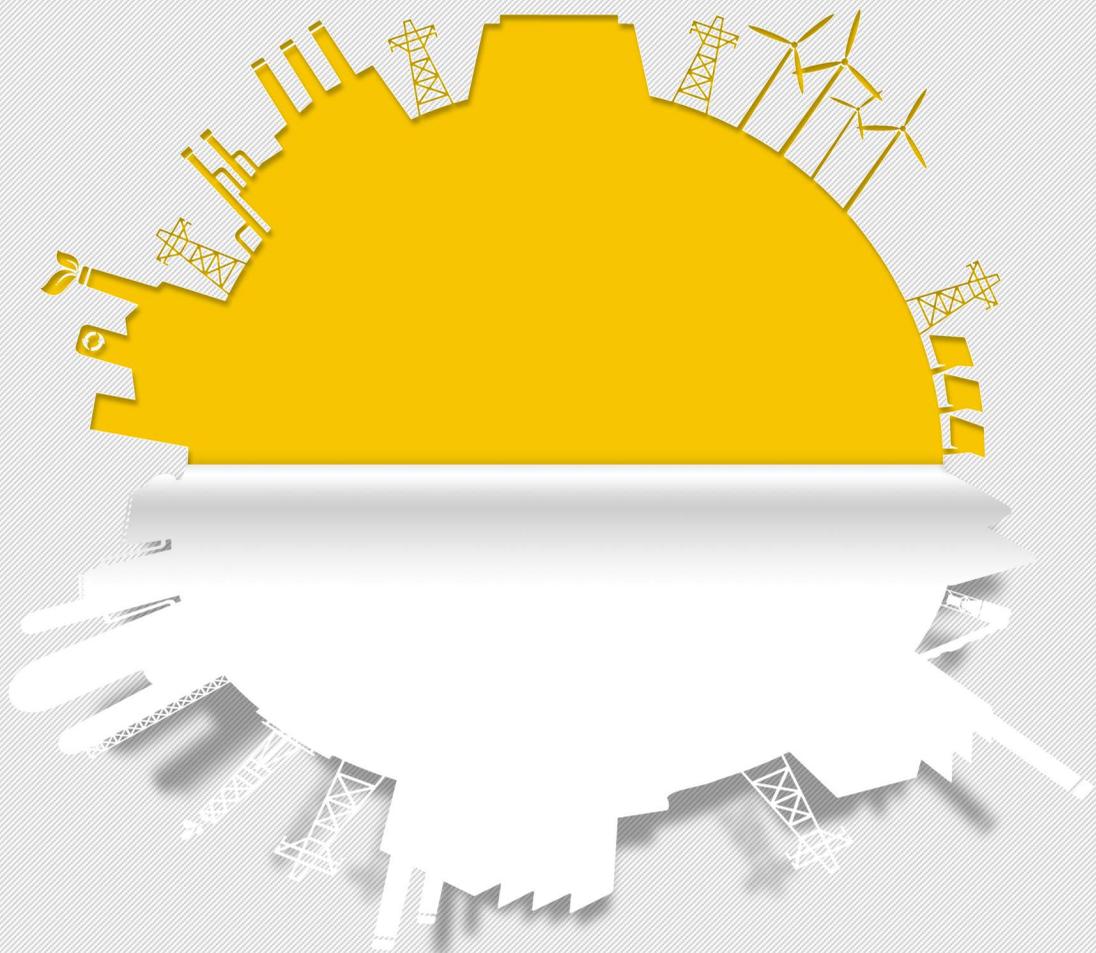


Mantenimiento Eficiente de Edificios

6

AGENCIA EXTREMEÑA DE LA ENERGÍA



Edita:

Agencia Extremeña de la Energía.

Elabora:

Agencia Extremeña de la Energía.

Autor:

Justo García Sanz-Calcedo

Revisor:

Cosme Segador Vegas

Dep. Legal:

Agencia Extremeña de la Energía.

Maquetación e impresión:

Agencia Extremeña de la Energía.

ISBN:

978-84-695-7616-8

Año de edición:

2014

Presentación

El proyecto ALTERCEXA II, aprobado en el marco de la primera convocatoria del Programa Operativo de Cooperación Territorial Transfronteriza España- Portugal (2007- 2013), tiene como objetivo identificar, analizar, evaluar y aprovechar los recursos energéticos disponibles y mejorar su uso en las regiones de Centro, Alentejo y Extremadura, con el fin de abordar conjuntamente problemáticas comunes de forma adecuada a través de la propuesta de soluciones innovadoras y eficaces.

La presente guía es una de las nueve publicaciones del proyecto que la Agencia Extremeña de la Energía ha editado con el fin de fomentar mejores técnicas e investigación en energías alternativas, eficiencia energética y promover la movilidad y el transporte sostenible.

Otras de las acciones de la agencia en ALTERCEXA II, pasan por la propuesta de soluciones de diseño y construcción de edificios públicos energéticamente eficientes, la creación de un software de gestión energética de edificios y diversas jornadas de divulgación sobre eficiencia energética y energías renovables.

AGENCIA EXTREMEÑA DE LA ENERGÍA

Índice

1.	INTRODUCCIÓN.....	11
	EL MANTENIMIENTO EN LA EDIFICACIÓN	11
	RESPONSABILIDAD DEL MANTENIMIENTO.....	16
	GESTIÓN ECONÓMICA DEL MANTENIMIENTO	16
	COSTES DE INDISPONIBILIDAD.....	18
	MANTENIMIENTO Y AHORRO ENERGÉTICO	19
2.	DIAGNÓSTICO DE FALLOS	21
	TIPOLOGÍAS DE FALLOS	21
	TIPOLOGÍA DE AVERÍAS	24
	ESTRATEGIAS DE DIAGNÓSTICO.....	26

3.	CONFIABILIDAD.....	29
	ETAPAS DE LA FUNCIÓN TASA DE FALLOS.....	37
	FIABILIDAD.....	38
	DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL.....	39
	MANTENIBILIDAD.....	41
	FIDELIDAD.....	42
	VIDA ÚTIL DE INSTALACIONES.....	42
4.	ESTRATEGIAS.....	45
	MANTENIMIENTO REGRESIVO.....	45
	MANTENIMIENTO REACTIVO.....	45
	MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....	46
	MANTENIMIENTO PREDICTIVO.....	49
	MANTENIMIENTO PROACTIVO.....	52
	POLÍTICA DE MANTENIMIENTO.....	53
5.	PLAN DE MANTENIMIENTO.....	55
	RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN TÉCNICA.....	55

REALIZACIÓN DE INVENTARIO	56
CUMPLIMENTACIÓN DE FICHAS TÉCNICAS	58
SELECCIÓN DE GAMAS DE MANTENIMIENTO	59
DEFINICIÓN DE INTERVENCIONES Y FRECUENCIAS.....	60
PLANTEAMIENTO DE ACTUACIÓN	60
6. GAMAS TÉCNICO-LEGALES	65
APARATOS ELEVADORES.....	65
GENERADORES DE CALOR	67
CALDERAS DE VAPOR Y AGUA SOBREALENTADA	68
GENERADORES DE FRÍO.....	69
INSTALACIONES TÉRMICAS	70
INSTALACIONES FRIGORÍFICAS	71
CENTROS DE TRANSFORMACIÓN	72
LÍNEAS ELÉCTRICAS DE ALTA TENSIÓN.....	73
INSTALACIONES DE ALUMBRADO EXTERIOR	73
INSTALACIONES ELÉCTRICAS RECEPTORAS.....	74

INSTALACIONES CONTRA INCENDIOS	75
ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLES LÍQUIDOS	76
DISTRIBUCIÓN Y UTILIZACIÓN DE COMBUSTIBLES GASEOSOS.....	77
DEPÓSITOS DE GASES CRIOGÉNICOS.....	78
PREVENCIÓN LEGIONELOSIS	79
ALMACENAMIENTO DE PRODUCTOS QUÍMICOS	81
CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA.....	81
PLAN DE AUTOPROTECCIÓN	82
7. PRUEBAS Y ENSAYOS	85
PARTÍCULAS MAGNÉTICAS	85
CORRIENTES INDUCIDAS.....	86
LÍQUIDOS PENETRANTES.....	86
RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL.....	87
TERMOGRAFÍA INFRARROJA	88
ANÁLISIS TRIBOLÓGICO	89
ANÁLISIS POR ULTRASONIDOS	90

ANÁLISIS DE VIBRACIONES	91
BOROSCOPIA	91
INSPECCIÓN SENSORIAL.....	92
MEDICIÓN DE LA TRANSMITANCIA TÉRMICA EN PAREDES	93
EQUILIBRADO DINÁMICO DE ROTORES.....	94
ALINEACIÓN DE ACOPLAMIENTOS.....	94
ANÁLISIS MODAL EXPERIMENTAL	95
MEDICIÓN DE LA CALIDAD TÉRMICA DEL EDIFICIO	96
MEDICIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE DEL EDIFICIO.....	97
8. DOCUMENTACIÓN	99
LIBRO DEL EDIFICIO	99
INSTRUCCIONES DE USO Y MANIOBRA	100
PLAN DE MANTENIMIENTO.....	101
PROGRAMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA	102
INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD	102
PROTOCOLOS DE ACTUACIÓN EN SITUACIONES DE EMERGENCIA	103

PLAN DE CONTROL DE CALIDAD.....	104
PLAN DE SEGURIDAD Y SALUD.....	104
CERTIFICADO DE MANTENIMIENTO.....	105
9. BIBLIOGRAFÍA	107

1. Introducción

El mantenimiento en la edificación

El Real Decreto 314/2006 que aprueba el Código Técnico de la Edificación en España [1], dice en el artículo 8 que el edificio y sus instalaciones se deben conservar en *buen estado mediante un adecuado mantenimiento*, indicando expresamente las acciones que para ello se deben realizar:

- a) Llevar a cabo el plan de mantenimiento del edificio, encargando a técnico competente las operaciones programadas para el mantenimiento del mismo y de sus instalaciones.
- b) Realizar las inspecciones reglamentariamente establecidas y conservar su correspondiente documentación.
- c) Documentar a lo largo de la vida útil del edificio todas las intervenciones, ya sean de reparación, reforma o rehabilitación, realizadas sobre el mismo.

Por otro lado, la Instrucción Técnica IT-3 del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios [2], establece la obligatoriedad de diseñar un programa de mantenimiento de las instalaciones térmicas de los edificios, que contenga la programación de las tareas necesarias, así como los procedimientos de documentación y archivo de todas las actuaciones preventivas y de reparación que

tengan lugar en cada instalación concreta, permitiendo que terceros puedan comprobar que se mantienen las prestaciones previstas en cada instalación.

Se observa pues, que después de muchos años sin normativa específica, la normativa recurre al mantenimiento focalizado en la explotación con criterios medioambientales, de eficiencia energética y optimización de servicios, como sistema eficiente de gestión de un edificio.

Un edificio en buen estado ha de ser seguro y evitar cualquier riesgo que puedan afectar a sus ocupantes. Los edificios a medida que envejecen presentan peligros: escapes de gas, descargas eléctricas, desprendimientos en fachadas,... Un edificio en buen estado de conservación elimina peligros y aumenta la seguridad, dura más, envejece más dignamente y permite utilizarlo más años, evitando los elevados gastos que habría que efectuar si, de repente, fuera necesario hacer reparaciones importantes originadas por un problema que se haya ido agravando con el tiempo. Además, un buen aislamiento térmico y un buen funcionamiento de las instalaciones de electricidad, gas, calefacción o aire acondicionado permiten un importante ahorro energético, colaborando con la conservación del medio ambiente.

Un edificio será confortable si es posible contar con las máximas prestaciones de todos sus equipos e instalaciones, lo cual producirá un nivel óptimo de confort en un ambiente de temperatura y humedad adecuada, suficiente aislamiento acústico y óptima iluminación y ventilación. En resumen, un edificio en buen estado de conservación, puede mejorar la calidad de vida a sus usuarios.

El mantenimiento ha adquirido una importancia creciente en el curso de las últimas décadas, principalmente a causa de la sofisticación de las instalaciones del edificio. Un edificio de viviendas, docente, hospitalario, oficinas, comercial,... se diseña para una vida útil operativa de 50 años, aunque en España realmente se alcanzan muchos más, ya que no es habitual ver demoliciones de edificios con una antigüedad inferior a 70 años.

En la figura 1.1 se ha representado las distintas etapas de la vida útil de un edificio y se puede observar como el proceso de diseño y construcción representa muy poco tiempo respecto al proceso de funcionamiento, y sin embargo las consecuencias de un incorrecto diseño o de una elección inconveniente de materiales, ocasiona problemas y deficiencias que se arrastran durante el resto de la vida útil del edificio.

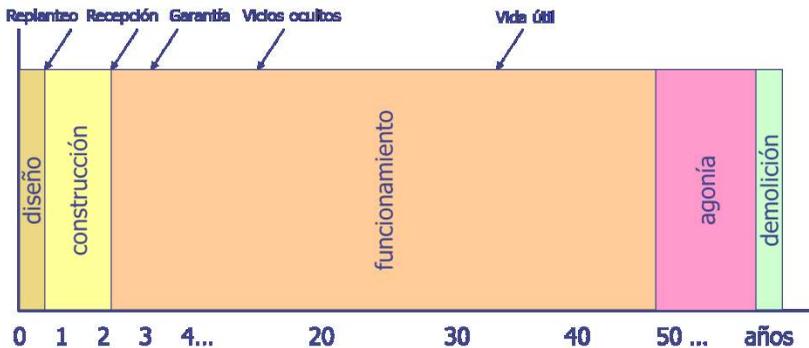


Figura 1.1. Etapas de la vida útil de un edificio

Si se analiza un edificio desde una perspectiva de los costes operativos durante su vida útil, se observa que el 5% de su coste corresponde al proyecto, el 20% a la construcción, el 65% de los costes corresponde al mantenimiento y gastos de explotación y el 10% restante al coste de la rehabilitación o derribo, según las conclusiones del Laboratorio de Edificación de la Escuela Politécnica Superior de Edificación de Barcelona.

Aunque una parte de los problemas habituales en la edificación provienen de un incorrecto diseño de los edificios y de sus instalaciones, la falta o el inadecuado mantenimiento es un problema que afecta a una gran parte del parque inmobiliario existente en España [3].

Esto hace que el mantenimiento se convierta en el elemento que permite que se llegue o se supere adecuadamente el periodo de vida útil del edificio en condiciones óptimas de funcionamiento [4], y es la herramienta imprescindible en los edificios para garantizar las condiciones de diseño, sobre todo en lo referente a gestión del gasto energético.

La puesta en marcha de un edificio es una fase muy importante, y sin duda va a condicionar el rendimiento, la disponibilidad y por supuesto, su mantenimiento. Es evidente que un buen diseño de la instalación, una correcta elección de equipos y una buena ejecución del proyecto son aspectos absolutamente básicos. Y también es evidente la gran influencia que tiene la operación y el mantenimiento para la obtención de esos resultados.

