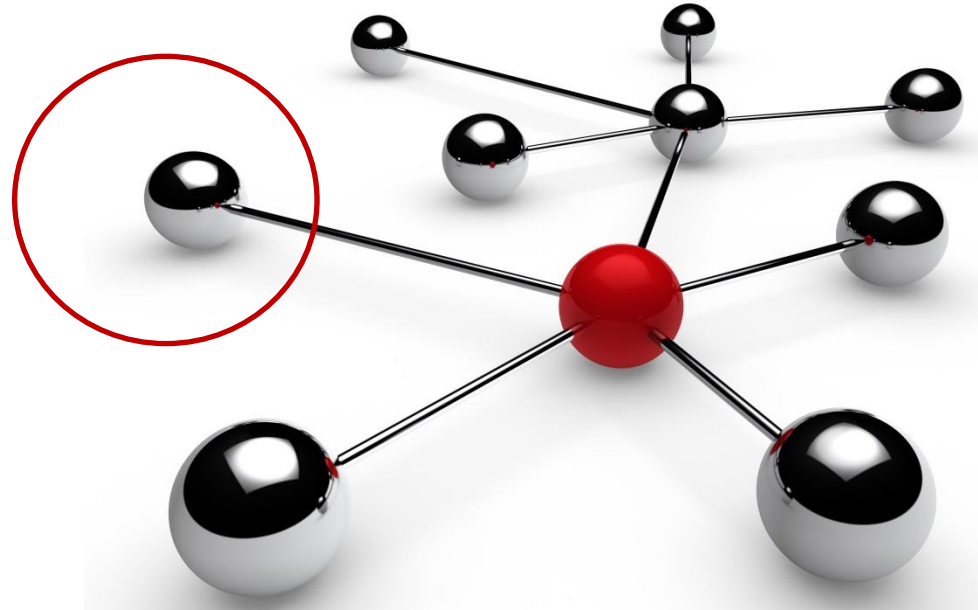
Gestión del mantenimiento predictivo

M11 -Tema 4

Gestión del mantenimiento correctivo

M11 -Tema 5

Gestión del mantenimiento en relación con la producción



CONTENIDO DETALLADO DE LA FORMACIÓN PARA EL MANTENIMIENTO DE MÁQUINAS EN ESPAÑA

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1. Introducción general

2. CONCEPTOS PREVIOS SOBRE EL ANÁLISIS DE SEÑALES

2.1. Introducción

2.2. Recordatorio de análisis en el dominio del tiempo

2.3. recordatorio de análisis en el dominio de la frecuencia

3. CUADRO DE INSTRUMENTACIÓN PARA EL ANÁLISIS DE SEÑALES DINÁMICAS

3.1. instrumentación empleada para análisis de la señal

3.2. Instrumentación empleada en el análisis de los sistemas

4. ANALIZADORES ANALÓGICOS EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA

4.1. Analizador de filtros paralelos

4.2. Analizador de filtro de barrido

4.3. Analizadores de sistemas

5. CONVERTIDORES ANALÓGICO DIGITALES A/D

5.1. Introducción

5.2. Convertidor A/D

5.2.1. Introducción

5.2.2. Método de contador

5.3. Convertidor D/A

5.3.1. Introducción

6. ANALIZADORES DIGITALES EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA

6.1. Características de un analizador FFT

6.1.1. Introducción

6.1.2. Composición de un ASD FFT

6.1.3. Muestra (sample), bloque (block) y tiempo de registro (time record) en un ASD FFT

6.1.4. Tiempo de computación y buffer de un ASD FFT

6.1.5. Procesado con solapamiento (Overlap processing)

6.1.6. Líneas del espectro

6.1.7. Rango de frecuencias de un ASD FFT

6.1.8. Ancho de banda para tiempo real (Real Time Bandwith)

6.1.9. Resolución de un ASD-FFT (FFT Resolution)

6.1.10. Frecuencias aliadas (Filtro Aliasin)

6.1.11. Selector de banda y zoom (Band selector y zoomin)

6.1.12. Derrame y ventaneado (Likage and windowing)

6.2. Aplicación del FFT al análisis de la señal

6.2.1. Promedio (Averaging), coherencia (Coherence), autocorrelación (Autocorrelation), correlación cruzada (Cross Correlation), espectros simultáneos para diferentes velocidades de la máquina (waterfalls, cascade), detección de picos (PeakVue), envolvente, cepstrum

M3: Instrumentación aplicada al
mantenimiento de máquinas

M3 -Tema 5

Elementos del subsistema de
análisis de la señal

1. INTRODUCCIÓN

- 1.1. Introducción general
- 1.2. Definición de “fallo” de elemento de máquina
- 1.3. Clasificación de los fallos en elementos de máquinas
- 1.4. Evolución temporal de los fallos
- 1.5. Distribución estadística de los fallos

2. MECANISMOS DE FALLOS EN ELEMENTOS DE MÁQUINAS

- 2.1. Generalidades
- 2.2. Mecanismos de rotura
 - 2.2.1. Rotura dúctil
 - 2.2.2. Rotura frágil
 - 2.2.3. Rotura por fatiga
 - 2.2.4. Rotura por impacto
- 2.3. Mecanismos de deformación
 - 2.3.1. Generalidades
 - 2.3.2. Ratchening
 - 2.3.3. Pandeo cíclico inelástico
 - 2.3.4. Deformaciones por contacto
 - 2.3.5. Identaciones y otros
- 2.4. Mecanismos de deterioro superficial
 - 2.4.1. Generalidades
 - 2.4.2. Mecanismos de desgaste (Desgaste adhesivo, Desgaste abrasivo, Desgaste erosivo, Desgaste corrosivo, Desgaste por fatiga superficial, Desgaste erosivo – corrosivo, Desgaste por cavitación – erosión, Fretting, Scuffing” (arañado))
 - 2.4.3. Mecanismos de corrosión (Corrosión uniforme, Corrosión por picaduras (pitting corrosión), Colada selectiva (selective leaching), Corrosión intergranular, Ataque selectivo entre inclusiones, Bolsas de corrosión (crevice corrosión), Corrosión galvánica, Corrosión bacteriana)
- 2.5. Mecanismos combinados
 - 2.5.1. generalidades
 - 2.5.2. Corrosión bajo tensión estática (stress-corrosión cracking)
 - 2.5.3. Corrosión bajo fatiga

3. FUENTES DE FALLOS EN ELEMENTOS DE MÁQUINAS

- 3.1. Introducción
- 3.2. Fallos por deficiencias de diseño
- 3.3. Fallos por imperfecciones del material
- 3.4. Fallos por deficiencias en el procesamiento (conformación)
 - 3.4.1. Fallos de piezas conformadas en frío
 - 3.4.2. Fallos de piezas forjadas
 - 3.4.3. Fallos de piezas moldeadas (hierro y acero)
 - 3.4.4. Fallos de piezas soldadas
 - 3.4.5. Fallos de piezas conformadas por mecanizado
- 3.5. Fallos por errores de montaje
- 3.6. Fallos por incorrectas condiciones de servicio y mantenimiento