La importancia de la gestión del mantenimiento deriva de la problemática del deterioro de los equipos y de las consecuencias que conlleva este deterioro en cuanto a la fiabilidad de las actividades del edificio, que pueden llegar a afectar a la seguridad de los usuarios.

El mantenimiento se define según la norma UNE-EN-13306, como el conjunto de actividades técnicas, administrativas y de gestión para alargar la vida útil de un edificio o de un elemento en concreto, con la finalidad de conservarlo o devolverlo a un estado en el cual pueda desarrollar la función requerida [5].

Sin embargo, la norma francesa AFNOR NF-X-60-000, aunque define de forma parecida el mantenimiento, añade un matiz económico, al definirlo como el conjunto de acciones que permiten mantener o restablecer un bien en un estado específico o en la medida de asegurar un servicio determinado, asegurando las operaciones *al coste global óptimo*. En el caso de edificios, este matiz económico es uno de los requisitos de diseño que se tiene que tener en cuenta pensando en su posterior explotación.

En lo que refiere a instalaciones de edificios de uso público, las instalaciones de climatización, calefacción, ventilación y aire acondicionado son la que más recursos

consumen, seguido de la electricidad (baja tensión e iluminación) y la fontanería. En la figura 1.2 se puede observar la incidencia media de las instalaciones de los edificios, expresado en % sobre el total, por familias de mantenimiento.

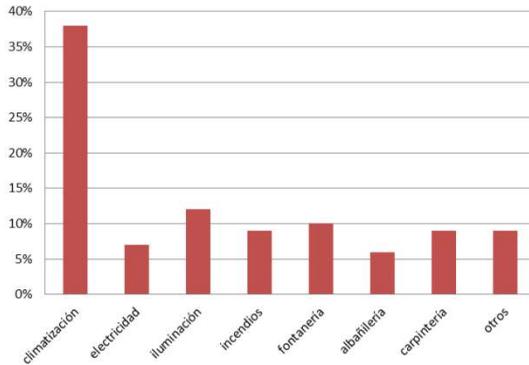


Figura 1.2. Incidencia de las instalaciones en el coste de mantenimiento

Los edificios se deben mantener adecuadamente pues los equipos, instalaciones y bienes se deterioran con el tiempo, es más rentable mantener un bien que adquirir otro nuevo, es una forma de garantizar la seguridad de los equipos y gracias al mantenimiento se puede controlar el impacto ambiental del producto y cumpliendo así los tres objetivos básicos del mantenimiento: la eficiencia, la disponibilidad y la perdurabilidad de los activos e instalaciones.

La inexistencia de documentación específica, así como la falta de referencias escritas sobre planificación del mantenimiento y de las instalaciones de los edificios, ha propiciado la aplicación de criterios heterodoxos en el establecimiento de planes de mantenimiento, basados fundamentalmente en la experiencia y en el buen hacer de los mantenedores y en normas de buena práctica no escritas, permitiendo un escenario desordenado que se ha prolongado a lo largo del tiempo.

Responsabilidad del mantenimiento

En los últimos años, toda la normativa legal que se aplica en el sector de la edificación, responsabiliza de un adecuado mantenimiento al titular de la instalación. La última publicada, el Real Decreto 238/2013, de 5 de abril, por el que se modifican determinados artículos e instrucciones técnicas del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, responsabiliza de forma clara e inequívoca al titular de la instalación de realizar las siguientes acciones:

- a) El mantenimiento de la instalación térmica por una empresa mantenedora habilitada.
- b) La realización de las inspecciones obligatorias.
- c) La conservación de la documentación de todas las actuaciones, ya sean de mantenimiento, reparación, reforma o inspecciones realizadas en la instalación térmica o sus equipos, consignándolas en el Libro del Edificio.

Es decir, la responsabilidad de la puesta en práctica de todos los trabajos de mantenimiento especificados reglamentariamente recae sobre los titulares y usuarios de las instalaciones, aunque el diseño de programas y procedimientos de control de la información generada sea responsabilidad de las empresas de mantenimiento autorizadas a las que se encomiende el servicio de cada instalación.

Gestión económica del mantenimiento

En la compra de cualquier equipo, hay que encontrar un equilibrio entre las prestaciones, el coste de adquisición y las necesidades de mantenimiento; es por ello que debe elegirse un producto en función de su diseño, de sus especificaciones, de su precio y de su facilidad de mantenimiento.

En el sector de edificios públicos existe un importante potencial de ahorro de energía que, sin embargo, es difícil de realizar debido a una serie de barreras de tipo administrativo o legal. Así, por ejemplo, en el presupuesto del sector público,

la partida destinada a inversión en tecnologías consumidoras de energía es diferente a la destinada al mantenimiento y suministro energético. Esta división suele plantear dificultades a la hora de seleccionar nuevos equipos con criterios de eficiencia energética, ya que sólo se considera la inversión económica sin ligarla a la factura energética y de mantenimiento a lo largo de toda la vida útil de la instalación.

Hay experiencias con muy buenos resultados de licitaciones públicas en las que se han contratado conjuntamente el suministro de un equipo y el mantenimiento a lo largo de su vida operativa. De esta forma, se responsabiliza al fabricante, al suministrador o al instalador de la gestión del equipo bajo criterios de eficiencia, garantizando al disponibilidad plena del mismo a lo largo del tiempo.

Además hay que añadir a la evaluación de costes, los derivados del proceso de fabricación de los materiales desde un punto de vista ambiental. Se trata de los costes ambientales asociados a los equipos y servicios que han sido necesarios para la instalación, operación y desmantelamiento de cada una de las partes del edificio, que se extiende desde que los materiales se encuentran en su estado natural, son transportados y puestos en obra, hasta que los equipos y accesorios se reciclan. Aparece pues un nuevo concepto, que es la energía incorporada, que mide el coste energético que ha supuesto disponer de un material o equipo concreto.

El valor de todos los equipos desciende con el paso del tiempo. Sin embargo, con un adecuado mantenimiento es posible que la depreciación de los mismos se reduzca, e incluso mediante actualizaciones periódicas de los equipos se aumente o al menos se mantenga, tal y como se expresa gráficamente en la figura 1.3.

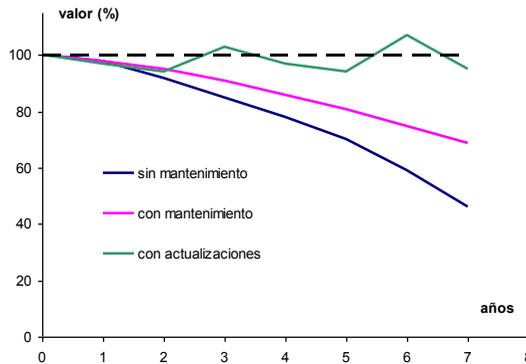


Figura 1.3. Depreciación media de un equipo en función del tiempo

El coste de una avería, podemos dividirlo en cuatro partes: el coste de la reparación propiamente dicha, el coste de reducción de la vida útil debido a la degradación producida por haberse utilizado en condiciones distintas a las nominales, que supone una sobreinversión, el coste de la indisponibilidad del equipo y el coste de disponibilidad de repuestos, que supone un sobre coste de tipo financiero. El coste de una avería responde a la ecuación 1.1.

$$Ca = Cr + Cvd + Ci + Cf \quad (1.1)$$

Siendo Ca el coste global de la avería, Cr el coste de la reparación, Cvd el coste debido a la reducción de la vida útil del equipo, Ci el coste de indisponibilidad del equipo y Cf los costes financieros derivados de la disponibilidad de repuestos.

Costes de indisponibilidad

El coste de indisponibilidad en determinadas tipologías edificatorias es inasumible. Hay casos de edificios públicos de carácter sanitarios, hospitales y centros de salud, que han tenido que suspender su actividad asistencial, pues

durante el mes de agosto actuaron los presostatos de protección del equipo de aire acondicionado, lo que provocó la parada de la producción de frío. El costo de la avería visto desde el enfoque de la máquina no representó nada importante pero la pérdida de la función principal de dicha máquina *impulsar aire frío, a una temperatura determinada* en el mes de agosto, hizo que la actividad no urgente fuera suspendida, pues la temperatura se hizo insoportablemente alta, hasta que se localizó al personal necesario para subsanar el fallo lo cual, en muchas ocasiones, puede ser complicado y prolongado en el tiempo por la disponibilidad que tenga el personal para acudir rápidamente a colucionar el problema.

Mantenimiento y ahorro energético

Como se ha comentado anteriormente, el mantenimiento se manifiesta como la herramienta clave para conseguir ahorrar energía y disminuir las emisiones medioambientales atmosféricas. Un adecuado mantenimiento puede suponer importantes ahorros de energía. La gestión energética del mantenimiento incluye la optimización del rendimientos de los equipos e incluye actuaciones que ayudan a mejorar la eficiencia energética del edificio. Es por ello, que cualquier medida de ahorro y de gestión energética pasa por el aseguramiento de la mantenibilidad de la misma, debiendo ser valorada desde una perspectiva de sostenibilidad económica a lo largo de la vida útil prevista del edificio o de la instalación [6].

Corresponde a los servicios de mantenimiento, la obligación de realizar la gestión energética de los edificios y de sus instalaciones [7], que incluye tanto el seguimiento de los consumos energéticos, como la optimización del funcionamiento de sus instalaciones, en lo que respecta, por ejemplo, al encendido y apagado, la corrección de hábitos de funcionamiento inadecuados, especialmente en las instalaciones más consumidoras de energía como son las de calefacción, climatización, producción de agua caliente sanitaria e iluminación [8].

2. Diagnóstico de fallos

Tipologías de fallos

El diagnóstico de fallos es una técnica que consiste en analizar la tipología y los mecanismos de fallos que se dan en un equipo o instalación, para conocer las causas y el origen de los mismos y evitar que se produzcan las averías. Para ello, se define un fallo como la alteración o interrupción de un bien (un activo) en el cumplimiento de una función requerida, considerando una avería la consecuencia del fallo en un equipo.

El fallo de un equipo o de un sistema, se define como la pérdida de aptitud para cumplir una determinada función [9]. Cuando un equipo o una instalación falla, generalmente lo hacen por uno de estos tres motivos: por un fallo en el material, por un error humano o por condiciones externas anómalas. En ocasiones, confluyen en una avería más de una de estas causas, lo que complica en cierto modo el estudio del fallo, pues a veces es complicado determinar cuál fue la causa principal y cuales tuvieron una influencia superflua o sinérgica en el desarrollo de la avería [10].

Aunque hay multitud de clasificaciones de fallos, a continuación se detallan las categorías que más importancia tienen a las hora de realizar un diagnóstico de las averías.

a) En función de su forma de manifestación:

- Progresivo: Este tipo de fallo resulta como culminación o manifestación final de un proceso que se desarrolla a lo largo de un tiempo. Están relacionados con la variación acusada de ciertas características del equipo que originan un mal funcionamiento o un peligro claro de rotura. En la figura 2.1 se ha representado la curva característica de un fallo progresivo.

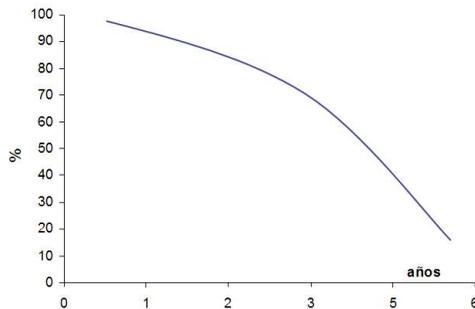


Figura 2.1 Evolución de un fallo de un componente en modo progresivo

- Súbito: este tipo de fallos, también denominados catalépticos, se originan bruscamente sin manifestación previa. Son menos frecuentes en número, aunque el elemento averiado queda fuera de servicio. Este tipo de fallos normalmente se relacionan con fracturas, deformaciones, agarrotamientos,... En la figura 2.2. se ha representado la curva de evolución del fallo de un componente en modo súbito.

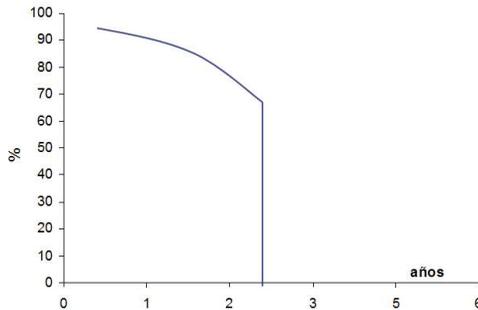


Figura 2.2. Evolución de un fallo de un componente en modo súbito

b) En función del momento de aparición:

- Precoz: aparece al inicio de su puesta en funcionamiento, durante el periodo conocido como *rodaje* del equipo.
- Aleatorio: aparece en cualquier momento de la vida útil del equipo, sin que aparentemente obedezca ninguna ley.
- Desgaste o envejecimiento: es un tipo de fallo que aparece conforme el equipo va agotando su vida útil.

c) En función de la duración

- Fallos transitorios: son fallos de corta duración que desaparecen solos al cabo de un tiempo, por ejemplo las interferencias en comunicaciones.
- Fallos intermitentes: se trata de fallos transitorios que ocurren con cierta periodicidad, por ejemplo el calentamiento excesivo de un componente de hardware.

- Fallos permanentes: son fallos que permanecen en el tiempo hasta que se reparan, por ejemplo roturas, desgastes,...

Entre las formas de fallo habituales están la sobrecarga, la fatiga, mecánica o térmica, la plasticidad, el desgaste, la abrasión, la erosión, la corrosión,...

Tipología de averías

La consecuencia del fallo de un componente o de un sistema es la avería. Es decir, la avería es el estado en que se encuentra un sistema tras la aparición del fallo. Las averías se clasifican en los siguientes tipos:

a) Según la capacidad funcional de un elemento:

- Total: avería que implica la pérdida de operatividad de un activo, que conlleva que el mismo no puede realizar todas las funciones para las que se fue diseñado.

- Parcial: la avería parcial afecta solamente a algunas funciones consideradas como de importancia relativa. En este caso el sistema donde se encuentra el elemento averiado, puede operar con deficiencias que no afectan a las personas o producen daños materiales mayores.

b) Según la importancia:

- Averías críticas o mayores: avería que afecta las funciones del elemento consideradas como mayores, es decir, las funciones para las que el elemento fue diseñado.

- Avería parcial: avería que afecta a algunas de la funciones del elemento o sistema pero no a todas.

- Avería reducida: avería que afecta al elemento sin que pierda su función principal y secundaria.

c) Según la forma de presentarse en el tiempo:

- Avería crónica: afecta al elemento en forma sistemática o permanece por largo tiempo.

- Avería esporádica: avería que afecta el elemento en forma aleatoria e imprevisible.

- Avería transitoria: avería que afecta durante un tiempo limitado al elemento y adquiere nuevamente su actitud para realizar la función requerida, sin haber sido objeto de ninguna acción de mantenimiento.

d) Según la función de la instalación afectada:

- Avería ambiental: se produce cuando un activo emite contaminación acústica, atmosférica, vibraciones,... por encima de los valores que se indican en sus condiciones nominales de funcionamiento y diseño.

- Avería electro-mecánica: avería que se produce cuando un equipo electromecánico pierde alguna de las funciones operativas de origen eléctrico o mecánico para la cual fue diseñado.

- Avería electrónica: avería que se produce cuándo un equipo electrónico pierde alguna de las funciones operativas para la cual fue diseñado.

- Avería energética: Se produce cuándo un activo consume más energía que la que se indica en sus condiciones de funcionamiento y diseño.

Como ya se indicó en el capítulo anterior, el principal objetivo del mantenimiento es detectar a tiempo el inicio de un fallo, para impedir que se produzcan averías, evitando así sus consecuencias.

Para la investigación de las causas por las que los equipos y las instalaciones envejecen y fallan, se aplican principios científicos y matemáticos, con el objetivo de que una mayor comprensión de los fallos de los dispositivos ayudará en la identificación de las mejoras que pueden introducirse en los diseños de los productos para aumentar su vida o por lo menos para limitar las consecuencias adversas de los fallos.

Estrategias de diagnóstico

La estrategia para la solución de averías debe considerar que existen averías críticas que son las que prioritariamente hay que eliminar para conseguir un resultado significativo en la mejora del equipo [11]. Para ello se utiliza el diagrama de Pareto como instrumento para los estudios de diagnóstico, que clasifican las averías según su frecuencia, ordenándolos de mayor a menor, tal y como se puede observar en la figura 2.3.

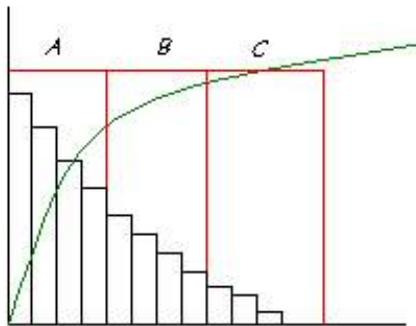


Figura 2.3. Diagrama de Pareto

Una vez elaborado el diagrama de Pareto, se pueden distinguir tres zonas claramente diferenciadas:

Zona A: presenta un número muy reducido de fallos que producen una ponderación muy alta de averías.

Zona B: zona intermedia que presenta un número medio de causas y de ponderación.

Zona C: se observa un número alto de fallos que presentan baja probabilidad de producir averías.

Otra estrategia para el diagnóstico de fallos, es la utilización de diagramas causa-efecto, también llamados diagramas de Ishikawa, representado en la figura 2.4, que por su estructura ha venido a llamarse también diagrama de espina de pez, que se fundamenta en una representación gráfica en la que puede verse de manera relacional una especie de espina central, que es una línea en el plano horizontal, representando el problema a analizar, que se escribe a su derecha, reflejando ordenadamente las causas cuya consecuencia es la aparición de la avería [12].

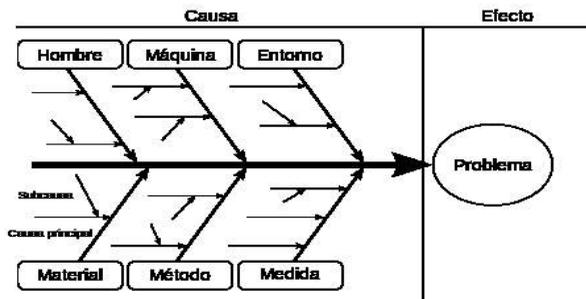


Figura 2.4. Diagrama de Ishikawa

Otras de la herramientas que habitualmente se utilizan para analizar y diagnosticar averías, es el árbol de fallos

3. Confiabilidad

El análisis de la confiabilidad comprende un conjunto de métodos matemáticos y estadísticos, procedimientos organizativos y prácticas operativas que, mediante el estudio de las leyes de ocurrencia de los fallos, están dirigidos a la resolución de los problemas de previsión, estimación y optimización de la probabilidad de supervivencia, duración media de la vida y porcentaje de tiempo en correcto funcionamiento de un sistema.

Para analizar la vida útil de un componente, se define la variable T como la vida útil del activo o componente, es decir, la variable aleatoria que define el concepto de fiabilidad es el tiempo de duración o vida del dispositivo.

Se define la función supervivencia que proporciona la probabilidad de que un componente esté funcionando al cabo de t horas. Así, si un componente tiene una función de $R(10) = 0,57$ quiere decir que la probabilidad de que el componente siga funcionando al cabo de 10 horas es del 57%.

En la figura 3.1 se ha representado la función supervivencia, más conocida como función fiabilidad, correspondiente a un equipo electromecánico.

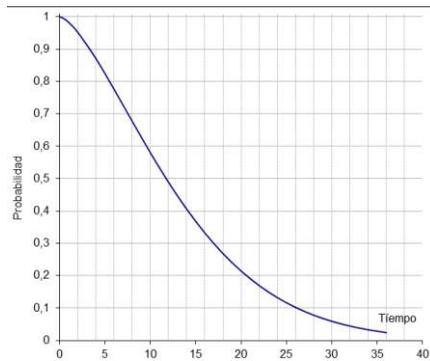


Figura 3.1. Función supervivencia (reliability function)

Por otro lado se define la función fallo $F(t)$, que nos indica la probabilidad de que un componente falle al cabo de t horas.

Así, si un componente tiene una función de $F(20) = 0,89$ quiere decir que la probabilidad de que el componente falle al cabo de 20 unidades de tiempo es del 89 %. En la figura 3.2 se ha representado la función fallo correspondiente a un equipo electromecánico.

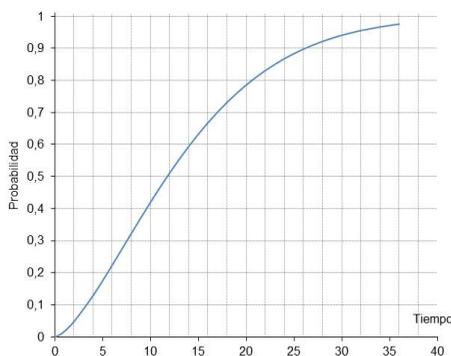


Figura 3.2. Función fallo (failure function)

La función fallo es complementaria a la función supervivencia, por lo que podemos expresar que:

$$F(t) = 1 - R(t) \quad (3.1)$$

En la figura 3.3 se representan la función supervivencia, en lo sucesivo denominada función fiabilidad (reliability) y la función fallo (failure), ambas complementarias.

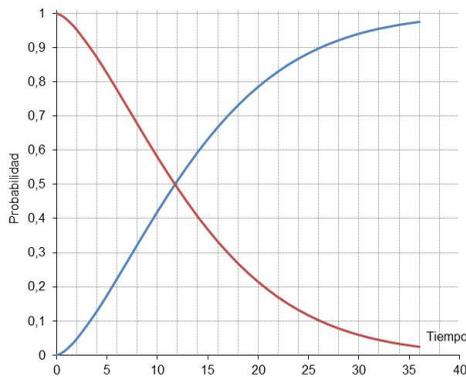


Figura 3.3. Funciones supervivencia y función fallo

Se supone que la variable aleatoria T tiene una función $F(t)$ de distribución acumulada expresada por:

$$F(t) = P(T \leq t) \quad (3.2)$$

Entonces, la función de densidad de fallo, $f(t)$, se puede definir como:

$$f(t) = \frac{d}{dt} F(t) \quad (3.3)$$

De esta forma, tenemos una cuantificación de la dispersión probabilística de la distribución de vida útil de un equipo. En la figura 3.4 se muestra la representación gráfica de la función densidad de fallo de un componente electromecánico.

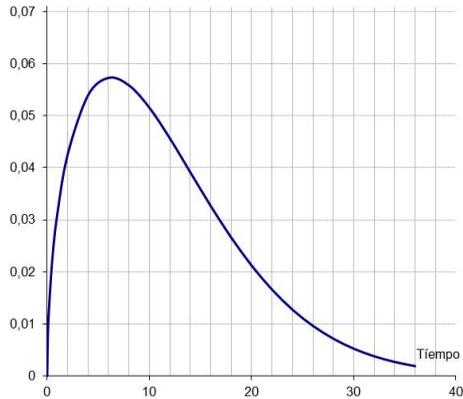


Figura 3.4. Función densidad de fallo

Esto nos sirve para poder tomar decisiones sobre la elección de un equipo o componente. Por ejemplo, se puede observar que en la figura 3.5, que el comportamiento más plano de la función representada con trazo continuo, supone que los fallos tienen aproximadamente la misma posibilidad de ocurrir en cualquier momento del intervalo 1-30.

Sin embargo, el caso de la función representada en trazo discontinuo, sugiere la existencia de un intervalo de tiempo en que la posibilidad de que ocurra un fallo es pequeña. Por tanto, la tecnología correspondiente a la primera de las funciones no permite establecer un intervalo de tiempo en el que se pueda asegurar cierta confianza en el comportamiento del equipo, siendo la tecnología que corresponde a la segunda función, la más adecuada para este cometido.

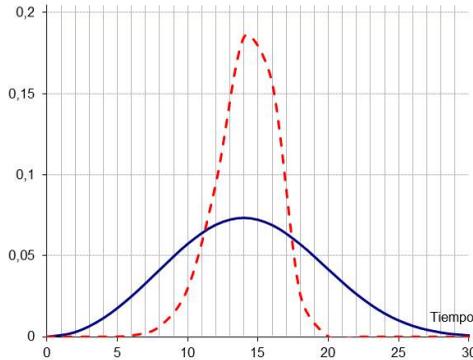


Figura 3.5. Curvas de densidad de fallo de dos equipos

Expresado con otras palabras, $R(t)$ es la probabilidad de que un componente nuevo sobreviva más del tiempo t . Por lo tanto, $F(t)$ es la probabilidad de que un componente nuevo no sobreviva más del tiempo t .

Por otra parte, la probabilidad de que un componente nuevo falle entre t y $t+s$, siendo s es un incremento de tiempo respecto a t , es igual a:

$$P(t < T \leq T + s | T > t) = \frac{P(t < T \leq t + s)}{P(T > t)} = \frac{F(t + s) - F(t)}{R(t)} \quad (3.4)$$

Dividiendo la expresión 3.4 entre s , tomando límites y haciendo que s tienda a cero:

$$\lambda(t) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{s} \cdot \frac{F(t + s) - F(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (3.5)$$

Dónde $\lambda(t)$ es la función de tasa de fallos o función de riesgo o tasa instantánea de fallos, y es una característica directamente relacionada con la fiabilidad de un producto. Representa un porcentaje de dispositivos sobrevivientes en un instante t ,

y se puede definir como la relación entre el número medio de fallos y el tiempo de funcionamiento.

La tasa de fallos se puede escribir en función de la fiabilidad:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1 - F(t)} \quad (3.6)$$

Siendo $\lambda(t)$ la tasa de fallos, $R(t)$ la función fiabilidad, $f(t)$ la función densidad de probabilidad del tiempo antes del fallo y t la variable independiente tiempo.

La tasa de fallo puede pues interpretarse como la “velocidad” a la cual se producen los fallos, es decir, es una medida de lo propenso que resulta un producto a fallar en función del tiempo que lleva en funcionamiento. En el análisis de la tasa de fallo de un componente o de un equipo, se pueden apreciar tres tendencias:

Decreciente: se observa en productos cuya probabilidad de fallo es menor cuando aumenta el tiempo de supervivencia. Esto aparece a menudo en muchos productos al principio de su funcionamiento, que presentan una probabilidad de fallo alta, debido a la existencia de defectos ocultos, que no aparecen hasta que su puesta en marcha.

A medida que transcurre el tiempo esta probabilidad se estabiliza a un nivel más bajo, pues si el elemento ha sobrevivido será porque no tenía ese defecto oculto. En la figura 3.6 se ha representado un producto que presenta una tasa de fallo de tipo decreciente.

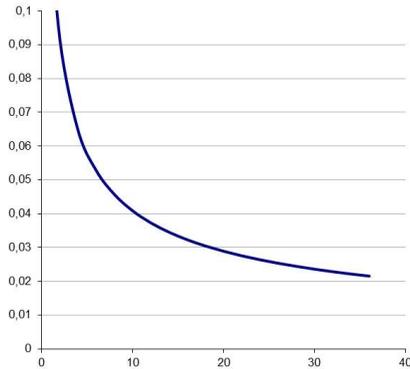


Figura 3.6. Tasa de fallos decreciente

En este caso es conveniente realizar un *control de calidad bajo stress* a los elementos, para provocar el fallo y poder eliminar los equipos que fallen desde el principio.

Constante: Indica que la probabilidad de fallo instantáneo es la misma en cualquier momento. Este tipo de modelo es muy utilizado en la práctica, porque representa bien los periodos intermedios de vida de muchos productos. Por ejemplo si se tienen componentes electrónicos cuya vida es muy larga instalados en sistemas que cuentan con elementos mecánicos de vida útil muy inferior, el modelo de tasa de fallos constante es perfectamente adecuado.

En la figura 3.7 se ha representado la tasa de fallo instantánea de un activo que presenta tasa de fallo constante respecto al tiempo.

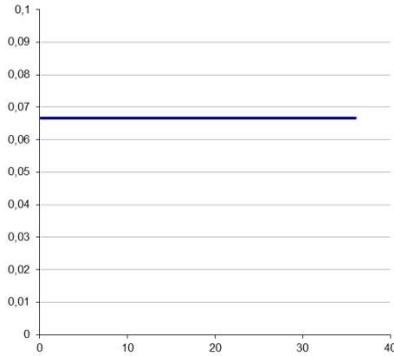


Figura 3.7. Tasa de fallos constante

Creciente: Surge por casos de desgastes y fatigas, es decir por un proceso de envejecimiento y es muy típica en equipos con piezas en movimiento sometidas a desgaste. La tasa de fallos creciente indica que la probabilidad de fallo inmediato, se incrementa a medida que pasa el tiempo. A medida que un componente esté más tiempo en funcionamiento, su tasa de fallos tenderá a crecer. La figura 3.8 muestra la tasa de fallo creciente para un componente.

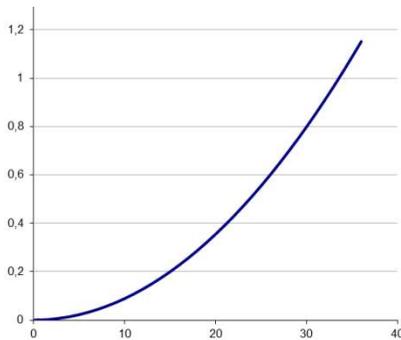


Figura 3.8. Tasa de fallos creciente

Como puede observarse en la figura anterior, si un componente ha llegado a 15 horas funcionando, su probabilidad de fallar inmediatamente es muy baja, pero si llega funcionando a 30 horas, la posibilidad de fallo se triplica.

Etapas de la función Tasa de Fallos

La generalización del proceso anterior conduce a la curva de bañera (bathtub curve), que representa la tasa de fallo instantáneo de un elemento que se comporta inicialmente de forma decreciente (a esta zona se le denomina de mortalidad infantil), en su vida media con una probabilidad de fallo prácticamente constante (zona de vida útil), y finalmente con probabilidad de fallo que aumenta con la edad (zona de envejecimiento). Esta curva se ha representado en la figura 3.9.