M6: Tipos y origen de fallos en elementos de máquinas y mecanismos

M6 –Tema 1

Tipos y origen de fallos en elementos de máquinas

- 1. OBJETIVOS DEL MANTENIMIENTO EN RELACIÓN CON LA PRODUCCIÓN**
 - 1.1. Generalidades
- 2. MEDIOS HUMANOS EN LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO DE MÁQUINAS**
 - 2.1. Generalidades
- 3. SUMINISTROS PARA EL MANTENIMIENTO**
 - 3.1. Generalidades
 - 3.2. Existencias de seguridad
 - 3.3. Suministro mediante equipos nuevos
 - 3.4. Suministro mediante canibalización
- 4. SELECCIÓN DE LOS MÉTODOS DE MANTENIMIENTO DE MÁQUINAS SIN RELACIÓN CON LA PRODUCCIÓN**
 - 4.1. Selección por árbol de decisiones
 - 4.2. Selección por costes comparados
- 5. SELECCIÓN DE LOS MÉTODOS DE MANTENIMIENTO EN RELACIÓN CON LA PRODUCCIÓN**
 - 5.1. Introducción
 - 5.2. Selección por coste global del ciclo de vida
- 6. GESTIÓN INFORMATIZADA DEL MANTENIMIENTO DE MÁQUINAS**
 - 6.1. Generalidades sobre el mantenimiento asistido por ordenador (GMAO)
 - 6.2. Generalidades sobre el mantenimiento asistido por realidad aumentada



SITUACIÓN Y PERSPECTIVAS DE LA FORMACIÓN PARA EL MANTENIMIENTO DE MÁQUINAS EN ESPAÑA

EN LAS EMPRESAS

- Formación a medida de sus necesidades específicas (mantenimiento de sus productos, o venta de formación para el uso de sus productos)

EN LA FORMACIÓN PROFESIONAL

- Formación poco práctica (por ausencia de equipos y/o contactos con la empresa)
- Profesorado centrado en el centro (desconectado con la realidad industrial)
- Se supone que la empresa completa la formación

EN LA UNIVERSIDAD

- Nunca ha constituido un cuerpo de conocimientos autónomo y comprensivo de todas las disciplinas que intervienen en el mantenimiento (especialidad integral).
- Siempre se ha conformado como disciplinas marginales en los currículos normales (o subsidiarias de estas)
- Solo existen algunos cursos Máster que cumplen parte de los requisitos, al estar basados en conocimientos no incluidos que se suponen conocidos y relacionados con las materias propias del mantenimiento
- Pocas veces se relaciona el diseño de máquinas y sistemas con el mantenimiento de estas (diseño para mantenibilidad)
- El mantenimiento se aleja de la universidad en la medida que esta se aleja de la empresa, de la realidad industrial

EN LA FORMACIÓN NO REGLADA

- Formación online (o semipresencial) por múltiples empresas y organismos públicos (colegios y asociaciones profesionales)
- Profesorado conectado con la realidad industrial
- Oferta muy variada y con diferentes grados de intensidad
- Muchas veces escasa formación conceptual

PERSPECTIVAS DE LA FORMACIÓN PARA LA PRÁCTICA DEL MANTENIMIENTO DE MÁQUINAS EN ESPAÑA

En el caso muy probable que la formación reglada en la práctica del mantenimiento no cambie en un próximo futuro y habida cuenta de la necesidad imperiosa de cubrir el enorme hueco de profesionales capacitados, a todos los niveles, que se está creando, debería ponerse en marcha un conjunto de acciones encaminadas a la formación del personal del mantenimiento de máquinas en todos sus niveles que conjugue los esfuerzo de diversos actores :

- Profesionales de las empresas y del sistema educativo reglado, de diferentes especialidades y con diferentes perfiles, comprometidos personalmente con esta formación.
- Equipamiento para prácticas reales, fundamentalmente aquellos empleados por las propias empresas en sus labores normales o adaptados en su caso a las labores formativas.
- Material docente del máximo nivel conceptual y pedagógico, que hagan fácil la tarea de aprendizaje.
- Uso de los recursos que las TIC's ponen de la formación actual, tanto on line como semipresencial.

En todo caso la formación debe ser lo mas realista y práctica posible de manera que sea directamente aplicable y que los profesionales así formados se integren de inmediato en la actividad de la empresa, aportando sus conocimientos a la mejora de la misma en un área de actividad que es crucial para la mejora de su competitividad.