Figura 3.9. Curva *bathtub*

Como ya se ha comentado en el apartado anterior, en el caso de que la tasa de fallo del elemento responda a la curva de la bañera, es conveniente realizar un ensayo acelerado del mismo (en condiciones de stress) para que supere la zona de mortalidad infantil o de *burn-in*, antes de la puesta en marcha del equipo. Otra estrategia sería la de ofrecer un servicio postventa gratuito durante un periodo de garantía que coincida con este periodo.

La curva de la bañera nos permite determinar cual es la vida útil operativa de un equipo o instalación, bajo condiciones de fiabilidad.

Antes de la puesta en marcha de un edificio, conviene que las instalaciones críticas estén en funcionamiento durante un periodo suficientemente amplio para garantizar que el periodo de fallos iniciales de los equipos se supere, circunstancia que no sucede durante las pruebas finales de obra.

Fiabilidad

Como se ha comentado anteriormente, la fiabilidad es una característica intrínseca a un producto, definida como la probabilidad de cumplir una función requerida, en las condiciones previstas de utilización y por un periodo de tiempo determinado. No hay fiabilidad sin calidad inicial, pues la fiabilidad es una extensión de la calidad en el tiempo.

La característica de la fiabilidad es el tiempo medio entre fallos, *MTBF* (Mean Time Between Failure). El tiempo medio entre fallos corresponde a la esperanza matemática de la variable aleatoria t , momento de aparición de una avería. Es decir, un dispositivo en funcionamiento, sufrirá inevitablemente una avería en el instante t , desconocido a priori.

En equipos que se desplazan, se utiliza el kilometraje medio entre fallos, *MKBF* (Mean Kilometer Between Failure). El *MKBF* corresponde a la esperanza matemática de la variable aleatoria k , momento de aparición de una avería. Un dispositivo puesto en marcha sufrirá inevitablemente una avería en el kilómetro k .

En la figura 3.10 se ha representado de forma gráfica las distintas etapas por las que pasa un elemento o un sistema a lo largo de vida útil. Entre dos fallos consecutivos, hay un tiempo entre cada fallo (*TBF*) y un tiempo *TTR*, que se define como el tiempo necesario para restaurar el elemento o sistema a su estado operativo.

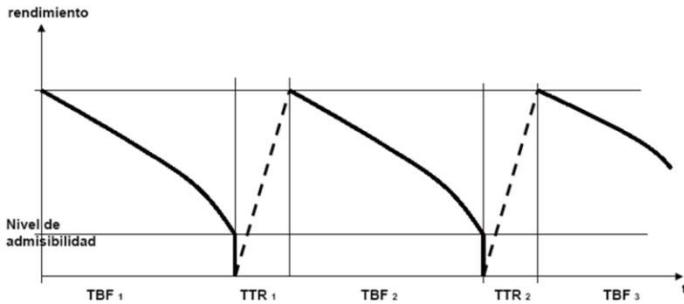


Figura 3.10. Gráfico temporal de funcionamiento de un sistema

La expresión matemática del tiempo medio entre fallos, corresponde a la ecuación 3.8:

$$MTBF = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} TBF_i}{n} = \frac{1}{\lambda} \tag{3.8}$$

Distribución de Weibull

En el año 1939, el ingeniero sueco Waloddi Weibull estudió la vida de los metales en base a la fatiga y propuso la ley de distribución que lleva su nombre. En la década de los cincuenta, J. H. Kao estudió el comportamiento de elementos electrónicos ajustándoles con éxito a la distribución de Weibull. Hoy en día sabemos que la distribución de Weibull es un caso general de todas las distribuciones continuas.

La distribución de Weibull nos permite estudiar cuál es la distribución de fallos de un componente que pretendemos controlar y que a través de nuestro registro de fallos observamos que éstos varían a lo largo del tiempo. Así podemos determinar una ecuación continua que nos relaciona la probabilidad de fallo con el momento de su aparición.

El método no determina cuáles son las variables que influyen en la tasa de fallos, tarea que quedará en manos del analista, pero facilita la identificación de aquellos y su consideración, siendo una herramienta potente de predicción de comportamientos. La distribución de Weibull es tan flexible que, eligiendo adecuadamente sus parámetros, permite describir las tres etapas de la función tasa de fallos mostradas en la curva de la bañera. La distribución de Weibull está caracterizada por dos parámetros: α , parámetro de escala y β , parámetro de forma y responde a la expresión 3.8

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{x}\right)^\beta} \tag{3.8}$$

Siendo $R(t)$ la función fiabilidad, α un parámetro relacionado con la vida característica del equipo, β un parámetro de forma y t el tiempo. Cuando el valor de β es menor que 1, nos indica que la tasa de fallos decrece con el tiempo y si el valor es mayor que 1, que la tasa de fallos crece con el tiempo. En el caso que β sea la unidad, nos indica que la tasa de fallos es constante.

La función fallo, $F(t)$ complementaria a la función fiabilidad, puede expresarse según la ecuación 3.9.

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{x}\right)^\beta} \tag{3.9}$$

Para calcular el valor de α y β se utilizan programas informáticos que en base a los valores de los tiempos de fallos, calculan los parámetros α y β . También se puede utilizar la metodología detallada en la NTP-331, *fiabilidad: la distribución de Weibull* [13], que utiliza la resolución gráfica mediante un papel especial para gráficos, llamado papel de Weibull. El procedimiento gráfico, aunque exige varios pasos y una o dos iteraciones, es relativamente directo.

La vida característica de un equipo se define como el valor que corresponde a una tasa de fallo del 63,2% y es un valor comúnmente utilizado para determinar la vida útil de un equipo.

Mantenibilidad

Es la capacidad para el mantenimiento que presenta un equipo o producto. Se define como la capacidad, en las condiciones dadas de utilización de un activo, para ser mantenido o recuperado en un intervalo de tiempo dado a un estado en el que pueda cumplir con la función exigida. También puede definirse como la probabilidad de que un activo, después del fallo, sea puesto en estado de funcionamiento en un tiempo determinado.

La especificación MILM-26512 de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos, considera la mantenibilidad como una característica cualitativa y combinada de diseño de material e instalación, que permite el logro de los objetivos operacionales con un mínimo gasto incluyendo mano de obra, personal, habilidades, equipos de prueba, datos técnicos, bajo las condiciones ambientales operacionales en las que se realizará las operaciones de mantenimiento.

Un activo será más mantenible si es accesible, es decir, tiene pleno acceso a los elementos, tiene simplicidad en las acciones y en las maniobras de mantenimiento, está en un emplazamiento adecuado, tiene limitado la cantidad de materiales y herramientas necesarias y es posible la intercambiabilidad entre sus piezas.

Es importante para el usuario de un edificio tener información sobre la funcionalidad, coste, seguridad y otras características de las instalaciones del mismo, al principio de su vida operativa. Sin embargo, es igualmente importante, o incluso más, tener información sobre las características que definen el tiempo de mantenimiento.

Fidelidad

Es una característica de una máquina o bien de un equipo que define la capacidad de ejecutar el trabajo encomendado de forma precisa. Cuando la máquina es nueva, este factor pertenece a la naturaleza de la máquina; al pasar el tiempo, debido a los desgastes y holguras se podría perder la precisión en el trabajo, es el mantenimiento la herramienta que garantiza tal extremo.

Vida útil de instalaciones

En la Tabla 3.1 se ha representado la vida útil estimada para distintos niveles de utilización, bajo, normal e intensivo, de las instalaciones técnicas habituales en un edificio.

Instalaciones	bajo	normal	intensivo
Fontanería			
Red general	25	25	25
Lavabos y sanitarios	25	20	15
Grupo de presión	22	20	18
Bombas saneamiento	20	18	15
Electricidad (BT)			
Red y cuadros	25	25	25
SAls	22	20	18
Baterías SAls	5	4	4
Grupo electrógeno	40	40	40
Batería de condensadores	20	18	15
Iluminación			
Luminarias	20	18	15
Lámparas	4	3	2
Electricidad (AT)			
Acometida	35	35	35
Centro de transformación	30	30	30

Climatización			
Producción	22	20	18
Distribución de agua	25	25	25
Elementos terminales	20	18	16
Distribución de aire	25	25	25
Instalaciones de voz-datos			
Voz	20	20	20
Datos	10	10	10
Aparatos elevadores			
Poleas y cables tracción	10	10	10
Motor	40	35	30
Cabina	30	28	25
Protección contra incendios			
Equipos de extinción	20	20	20
Red hídrica	30	30	30
Grupo de presión	25	25	25
Equipos de detección	20	20	20
Instalación de combustible	20	20	20
Instalación de riego	25	22	20

Tabla 3.1: Vida útil media de instalaciones en función del uso

4. Estrategias

Las estrategias de gestión del mantenimiento, también conocidas como políticas de mantenimiento, que habitualmente se aplican en la edificación son las relacionadas a continuación:

Mantenimiento Regresivo

Este tipo de estrategia de mantenimiento se realiza en activos de los denominados de “usar y tirar”, donde se considera que efectuar una reparación es antieconómico y por tanto, no merece la pena realizarla. Se suele tratar de activos de obsolescencia programada, en cuyo diseño ya se ha tenido en cuenta que la reparación del mismo no es viable o es antieconómica.

Mantenimiento Reactivo

Es una operación de mantenimiento que se efectúa a una máquina o instalación después del fallo, para restablecerla a su estado operativo [14]. Esta estrategia habitualmente se conoce como “mantenimiento correctivo”. En base a la forma de acometer la reparación de la avería, se distinguen dos tipos de intervenciones:

- Intervenciones paliativas: las intervenciones realizadas tras el fallo, tienen carácter de provisionalidad, se realizan *in situ* y deben conllevar una segunda intervención para completar la solución de la avería.
- Intervenciones curativas: las intervenciones realizadas tras el fallo, tienen carácter definitivo y se pueden realizar bien *in situ*, bien en el taller de mantenimiento.

Si no computamos los costes de *no operatividad*, ni el *efecto inducido* al equipo, el mantenimiento regresivo y el mantenimiento reactivo son las únicas estrategias de mantenimiento que realmente llegan a agotar la vida útil de un equipo. Es por ello que es recomendable su aplicación en elementos de poca importancia, cuya avería no afecte a la operatividad del edificio y que no induzca daño colateral a un equipo [15].

Mantenimiento Preventivo

Es una estrategia de mantenimiento en la cual se programan periódicamente intervenciones en los equipos, con objeto de inspeccionar, reparar, conservar y/o remplazar componentes. Se efectúa con la intención de reducir la probabilidad de fallo de un activo y las intervenciones se realizan aun cuando la instalación esté operando satisfactoriamente.

La vida característica de un equipo, definida en el capítulo 3 como el valor temporal que corresponde a una tasa de fallo del 63,2%, es el valor habitualmente utilizado como momento de sustitución programado del activo, y es el parámetro de trabajo de la gestión del mantenimiento preventivo.

Sin embargo, se puede elegir otro valor temporal para la sustitución del activo, por ejemplo un 40% o un 80%, asumiendo en el primer caso un sobrecoste por sustitución prematura del activo y en el segundo caso un sobre-riesgo relacionado con la probabilidad de fallo del mismo. En la figura 4.1 se han representado estas tres posibilidades.

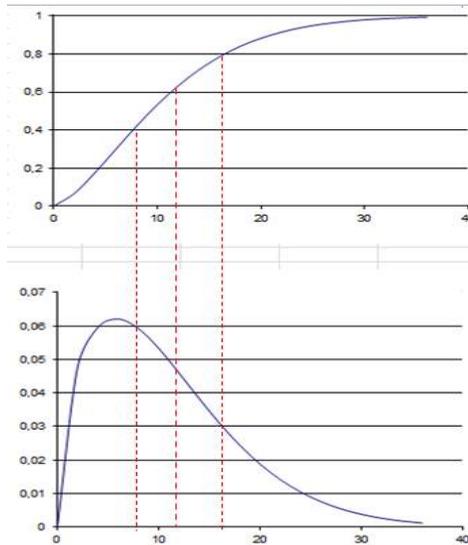


Figura 4.1. Elección del momento de sustitución de un activo mediante mantenimiento preventivo

Se consideran cuatro modelos de mantenimiento preventivo, los cuales se describen a continuación:

- **Mantenimiento sistemático:** Mantenimiento preventivo efectuado de acuerdo con un plan establecido basado en el tiempo, el número de unidades fabricadas, el espacio recorrido... En este modelo se realizan un conjunto de tareas que se realizan sin importar cual es la condición del equipo [16]. Es importante señalar que un equipo sujeto a un modelo de mantenimiento sistemático no tiene por qué tener todas sus tareas con una periodicidad fija. Un equipo con este modelo de mantenimiento puede tener tareas sistemáticas, que se realicen sin importar el tiempo que lleva funcionando o el estado de los elementos sobre los que se trabaja.

- **Mantenimiento de ronda:** Mantenimiento preventivo que consiste en una vigilancia regular, a base de “rondas” de frecuencia corta que conllevan pequeños trabajos cuando es necesario. Asegura una vigilancia cotidiana del conjunto de los equipos, evitando así la aparición de fallos menores que a la larga podrían tener consecuencias mayores

- **Técnico-legal:** Consiste en un conjunto de actuaciones preventivas y correctivas necesarias para dar cumplimiento a las especificaciones establecidas por Reglamentos o Normas de obligado cumplimiento. Es decir, es un mantenimiento preventivo que es obligatorio por precepto legal y que incluye la documentación administrativa, el control y la supervisión de las condiciones mínimas de seguridad de las instalaciones, equipos y medio ambiente por órganos competentes.

- **Conductivo:** El mantenimiento conductivo comprende todas y cada una de las acciones encaminadas a velar por el buen funcionamiento, seguridad y correcta puesta en funcionamiento de todos los equipos integrantes de las instalaciones técnicas de los locales en cuestión durante el tiempo que estos equipos permanecen en uso. Incluye la vigilancia general de las instalaciones, el arranque y paro de las instalaciones, las regulaciones y equilibrados necesarios, las maniobras de verificación del correcto funcionamiento de las instalaciones y el seguimiento de los parámetros de funcionamiento de los equipos.

Por regla general, el mantenimiento preventivo consigue mejorar la organización de los trabajos, pues regula y regulariza la carga de trabajo, facilita la gestión de existencias (consumos previstos), garantiza la seguridad (menos improvisaciones) y mejora el clima laboral.

No obstante, hay que señalar que aunque se establezca una estrategia de mantenimiento preventivo total, siempre habrá un mantenimiento reactivo de tipo residual, inevitable debido a la imprevisibilidad de ciertos fallos llamados catalépticos que nos responden a una ley previamente definida. Por esta razón se

considera que el mantenimiento reactivo actúa de *guardaespaldas* del mantenimiento preventivo.

Mantenimiento Predictivo

El mantenimiento predictivo consiste en realizar un conjunto de actividades de seguimiento y diagnóstico continuo que permite una intervención correctora inmediata como consecuencia de la detección de algún síntoma de fallo antes de que se produzca la avería. Es una estrategia de mantenimiento subordinado a un tipo de acontecimiento predeterminado y también se denomina mantenimiento basado en la condición (CBM).

En la figura 4.2 se puede observar la función densidad de fallo de un activo gestionado mediante una estrategia de mantenimiento predictivo, en el cual se decide su sustitución instantes previos a su momento de fallo. De esta forma, se evita la avería gracias a la detección de algún síntoma de fallo instantes antes de que se produzca la avería. Esto permite que se tomen decisiones antes de que ocurra el fallo: cambiar o reparar la máquina en una parada cercana, detectar cambios anormales en las condiciones del equipo y subsanarlos, etc.

Entre las ventajas básicas del mantenimiento predictivo está la reducción de los tiempos de parada, la optimización de la gestión del personal de mantenimiento, la posibilidad de confeccionar un archivo histórico del comportamiento mecánico, el conocimiento con exactitud el tiempo límite de actuación que no implique el desarrollo de un fallo imprevisto, la posibilidad de toma de decisiones sobre la parada de una línea de máquinas en momentos críticos,...

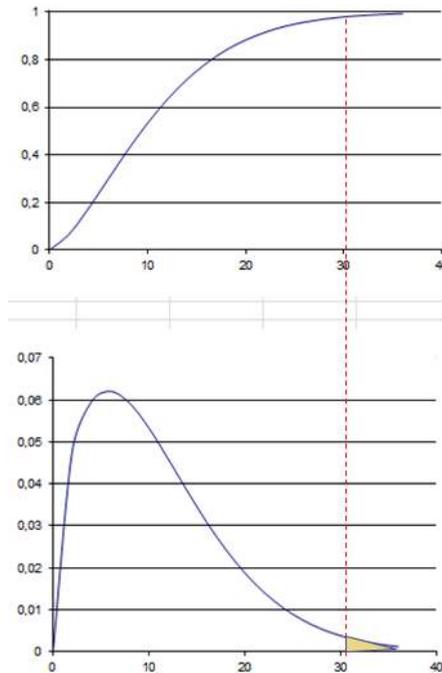


Figura 4.2 Elección del momento de sustitución de un activo mediante mantenimiento predictivo

Todos los modos de fallo de un activo presentan síntomas previos que avisan que se va a producir la avería de un componente. Estos síntomas se pueden detectar utilizando las técnicas de seguimiento y control adecuadas.

En la figura 4.3 se muestra la curva característica de evolución del fallo, en el que se representa la resistencia al fallo, expresada en %, respecto al tiempo. El punto A representa el momento de inicio de los síntomas y el punto B el momento de fallo que conlleva además la aparición de daños adicionales.

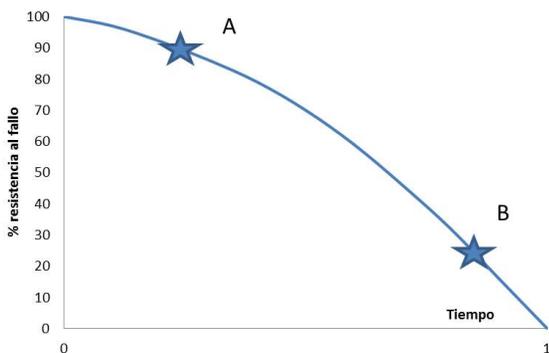


Figura 4.3. Curva de evolución del fallo

La estrategia del mantenimiento predictivo consiste en actuar en el periodo comprendido entre el punto A y B, periodo de tiempo en el que el activo emite una serie de señales térmicas, acústicas, mecánicas,... que nos indican que se ha iniciado el proceso de fallo. Estas señales se han representado en la figura 4.4 mediante números del 1 al 5, y pueden ser de tipo acústicas (ruidos), térmicas (calor), vibraciones, pérdidas de velocidad o rendimiento,...

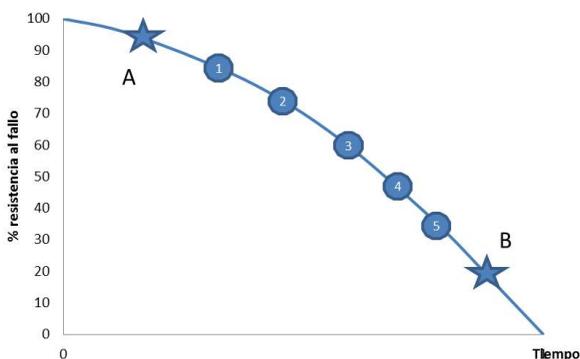


Figura 4.4. Curva de evolución del fallo

Para detectar estas señales, se colocan captadores y transductores en el equipo, que permiten avisarnos con antelación de la evolución del fallo para poder actuar a tiempo. Según sean los captadores que se utilizan, podemos clasificar el mantenimiento predictivo en tres tipos:

- Continuo: consiste en colocar captadores fijados permanentemente a la máquina, que transmiten información de forma continua sobre el estado del parámetro que se controla.
- Periódico: el tiempo entre operaciones de control es proporcional a la velocidad de degradación estimada.
- Latente: en este caso, no hay seguimiento, sino que se intercalan testigos luminosos, acústicos, térmicos,... que nos informan de la anomalía una vez se supere los puntos de consigna a los que previamente se hayan tarado.

Mantenimiento Proactivo

Conocido como ingeniería del mantenimiento, consiste en investigar las causas de las averías y busca remedios para evitar que se repitan y así aumentar la fiabilidad. Habitualmente conlleva rediseño y labores de reingeniería. Se distinguen dos tipos:

- De mejora: consiste en modificar un equipo o subconjunto, después de la constatación de un defecto, con el fin de aumentar su seguridad, fiabilidad y mantenibilidad.
- De modernización: consiste en remplazar los componentes obsoletos y añadir componentes de una nueva generación tecnológica.

Las renovaciones son inspecciones completas de todos los órganos, seguida de la reparación de elementos usados en mal estado, la colocación de elementos

nuevos (no es posible la reparación), la conservación de elementos “buenos” y el remonte y verificación de la “puesta a punto”.

Política de mantenimiento

La política de mantenimiento, que debe quedar reflejada en el Plan de Mantenimiento Programado, trata de conseguir un equilibrio entre intervenciones de mantenimiento reactivas, preventivas y predictivas, siendo el jefe de mantenimiento el responsable de conseguir ese punto de equilibrio. Aunque los porcentajes entre ellos difieren de unos tipos de edificios a otros, un objetivo general sería conseguir los porcentajes de intervenciones expresados en % sobre total que se muestra en la figura 4.5.

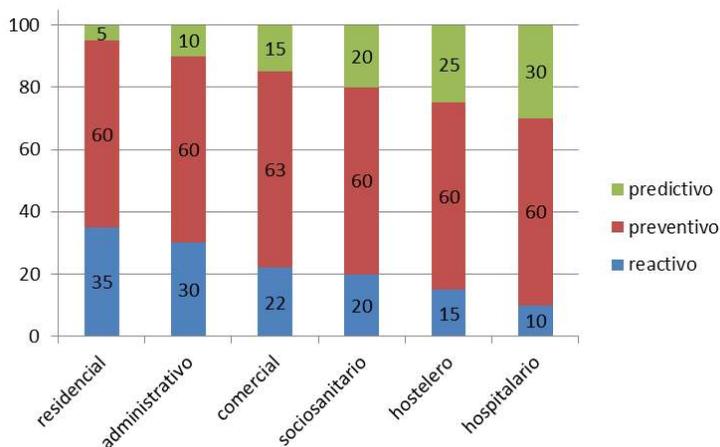


Figura 4.5. Estrategias de mantenimiento para distintos tipos de edificios

5. Plan de mantenimiento

La puesta en práctica del mantenimiento se basa en la aplicación sistemática de métodos y procedimientos predefinidos en un documento, denominado Plan de Mantenimiento del edificio [17]. Para la configuración de este plan específico para un edificio y de sus instalaciones, se deben seguir las siguientes fases:

Recopilación de información técnica

Un Plan de Mantenimiento de un edificio parte del conocimiento, lo más preciso y exhaustivo posible, de las infraestructuras e instalaciones sobre las que deberá aplicarse. Para conseguir este conocimiento resulta imprescindible entrar en contacto con la instalación, efectuando las visitas necesarias, y tener acceso a la información técnica sobre la instalación en cuestión, es decir, a la documentación del proyecto que la ha dado origen y a la información técnica complementaria sobre el estado real de la instalación, la conocida como documentación "as built" [18].

Con esta información técnica, hay que localizar e identificar los elementos que componen cada sistema, para conocer las condiciones de funcionamiento para las que han sido diseñados y seleccionados. La documentación técnica de la instalación es, prácticamente, el único medio para conocer sus particularidades de diseño [19], aunque siempre se puede recurrir a entrevistar a los responsables del equipo técnico de dirección de la obra de construcción.

Para el establecimiento de criterios de gestión económica y, sobre todo, energética, es necesario disponer de la información suficiente sobre los procedimientos de actuación y sobre las lógicas de control de las instalaciones que se hayan previsto en el proyecto de la instalación.

Realización de inventario

Una vez analizada la documentación técnica disponible sobre la instalación para la que se realiza un Plan de Mantenimiento y localizados e identificados físicamente los componentes de cada instalación mediante las visitas necesarias, el paso siguiente será confeccionar el inventario específico de elementos y componentes sujetos a mantenimiento.

Es recomendable que el inventario de componentes de cada instalación se configure "del todo a la parte", identificando en primer término los sistemas que componen cada instalación, después los subsistemas que se integran en cada sistema y finalmente enumerando los elementos y componentes que necesitan mantenimiento dentro de cada subsistema. Posteriormente los elementos, con independencia de los sistemas o subsistemas a los que pertenezcan, se agrupan en familias, en base a las similitudes de las tareas necesarias para realizar el mantenimiento.

En la figura 5.1 se ha representado el esquema utilizado para clasificar los distintos equipos que componen una instalación por familias de mantenimiento, por ejemplo, mecánica, electricidad, fontanería, albañilería,...

El inventario, también denominado "descriptivo técnico", debe ser confeccionado con toda la minuciosidad y exhaustividad que sea posible, compilando la información sobre cada equipo que resulte necesaria para posteriormente cumplimentar una ficha técnica para cada elemento sujeto a mantenimiento [20].

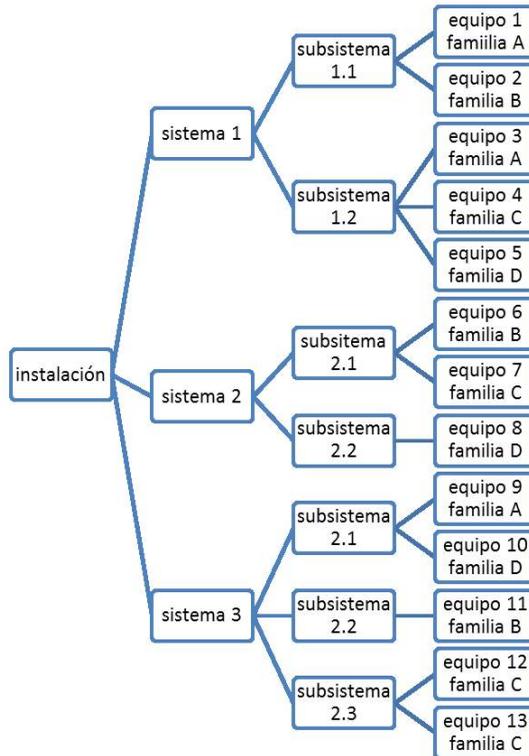


Figura 5.1. Clasificación de las instalaciones por familias de mantenimiento

Para la realización del inventario de una instalación, sobre todo si se trata de una instalación compleja, es recomendable la utilización de una aplicación informática de Gestión de Mantenimiento Asistido por Ordenador (GMAO), ya que facilita el trabajo, acorta el tiempo necesario para configurar el inventario y es una herramienta imprescindible para la posterior gestión de la instalación, sobre todo en edificios complejos.

Cumplimentación de fichas técnicas

Una vez confeccionado el inventario, se deberá llevar a cabo la cumplimentación de fichas técnicas específicas de cada elemento y equipo que componen las instalaciones. Para la confección de fichas técnicas podrá utilizarse cualquier tipo de formato o formulario preestablecido. Un ejemplo, es el que se representa en la figura 5.1.

Ficha para toma de datos y características de equipos													
Edificio:		Dirección:			Cód. Edificio:								
Equipo:		Ubicación:			Familia:								
Servicio:		Marca:			Modelo:								
Otro dato:		Otro dato:		Otro dato:									
Otro dato:		Otro dato:		Otro dato:									
Componentes singulares del equipo:													
Código	Descripción	Cant.	Uds.	Modelo	Tipo								
Notas:													
Frecuencias específicas de revisiones al equipo													
Diario	<input type="checkbox"/>	Semanal	<input type="checkbox"/>	Quincenal	<input type="checkbox"/>	Mensual	<input type="checkbox"/>	Bimensual	<input type="checkbox"/>	Trimestral	<input type="checkbox"/>	Cuatrimestral	<input type="checkbox"/>
Semestral	<input type="checkbox"/>	Anual	<input type="checkbox"/>	Bienal	<input type="checkbox"/>	Trienal	<input type="checkbox"/>	Cuatrienal	<input type="checkbox"/>	Quinquenal	<input type="checkbox"/>	Cada 10 años	<input type="checkbox"/>
Estado del equipo, sala de máquinas y accesos													
	Bien	Aceptable	Regular	Mal	Muy mal	Inaceptable							
Estado del equipo	<input type="checkbox"/>												
Mantenibilidad	<input type="checkbox"/>												
Accesibilidad	<input type="checkbox"/>												
Entorno sala	<input type="checkbox"/>												
Elementos auxiliares	<input type="checkbox"/>												
Ruidos extraños	<input type="checkbox"/>												

Figura 5.1. Ficha técnica tipo.

Plan de Mantenimiento de equipos e instalaciones

Figura 5.1. Ficha de toma de datos de equipos. Fuente: IDAE

Las fichas deberán disponer de todos los campos necesarios para:

1. Identificar el equipo en cada sistema y la función a la que se destina.
2. Identificar la familia a la que pertenece.
3. Recoger características técnicas de cada elemento.
4. Apuntar los datos del fabricante.
5. Reflejar los componentes singulares que lo configuran.
6. Definir el estado en que se encuentra.

Para la cumplimentación de las fichas será muy valiosa la aportación de técnicos que tengan experiencia en el mantenimiento del elemento concreto o de elementos similares. Se deberá añadir la información referente a los repuestos recomendados para cada elemento o equipo, que deberán facilitar los fabricantes o proveedores.

La fase de cumplimentación de fichas técnicas determinará si es necesario completar la información recabada en campo llevando a cabo otras visitas a las instalaciones.

Selección de gamas de mantenimiento

A partir del conocimiento exhaustivo de las características de los elementos y equipos, componentes de cada instalación concreta, y una vez catalogados por familias y cumplimentadas sus correspondientes fichas, se podrán establecer las gamas o protocolos de revisiones específicas que se deberán aplicar inicialmente a cada equipo.

Para la identificación de estos protocolos específicos deberán revisarse las gamas genéricas confeccionadas para las familias más significativas y de uso más frecuente.

Como complemento de los protocolos de revisiones de mantenimiento preventivo propuestos se deberán planificar las actuaciones de mantenimiento técnico-legal que correspondan a cada elemento de cada instalación específica y que se especifican en el capítulo 6 y de mantenimiento conductivo.

Definición de intervenciones y frecuencias

Los técnicos encargados de la confección del Plan de Mantenimiento, deberán tomar las gamas genéricas propuestas como guía, y seleccionar y adaptarlas tareas y sus frecuencias a las características y necesidades particulares de la instalación cuyo mantenimiento preventivo se está planificando.

Número	Trabajos	Frecuencia
1	Limpieza general del cuadro y protección antihumedad	A
2	Inspección del estado y repaso de pintura en todos los elementos que la necesiten	A
3	Inspección de la señalización e identificación de componentes del cuadro y reposición, si se requiere	A
4	Comprobación de funcionamiento de interruptores, disyuntores y contactores	T
5	Inspección del estado de los contactos de los contactores. Limpieza y reposición si procede	T
6	Verificación del estado y funcionamiento de reles térmicos y aparellaje de protección en general	T
7	Contraste y ajuste de instrumentos de medida: voltímetros, amperímetros, fasímetros, etc.	T
8	Verificación, contraste y ajuste de instrumentos de medida: registradores y analizadores.	T
9	Verificación de circuitos y conductores de puesta a tierra. Medida de resistencia a tierra	T
10	Verificación de aislamiento eléctrico de protecciones y líneas de todos los circuitos	A
11	Verificación de apriete y afianzamiento de contactos, reajuste de clemas y borneros de conexiones	A
12	Inspección general del cableado interior del cuadro y correcciones, si procede	A
13	Verificación termográfica o directa de temperaturas en el aparellaje y en los conductores	A
14	Comprobación de estado de fusibles y pilotos de señalización y alarma y reposición, si procede	M
15	Medida de tensiones e intensidades en la acometida principal al cuadro y determinación de desequilibrios	T
16	Medida de tensiones e intensidades en los circuitos principales alimentados desde el cuadro y determinación de desequilibrios	T
17	Verificación de apriete de conexiones de circuitos de puesta a tierra	M
18	Verificación de puntos de consigna de protecciones magnetotérmicas e interruptores diferenciales	M
19	Verificación del apriete de conexiones de líneas de todos los circuitos, en ambos extremos	A
20	Verificación del apriete de conexiones de líneas de alimentación a motores, en ambos extremos	T
21	Verificación del aislamiento eléctrico y temperatura de conductores de líneas de alimentación a motores	A

Tabla 5.1. Intervenciones y frecuencias de mantenimiento preventivo

Fuente: IDAE

Planteamiento de actuación

Para completar el Plan de Mantenimiento se debe introducir los conceptos económicos y de gestión que permitan llevar a cabo un servicio eficiente y una correcta explotación de las instalaciones. Hay que definir la dedicación de tiempo

necesaria para cada trabajo, de forma unitaria, así como la formación, experiencia y categoría del personal de servicio que deba realizarlo.

La definición de tiempos necesarios para cada tarea específica no puede ser establecida basándose en ningún criterio matemático ni preconcebido, dado que trabajos idénticos pueden requerir aplicaciones de tiempos diferentes en unas instalaciones y en otras, e incluso actuaciones idénticas sobre elementos idénticos, dentro de una misma instalación, pueden requerir tiempos diferentes.

El tiempo destinado a la puesta en práctica de cada tarea debe establecerse, en cada caso, para cada elemento concreto, en función de la experiencia y capacitación del personal al que inicialmente se asigne el servicio, de la experiencia adquirida en instalaciones similares y del conocimiento del elemento a mantener y de las dificultades o facilidades particulares que implique el acceso al elemento en cuestión, para llevar a cabo las intervenciones de mantenimiento.

Una vez definidos los tiempos por tarea y por elemento, teniendo en cuenta la dificultad de la intervención, se deberán optimizar los tiempos en cada gama o protocolo en función del número de elementos iguales o similares que puedan afectarse por actuaciones de forma simultánea, es decir, utilizando un factor de minoración del tiempo total requerido (factor de simultaneidad), en función de la simultaneidad de trabajos que puedan aplicarse sobre un mismo elemento o bien planificando actuaciones que impliquen la misma tarea sobre elementos iguales o similares de la misma instalación.

Así, se obtendrán los tiempos totales necesarios para llevar a la práctica el programa de mantenimiento en toda su extensión. A partir de esta base se podrán definir los alcances de cada actuación o intervención y los trabajos que deberán realizarse, agrupándolas por frecuencias para configurar los programas de trabajo de cada mes, cada semana, cada día, etc., asignando los recursos humanos y medios técnicos necesarios para llevarlas a cabo.

La organización de los recursos técnicos, humanos y materiales que se aplicarán a cada servicio deberá quedar reflejada, indicando los nombres, niveles profesionales y especialidades de los técnicos que se dedicarán al desarrollo y puesta en práctica del plan, con especial especificación de los responsables directos

de la gestión del mismo. También se deberán reseñar los medios materiales que se utilizarán en la prestación del servicio.

La asignación y organización de estos medios está supeditada a la estructura del gestor del mantenimiento, para alcanzar los siguientes objetivos principales:

- Optimización de los recursos humanos destinados a los servicios de mantenimiento.
- Adecuación de los costes de explotación.
- Alto nivel de eficacia, basado en una correcta planificación y coordinación de los servicios.
- Agilidad de respuesta.
- Optimización de la eficiencia de las instalaciones mantenidas,

Estos objetivos redundarán en el incremento de la calidad de las prestaciones de cada instalación o sistema, el perfeccionamiento de las condiciones de confort, la optimización de los rendimientos y consumos energéticos y la conservación de la eficiencia energética de los equipos instalados.

Hay tareas de mantenimiento que pueden ser desempeñadas por los propios usuarios de los edificios, otras que requieren la acción de personal no especializado para las que no hay inconveniente en que puedan también ser hechas por los mismos usuarios, que pero por su situación o complejidad es mejor que sean encomendadas a personal ya habituado a hacer este tipo de trabajos, aunque no precisen personal específicamente especializado, mientras que otras actuaciones sí requerirán de especialistas en las materias objeto de mantenimiento.

El esquema del proceso seguido en la confección de un Plan de Mantenimiento se representa en el esquema de la figura 5.2



Figura 5.2. Proceso de elaboración de un Plan de Mantenimiento

Durante el uso, hay que realizar un continuo perfeccionamiento de protocolos, adaptándolo a la realidad en función de la experiencia. Es necesaria actualizar continuamente el Plan de Mantenimiento, a partir del registro de todas las actuaciones, tanto preventivas como correctivas, que se efectúen. Esta información será útil ya que hará posible la optimización permanente de los programas y gamas de servicio, corrigiendo las desviaciones tanto técnicas como económicas que se vayan registrando con el paso del tiempo.

El Plan de Mantenimiento deberá ser lo suficientemente flexible como para poder asumir modificaciones o adaptaciones de los protocolos y tareas, en función de las necesidades reales de cada instalación y de su evolución, funcional y energética, durante el transcurso de su vida operativa y diseñarse con posibilidad de dar cabida a nuevas gamas específicas, correspondientes a nuevos elementos que se puedan incorporar a la instalación, así como de aplicar modificaciones de intervenciones y frecuencias, dentro de cada gama.

6. Gamas técnico-legales

Como se ha expuesto en el capítulo 3, el mantenimiento técnico-legal consiste en realizar un conjunto de actuaciones preventivas y correctivas necesarias para dar cumplimiento a las especificaciones establecidas por Reglamentos o Normativas de obligado cumplimiento, de ámbito municipal, autonómico, nacional o europeo. Sin perjuicio de las atribuciones de la Administración, a partir de la puesta en servicio de las instalaciones, los equipos e instalaciones deben ser inspeccionados periódicamente de acuerdo con el Reglamento de la Infraestructura para la Calidad y la Seguridad Industrial, con el fin de comprobar que se mantienen en las debidas condiciones de seguridad.

Para facilitar el trabajo de los gestores de mantenimiento de edificios, a continuación se relacionan las principales instalaciones que en base a la normativa legal vigente, requieren mantenimiento técnico-legal en el sector de la edificación pública y residencial, especificando el ámbito de aplicación, la normativa de aplicación, la periodicidad de las actuaciones y el agente que debe realizar la actuación.

Aparatos elevadores

Aplicación: se aplica a los ascensores movidos eléctrica, hidráulica u oleoeléctricamente, instalados de forma permanente, que pongan en comunicación niveles definidos con una cabina destinada al transporte de personas y/o objetos, suspendida mediante cables o cadenas o sostenida por uno o más pistones, y que se desplace, al menos parcialmente, a lo largo de guías con una inclinación sobre la vertical inferior a 15°.

Normativa: REAL DECRETO 1314/1997, de 1 de agosto por el que se modifica el Reglamento de Aparatos de Elevación y Manutención aprobado por REAL DECRETO 2291/1985. REAL DECRETO 88/2013, de 8 de febrero, por el que se aprueba la Instrucción Técnica Complementaria AEM-1 del Reglamento de Aparatos de Elevación y Manutención.

Inspecciones de mantenimiento preventivo:

- Ascensores en viviendas unifamiliares y ascensores con velocidad no superior a 0,15 m/s: **4 meses**
- Ascensores comunitarios de uso residencial de hasta 6 paradas y ascensores instalados en edificios de uso público de hasta 4 paradas, que tengan una antigüedad inferior a veinte años: **6 semanas**
- Los ascensores no incluidos en los casos anteriores: **1 mes**

Realización: empresa conservadora (mantenedora)

Inspecciones de seguridad:

- Ascensores instalados en edificios industriales y lugares de pública concurrencia: **2 años**
- Ascensores instalados en edificios de más de 20 viviendas o de más de 4 plantas: **4 años**

- Ascensores instalados en edificios no incluidos en los casos anteriores:
6 años

Realización: Organismo de Control Autorizado (OCA) junto con la empresa mantenedora.

Además, deberán inspeccionarse los ascensores tras un accidente con daños a las personas o los bienes y cuando así lo determine el órgano competente de la Comunidad Autónoma en uso de sus atribuciones legales.

Generadores de calor

Aplicación: Se aplica a instalaciones térmicas fijas de calefacción y de producción de agua caliente sanitaria.

Normativa: REAL DECRETO 1027/2007 de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios y REAL DECRETO 238/2013, de 5 de abril, por el que se modifican artículos e instrucciones técnicas del RITE.

Inspecciones de mantenimiento preventivo:

Periodicidad: Según tabla 6.1

Generadores de calor	USOS	
	viviendas	otro uso
Calentadores de ACS a gas $24,4 \text{ kW} \leq P_n$	5 años	2 años
Calentadores de ACS a gas $24,4 \text{ kW} < P_n \leq 70 \text{ kW}$	2 años	1 año
Calderas murales a gas $70 \text{ kW} \leq P_n$	1 año	1 año
Resto instalaciones calefacción $70 \text{ kW} \leq P_n$	1 año	1 año
Instalaciones de potencia superior a 70 kW	mensual	mensual

Tabla 6.1. Mantenimiento preventivo de generadores de calor

En instalaciones de potencia útil nominal hasta 70 kW, con supervisión remota en continuo, la periodicidad se puede incrementar hasta 2 años, siempre que estén garantizadas las condiciones de seguridad y eficiencia energética.

Realización: Empresas mantenedoras

Inspecciones de seguridad:

Periodicidad: Según lo especificado en la Tabla 6.2

Generadores de calor			
potencia	20 kW ≤ P ≤ 70 kW	P > 70 kW	
energía	cualquier energía	gases/renovables	Otras
periodicidad	5 años	4 años	2 años

Tabla 6.2. Revisiones periódicas de generadores de calor

Realización: Organismos o entidades de control autorizadas para este campo reglamentario, o técnicos independientes, cualificados y acreditados por el órgano competente de cada Comunidad Autónoma

Calderas de vapor y agua sobrecalentada

Aplicación: se aplica a equipos sometidos a la acción de una llama o aportación de calor para la obtención de vapor o agua sobrecalentada y a equipos a presión sometidos a una presión superior a 0,5 bar.

Normativa: REAL DECRETO 2060/2008 de 12 de diciembre por el que se aprueba el Reglamento de Equipos a Presión y sus instrucciones técnicas complementarias y

Real Decreto 769/1999, de 7 de mayo, por el que se dictan las disposiciones de aplicación de la Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo 97/23/CE, relativa a equipos de presión.

Periodicidad:

- Calderas vapor y agua caliente categoría I,II,III y IV - nivel A: **1 año**
- Calderas vapor y agua caliente categoría I,II,III y IV - nivel B: **3 años**
- Calderas vapor y agua caliente categoría I,II,III y IV - nivel C: **6 años**

Responsable: Organismo de Control Autorizado, excepto cuando el producto $P(\text{kg/cm}^2) \times V(\text{m}^3)$ sea menor de 25, que lo puede realizar el fabricante, el instalador o la empresa.

Generadores de frío

Aplicación: Se aplica a instalaciones de generación de frío fijas.

Normativa: REAL DECRETO 1027/2007 de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y REAL DECRETO 238/2013, de 5 de abril, por el que se modifican artículos e instrucciones técnicas del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios.

Inspecciones de mantenimiento preventivo:

Periodicidad: Según lo especificado en la tabla 6.3.

En instalaciones de potencia útil nominal hasta 70 kW, con supervisión remota en continuo, la periodicidad se puede incrementar hasta 2 años, siempre que estén garantizadas las condiciones de seguridad y eficiencia energética.

Generadores de calor	usos	
	viviendas	otro uso
Aire acondicionado $12 \text{ kW} \leq P_n$.	4 años	2 años
Aire acondicionado $12 \text{ kW} < P_n \leq 70 \text{ kW}$	2 año	1 año
Instalaciones de potencia superior a 70 kW	mensual	mensual

Tabla 6.3. Mantenimiento preventivo de equipos de aire acondicionado

Realización: Empresas mantenedoras

Inspecciones de seguridad:

Periodicidad: Según lo especificado en la Tabla 6.4

Generadores de frío		
potencia	$P < 12 \text{ kW}$	$P \geq 12 \text{ kW}$
periodicidad	-	5 años

Tabla 6.4. Revisiones periódica generadores de frío

Realización: Organismos o entidades de control autorizadas para este campo reglamentario, o técnicos independientes, cualificados y acreditados por el órgano competente de la Comunidad Autónoma

Instalaciones térmicas

Aplicación: instalaciones fijas de climatización (calefacción, refrigeración y ventilación) y de producción de agua caliente sanitaria, destinadas a atender la

demanda de bienestar térmico e higiene de las personas. Con potencia térmica nominal instalada sea mayor que 20 kW en calor o 12 kW en frío.

Normativa: REAL DECRETO 1027/2007 de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y REAL DECRETO 238/2013, de 5 de abril, por el que se modifican artículos e instrucciones técnicas del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios.

Periodicidad: **15 años**, contados a partir de la fecha de emisión del primer certificado de la instalación,

Actuaciones:

- Inspección de todo el sistema relacionado con la exigencia de eficiencia energética
- Inspección del registro oficial de las operaciones de mantenimiento y comprobación del cumplimiento y la adecuación del Manual de Uso y Mantenimiento a la instalación existente
- Elaboración de un dictamen con el fin de asesorar al titular de la instalación, proponiéndole mejoras o modificaciones de su instalación, para mejorar su eficiencia energética y contemplar la incorporación de energía solar.

Realización: Organismos o entidades de control autorizadas o técnicos independientes, cualificados y acreditados por el órgano competente de la Comunidad Autónoma.

Instalaciones frigoríficas

Aplicación: instalaciones frigoríficas de nueva construcción, así como a las ampliaciones, modificaciones y mantenimiento de éstas y de las ya existentes.

Normativa: REAL DECRETO 138/2011, de 4 de febrero, por el que se aprueba el Reglamento de Seguridad para Instalaciones Frigoríficas y sus Instrucciones Técnicas Complementarias.

Revisiones de mantenimiento preventivo:

Revisiones periódicas: las instalaciones se revisarán, como mínimo, cada cinco años aunque las instalaciones que utilicen una carga de refrigerante superior a 3.000 kg y posean una antigüedad superior a quince años se revisarán al menos cada dos años. Independientemente de las revisiones periódicas reglamentarias, se examinarán las instalaciones siempre que se efectúen reparaciones en las mismas por la empresa frigorista que las realice, haciéndose constar dichas reparaciones en el libro de registro de la instalación frigorífica.

Realización: Empresa frigorista autorizada.

Inspecciones de seguridad:

Periodicidad: Se inspeccionarán cada diez años las instalaciones frigoríficas de nivel 2. Sin embargo, las instalaciones que empleen refrigerantes fluorados se inspeccionarán cada año si su carga de refrigerante es igual o superior a 3.000 kg, cada dos años si es inferior a 3.000 kg pero igual o superior a 300 kg, y cada cinco años si es superior a 30 kg pero inferior a 300 kg. La inspección detallada en el punto 6 de este apartado es independiente del refrigerante utilizado y se realizará por lo tanto cada diez años.

Realización: Organismo de Control Autorizado (OCA)

Centros de transformación

Aplicación: instalaciones de corriente alterna, cuya tensión nominal eficaz sea superior a 1 KV, entre 2 conductores cualesquiera, con una frecuencia de servicio inferior a 100 Hz. Se consideran incluidas todas las instalaciones eléctricas de

conjuntos o sistemas de elementos, componentes, estructuras, aparatos, máquinas y circuitos de trabajo.

Normativa: REAL DECRETO 3275/1982, de 12 de noviembre, sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación.

Periodicidad:

- Tercera Categoría: $1\text{KV} < \text{Tensión Nominal} \leq 30\text{ KV}$: **3 años**
- Puesta a tierra de las instalaciones: **3 años**

Realización: Organismo de Control Autorizado (OCA)

Líneas eléctricas de alta tensión

Aplicación: líneas eléctricas de alta tensión de corriente alterna trifásica a 50 Hz de frecuencia, cuya tensión nominal eficaz entre fases sea superior a 1 KV.

Normativa: REAL DECRETO 223/2008, de 15 de febrero, por el que se aprueba el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias.

Periodicidad: 3 años

Realización: Organismo de Control Autorizado (OCA)

Instalaciones de alumbrado exterior

Aplicación: instalaciones de alumbrado exterior de más de 1 kW de potencia instalada.

Normativa: REAL DECRETO 1890/2008, de 14 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus instrucciones complementarias EA-01 a EA-07.

Periodicidad:

- Instalaciones alumbrado exterior, de más de 5 kW de potencia instalada: **5 años**

Realización: Organismo de Control Autorizado (OCA)

Instalaciones eléctricas receptoras

Aplicación: instalaciones que distribuyan energía eléctrica, a las generadoras de electricidad para consumo propio y a las receptoras, de corriente alterna igual o inferior a 1.000 V y de corriente continua igual o inferior a 1.500 V.

Normativa: REAL DECRETO 842/2002 de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión.

Periodicidad:

- Quirófanos y salas de intervención: Además de las inspecciones periódicas establecidas, se realizará una revisión anual de la instalación por una empresa instaladora autorizada: **1 año**
- Locales de pública concurrencia: **5 años**
- Locales con riesgo de incendio o explosión, de clase I (que precisaron inspección inicial): **5 años**
- Locales mojados con potencia instalada superior a 25 kW (que precisaron inspección inicial): **5 años**
- Piscinas con potencia instalada superior a 25Kw (que precisaron inspección inicial): **5 años**

- Instalaciones de alumbrado exterior con potencia instalada superior a 5 kW (que precisaron inspección inicial): **5 años**
- Instalaciones de puesta a tierra ITC-BT-18 (se realizara en la época en la que el terreno este más seco). **1 año**
- Instalaciones eléctricas de baja tensión que precisen inspección inicial: **5 años**
- Instalaciones eléctricas de baja tensión de edificios de viviendas con P > 100 kW: **10 años**

Realización: Organismo de Control Autorizado (OCA)

Instalaciones contra incendios

Aplicación: Edificaciones públicas y privadas cuyos proyectos precisen disponer de la correspondiente licencia o autorización legalmente exigible, entendiéndose por tal la acción y el resultado de construir un edificio de carácter permanente, público o privado, cuyo uso principal se administrativo, sanitario, religioso, residencial en todas sus formas, docente, cultural y asimilados.

Normativa: REAL DECRETO 1942/1993, de 5 de Noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de instalaciones de protección contra incendio. REAL DECRETO 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. REAL DECRETO 2267/2004 de 3 de diciembre, Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales.

Periodicidad:

- Sistemas automáticos de detección y alarma de incendios: **1 año**
- Sistema manual de alarma de incendios: **1 año**
- Extintores de incendio: **1 año/ 5 años**

- Bocas de incendio equipadas (BIE): **1 año/ 5 años**
- Sistemas fijos de extinción: rociadores de agua, agua pulverizada, polvo, espuma, anhídrido carbónico: **1 año/ 5 años**
- Instalaciones industriales establecimiento de riesgo intrínseco BAJO: **5 años**
- Instalaciones industriales establecimiento de riesgo intrínseco MEDIO: **3 años**
- Instalaciones industriales establecimiento de riesgo intrínseco ALTO: **2 años**

Realización: Empresa mantenedora

Almacenamiento de combustibles líquidos

Aplicación: Instalaciones de almacenamientos de carburantes y combustibles líquidos, para aplicaciones industriales, agrícolas, ganaderas, domésticas y de servicio.

Normativa: REAL DECRETO 1523/1999, de 1 de octubre, por el que se modifica el Reglamento de Instalaciones Petrolíferas, aprobado por REAL DECRETO 2085/1994, de 20 de octubre, y las Instrucciones Técnicas Complementarias, aprobadas por el REAL DECRETO 1427/1997.

Periodicidad: según tabla 6.5

Instalaciones petrolíferas	Reglamento	Periodicidad
Parques de almacenamiento	RD 1562/1998	10 años
Instalaciones en superficie	RD 1523/1999	
Instalaciones sin proyecto		10 años
Instalaciones con proyecto		5 años

Instalaciones enterradas	RD 1523/1999	
Tanques sin buzo		5/10 años
Tanques doble pared sin detección de fugas		5/10 años
Pruebas de estanqueidad en tuberías		5 años
Inspección periódica global de instalaciones con proyecto	RD 1523/1999	10 años

Tabla 6.5. Revisiones periódicas de instalaciones petrolíferas

Realización: Organismo de Control Autorizado (OCA)

Distribución y utilización de combustibles gaseosos

Aplicación: instalaciones de envases de Gases Licuados de petróleo (GLP), instalaciones receptoras de combustibles gaseosos y aparatos que utilizan los combustibles gaseosos.

Normativa: REAL DECRETO 919/2006, de 28 de julio, por el que se aprueba el Reglamento Técnico de Distribución y Utilización de Combustibles Gaseosos y sus Instrucciones Técnicas Complementarias.

Periodicidad:

- Centros de almacenamiento de 4ª categoría con capacidad nominal de contenido desde 501 kg hasta 1.000 kg ITC-ICG 02
- Instalaciones de almacenamiento de GLP en depósitos fijos de 2.000 y 500 m³ de superficie o enterrados en instalaciones que alimentan a redes de distribución. ITC-ICG 03
- Resto de instalaciones de almacenamiento de GLP en depósitos fijos de 2.000 y 500 m³ de superficie o enterrados ITC-ICG 03.

- Instalaciones receptoras de combustible gaseoso alimentadas desde redes de distribución ITC-ICG 07.
- Instalaciones receptoras de combustible gaseoso no alimentadas desde redes de distribución ITC-ICG 07.

Depósitos de gases criogénicos

Aplicación: se aplica a depósitos criogénicos con volúmenes superiores a 1.000 litros de capacidad geométrica, destinados a almacenamiento y utilización de los gases criogénicos: argón, nitrógeno, anhídrido carbónico, helio, protóxido de nitrógeno N₂O, criptón, neón, oxígeno, xenón, etano, etileno, hidrógeno y aire.

Normativa: REAL DECRETO 2060/2008 de 12 de Diciembre por el que se aprueba el Reglamento de Equipos a Presión e Instrucción Técnica Complementaria EP-4.

Periodicidad: la indicada en la Tabla nº 6.6

Realización: Organismo de Control Autorizado excepto en nivel de inspección de tipo A que puede ser el instalador

Nivel de inspección	Responsable	Categoría y grupo		
		I-2 /II-2	I-1/II-1/III-2/IV-2	III-1/IV-1
A	Instalador	4 años	3 años	2 años
B	OCA	8 años	6 años	4 años
C	OCA	-	12 años	12 años

Tabla nº 6.6. Periodicidad de inspecciones en función del nivel de inspección, categoría y grupo.

Prevención legionelosis

Aplicación: se aplica a instalaciones que utilicen agua en su funcionamiento, produzcan aerosoles y se encuentren ubicadas en el interior o exterior de edificios de uso colectivo que puedan ser susceptibles de convertirse en focos para la propagación de la enfermedad, durante su funcionamiento, pruebas de servicio o mantenimiento. Estas instalaciones se clasifican en función de la probabilidad de proliferación y dispersión de la legionella en:

1.- Instalaciones con MAYOR probabilidad de proliferación y dispersión:

- a) Torres de refrigeración y condensadores evaporativos.
- b) Sistemas de agua caliente sanitaria con acumulador y circuito de retorno.
- c) Sistemas de agua climatizada con agitación constante y recirculación a través de chorros de alta velocidad o la inyección de aire (spas, jacuzzis, piscinas, bañeras terapéuticas, hidromasaje, tratamientos con chorros a presión, otras).
- d) Centrales humidificadoras industriales.

2.- Instalaciones con MENOR probabilidad de proliferación y dispersión:

- a) Sistemas de instalación interior de agua fría de consumo humano, tuberías, depósitos, aljibes, cisternas o depósitos móviles y agua caliente sanitaria sin circuito de retorno.
- b) Equipos de enfriamiento evaporativo que pulvericen agua.
- c) Humectadores.
- d) Fuentes ornamentales.
- e) Sistemas de riego por aspersión en el medio urbano.
- f) Sistemas de agua contra incendios.
- g) Elementos de refrigeración por aerosolización, al aire libre.
- h) Otros aparatos que acumulen agua y puedan producir aerosoles.

3.- Instalaciones de riesgo en terapia respiratoria:

- a) Equipos de terapia respiratoria.
- b) Respiradores.
- c) Nebulizadores.
- d) Otros equipos médicos en contacto con las vías respiratorias.

Normativa: REAL DECRETO 865/2003, de 4 de julio, por el que se establecen los criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la legionelosis.

Periodicidad:

- Revisión general instalaciones interiores de agua caliente sanitaria y agua fría de consumo humano: **1 año**
- Revisión del estado conservación y limpieza de la instalación agua caliente y fría sanitaria de los depósitos acumuladores: **3 meses**
- Revisión del estado conservación y limpieza de la instalación de agua caliente y fría sanitaria de los puntos terminales, grifos y duchas de forma rotativa a lo largo del año: **1 mes**
- Separador de gotas en las torres de refrigeración: **1 año**
- Condensador y relleno en torres de refrigeración: **6 meses**
- Revisión de la bandeja en las torres de refrigeración: **1 mes**
- Revisión físico química y microbiológica del agua del sistema en las torres de refrigeración: **1 mes**
- Elementos de bañeras y difusores: **1 mes**
- Elementos de piscinas, especialmente conductos y filtros: **1 mes**
- Boquillas de impulsión, grifos y duchas de las piscinas: **6 meses**

Realización: Empresa autorizada

Almacenamiento de productos químicos

Aplicación: instalaciones de almacenamiento, carga, descarga y trasiego de productos químicos peligrosos.

Normativa: REAL DECRETO 379/2001, de 6 de abril, por el que se aprueba el Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos y sus Instrucciones Técnicas Complementarias. REAL DECRETO 363/1995, de 10 de marzo por el que aprueba el Reglamento sobre Clasificación, Envasado y Etiquetado de Sustancias Peligrosas.

Periodicidad:

- Instalaciones con productos clase A licuados cuya presión absoluta de vapor a 15°C sea superior a 1 bar: **1 año**
- Instalaciones con productos clase B cuyo punto de inflamación es inferior a 55°C y no están comprendidos en la clase A: **1 año**
- Instalaciones con productos clase C cuyo punto de inflamación está comprendido entre 55°C y 100°C: **1 año**
- Instalaciones con productos clase D cuyo punto de inflamación es superior a 100°C: **1 año**
- Almacenamiento de óxido de etileno (esterilización de equipos médicos): **1 año**

Realización: Organismo de Control Autorizado

Certificación energética

Aplicación: edificios de nueva construcción, edificios o partes de edificios existentes que se vendan o alquilen a un nuevo arrendatario, siempre que no dispongan de un certificado en vigor y edificios o partes de edificios en los que una autoridad pública ocupe una superficie útil total superior a 250 m² y que sean frecuentados habitualmente por el público.

Normativa: Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios.

Periodicidad: **10 años**

Realización: técnico que esté en posesión de cualquiera de las titulaciones académicas y profesionales habilitantes para la redacción de proyectos o dirección de obras y dirección de ejecución de obras de edificación o para la realización de proyectos de sus instalaciones térmicas. Puede estar acompañado de un técnico ayudante que esté en posesión de un título de formación profesional, entre cuyas competencias se encuentran la colaboración como ayudante del técnico competente en el proceso de certificación energética de edificios.

Plan de autoprotección

Aplicación: el Plan de Autoprotección es de aplicación en centros, establecimientos, y dependencias dedicados a actividades que puedan dar origen a situaciones de emergencia. Su obligación depende de la altura de evacuación y la ocupación según lo especificado en la Tabla 6.7.

Consiste en un sistema de acciones y medidas, adoptadas por los titulares de las actividades, públicas o privadas, con sus propios medios y recursos, encaminadas a prevenir y controlar los riesgos sobre las personas y los bienes, a dar respuesta adecuada a las posibles situaciones de emergencia y a garantizar la integración de estas actuaciones en el sistema público de protección civil.

Normativa: REAL DECRETO 393/2007 de 23 de marzo por el que se aprueba la Norma Básica de Autoprotección de los centros, establecimientos, y dependencias dedicados a actividades que puedan dar origen a situaciones de emergencia.

actividad	altura evacuación	ocupación
Docente para discapacitados	cualquiera	cualquiera
Docente en general	≥ 28 m	≥ 2.000 personas
Sanitaria con hospitalización	-	≥200 camas
Sanitaria general	≥ 28 m	≥ 2.000 personas
Residencial discapacitados		≥ 100 personas
Residencial general	≥ 28 m	≥ 2.000 personas
Comercial	≥ 28 m	≥ 2.000 personas
Administrativa	≥ 28 m	≥ 2.000 personas
Prestación de servicios	≥ 28 m	≥ 2.000 personas
Instalación cerrada desmontable		≥ 2.500 personas
Estaciones de transporte público		≥ 1.500 personas

Tabla 6.7. Actividades en las que es obligado disponer de un Plan de Autoprotección

Elaboración: técnico competente capacitado para dictaminar sobre aquellos aspectos relacionados con la autoprotección frente a los riesgos a los que esté sujeta la actividad que se realice en el edificio.

7. Pruebas y ensayos

Para gestionar adecuadamente el mantenimiento de un edificio durante su periodo de utilización, es necesario realizar determinadas pruebas y ensayos que permitan analizar el estado de funcionamiento de un activo y predecir y evitar su fallo antes de que se produzca la avería. Entre las pruebas, controles y ensayos que se utilizan habitualmente en el mantenimiento de la edificación están los siguientes:

Partículas magnéticas

Con el ensayo mediante partículas magnéticas, pueden detectarse las discontinuidades perpendiculares a las líneas de fuerza del campo magnético en materiales ferromagnéticos, mediante la generación de una corriente magnética en el elemento. Se utiliza para detectar la existencia de grietas y microfisuras y estimar su profundidad, en elementos como ejes, volantes de inercia, carcasas,...

Cuándo se induce un campo magnético en un material ferromagnético, se forman distorsiones en este campo si el material presenta una zona en la que existen discontinuidades perpendiculares a las líneas del campo magnetizable, por lo que éstas se deforman o se producen polos. Estas distorsiones o polos atraen a las partículas magnetizables que son aplicadas en forma de polvo o suspensión, en la superficie a examinar y por acumulación producen las indicaciones que se

observan visualmente de forma directa o empleando luz ultravioleta. Sin embargo los defectos que son paralelos a las líneas del campo magnético no se aprecian, puesto que apenas distorsionan las líneas del campo magnético.

Corrientes inducidas

La técnica de las corrientes inducidas, basada en el electromagnetismo, se utiliza para detectar defectos superficiales o subsuperficiales en un elemento y también para medir el espesor de capas conductoras o no conductoras en materiales con base ferrosa o no ferrosa. Detecta la presencia de discontinuidades en los materiales, tales como grietas, burbujas, fisuras,...

Para realizar el ensayo se utiliza un defectómetro, que es un aparato electrónico que consta de un palpador que tiene en su interior una bobina, recorrida por una corriente alterna de elevada frecuencia, que origina un campo magnético que induce una corriente en la superficie de la pieza.

Estas corrientes inducidas en la pieza ejercen su influencia sobre las características eléctricas de la bobina y, más concretamente, sobre su impedancia. Cuando existen defectos en la superficie de la pieza, la distribución de las corrientes origina un cambio de impedancia en la bobina que se traduce en un cambio de la indicación de la aguja en la escala.

Líquidos penetrantes

El ensayo por líquidos penetrantes consiste en aplicar un líquido coloreado o fluorescente a la superficie a examinar, el cual penetra en las discontinuidades del material debido al fenómeno de capilaridad. Después de cierto tiempo, se remueve el exceso de líquido penetrante y se aplica un revelador, generalmente a base de polvo blanco, que absorbe el líquido que ha penetrado en las discontinuidades y así, sobre la capa de revelador, se delinea su contorno.

Las aplicaciones de esta técnica son amplias, y van desde la inspección de piezas críticas hasta elementos de menor importancia. Se pueden inspeccionar materiales metálicos, cerámicos, vidriados, plásticos, porcelánicos, recubrimientos electro-químicos,...

Radiografía industrial

Es un método que utiliza radiación ionizante de alta energía. La radiación, al pasar a través de un material sólido, atenúa parte de su energía debido a diferencias de espesores, densidad o presencia de discontinuidades. Las variaciones de atenuación o absorción son detectadas y registradas en una película radiográfica o pantalla fluorescente, obteniéndose una imagen de la estructura interna de una pieza o componente.

Utilizando radiaciones electromagnéticas de onda muy corta, rayos X o rayos Gamma, se pueden fotografiar discontinuidades profundas causadas por fatiga, corrosión, inclusiones, falta de penetración de soldaduras,...

Existen diferentes tipos de técnicas radiológicas, entre ellas la radiografía con rayos X, la gammagrafía, que utiliza rayos gamma, la radiografía de neutrones, la estéreo-radiografía y la microrradiografía.

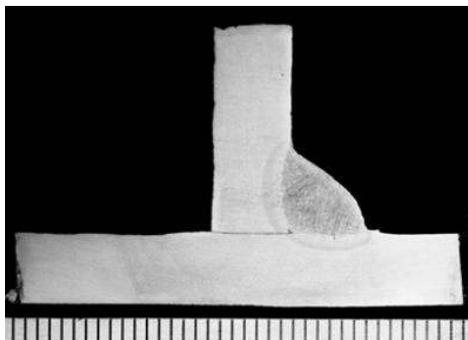


Figura 7.1. Radiografía industrial de una soldadura

Termografía infrarroja

La técnica termográfica consiste en utilizar imágenes de la radiación térmica emitida por los objetos en la región infrarroja del espectro, debido a que cualquier sustancia que se encuentre a más de 0 Kelvin, emite radiación electromagnética cuyas características dependen de su temperatura. Se utiliza en equipos que desprenden calor como medio para determinar la condición operativa del sistema, ya que la cantidad de calor emitida varía a medida que lo hacen sus condiciones de operación [21]. La cámara termográfica o cámara infrarroja es el dispositivo que, a partir de las emisiones de infrarrojos medios del espectro electromagnético de los cuerpos detectados, forma imágenes luminosas visibles por el ojo humano. En la figura 7.2 se muestra la imagen de una cámara termográfica portátil.



Figura 7.2. Cámara termográfica portátil. Fuente: Testo

Su aplicación más extendida es la detección de conexiones eléctricas defectuosas en circuitos eléctricos, calentamiento en equipos, por ejemplo transformadores, fallos en el aislamiento térmico en fachadas de edificios, infiltraciones de aire, problemas de humedades, falta de aislamiento en tuberías, identificación de puentes térmicos,... No obstante hay que tener cuidado con la

interpretación de datos, debido a que las superficies con emisividad térmica muy baja pueden dar lugar a lecturas erróneas.

En algunos países es obligatorio someter los edificios a ensayos de fugas térmicas antes de autorizar su puesta en funcionamiento mediante la correspondiente licencia de apertura.

Análisis tribológico

El análisis tribológico consiste en analizar el desgaste debido al rozamiento de un equipo, a través del aceite utilizado en su lubricación, utilizando diferentes ensayos en laboratorio. La información nos permite determinar si una máquina está sufriendo un desgaste anormal o si el lubricante está degradado. La vigilancia de la tribología emplea varias técnicas, entre ellas la espectometría, la ferrografía y el ensayo de contaminación química.

En la figura 7.3 se representa el comportamiento tribológico de tres equipos en función del tiempo, en la que se puede apreciar el parecido con la curva de bañera.

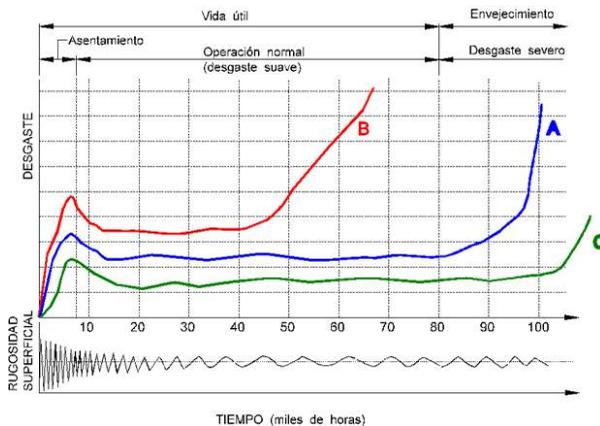


Figura 7.3. Comportamiento tribológico de un equipo. Fuente: www.ceroaverias.com

La curva A representa un comportamiento tribológico normal del equipo en donde se alcanza la vida útil del diseño que entrega el fabricante, (en este caso 80.000 horas), la curva B indica un proceso tribológico negativo, donde no se alcanza esa vida (sólo llega a 40.000 horas), obsérvese que los niveles de desgaste durante las primeras 6.000 horas de trabajo son más altos que en la curva A; la curva C corresponde a un proceso tribológico positivo, donde se excede la vida del diseño o vida útil del equipo (se alcanzan 100.000 horas).

Análisis por ultrasonidos

El análisis por ultrasonidos es apropiado para la detección, identificación y evaluación de grietas derivadas de procesos de fatiga de materiales y para vigilancia del proceso de corrosión, medidas de espesores, etc. Además se utiliza para detección de fallos en rodamientos, inspección de válvulas, detección de fugas de aire comprimido, inspección de purgadores de vapor, detección de fugas de gas a distancia, inspección de líneas de alta tensión e inspección de cuadros y aparatos de tipo eléctrico.

En la figura 7.4 se puede observar un equipo portátil de medición por ultrasonidos.



Figura 7.4. Equipo portátil de medición por ultrasonidos.

Análisis de vibraciones

El análisis de vibraciones se basa en el hecho de que en los elementos sometidos a movimiento giratorio, a medida que un elemento se van desgastando, sus niveles de vibración cambian. Los cambios en el nivel de vibración se pueden utilizar como indicador para detectar fallos incipientes y para definir las posibles causas de mal funcionamiento. La vibración se caracteriza por tres parámetros: desplazamiento, velocidad y aceleración, para los que se utilizan los correspondientes transductores cuya información se monitoriza.

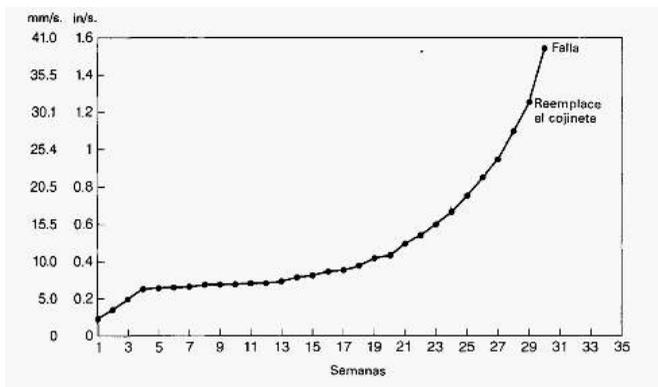


Figura 7.5. Análisis de vibraciones de un cojinete

En la figura 7.5 se representa el análisis de vibraciones de un cojinete, y se observa como se debe reemplazar el cojinete ensayado cuando llega al valor de 32 mm/s, manteniendo así un margen de seguridad previo a la rotura.

Boroscopia

La técnica boroscópica consiste en inspecciones visuales en lugares inaccesibles para el ojo humano con la ayuda de un equipo óptico, consistente en un dispositivo largo y delgado en forma de varilla flexible. En el interior de este tubo hay un

sistema telescópico con lentes, que aportan una gran definición de imagen y está equipado con una fuente de luz. La imagen resultante puede verse en un monitor, o ser registrada. La boroscopia se utiliza para realizar inspecciones de motores turbinas, calderas,... En la figura 7.6 se puede observar la imagen de un boroscopio comercial.



Figura 7.6. Boroscopio industrial

Además, las técnicas boroscópicas se utilizan con asiduidad en la videoinspección de conductos de climatización, especialmente en zonas de especial criticidad en hospitales por ejemplo, así como en la inspección y limpieza de las redes de saneamiento.

Inspección sensorial

En toda instalación existen componentes de baja criticidad cuyo fallo no puede ser previsto por el modo en que este evoluciona. Este sería el caso por ejemplo de las luminarias del edificio y otros cuyo fallo o deterioro sólo puede ser detectado mediante la inspección visual, auditiva o táctil.

En estos casos se utilizan las inspecciones sensoriales, que consisten en la observación del equipo, tratando de identificar incidencias detectables a simple vista. Los problemas habituales suelen ser: ruidos anormales, vibraciones extrañas y fugas de aire, agua o aceite, falta de pintura y signos de corrosión.

La lectura de indicadores consiste en la anotación de los diferentes parámetros que se miden en continuo en los equipos, para compararlos con su rango normal. Fuera de ese rango normal, el equipo tiene un fallo. Estas inspecciones y lecturas, por su sencillez y economía, es conveniente que sean realizadas a diario y que abarquen al mayor número de equipos posible, y estarán en concordancia con las gamas de mantenimiento conductivo que sean de obligado cumplimiento en el edificio o en sus instalaciones.

Medición de la transmitancia térmica en paredes

El cálculo de la transmitancia térmica de un muro puede determinarse experimentalmente, mediante la medición de tres temperaturas, la temperatura interior (T_i), la temperatura exterior (T_e) y la temperatura de superficie interior (T_w). Se puede realizar con tres termómetros o mediante el uso de un equipo de medida de transmisividad térmica, pues las anteriores temperaturas están directamente relacionadas mediante la semejanza entre el flujo de calor ambiente-pared con el flujo a través de la pared. La medida se basa en la suposición de flujo de calor unidireccional y estacionario en el muro. El valor de la transmitancia térmica corresponde a la expresión 7.1, siendo h_i el coeficiente de película interior.

$$U = \frac{T_i - T_w}{T_i - T_e} \times h_i \quad (7.1)$$

De esta forma, se pueden comprobar la existencia de defectos de aislamientos iniciales o sobrevenidos en los cerramientos del edificio. No obstante, se trata de una medida que puede realizarse con cierta precisión cuando las temperaturas interior y exterior varíen poco, siendo recomendable realizar la medida justo antes de la salida del sol y realizarla en muros que no se encuentren expuestos a la radiación solar directa [22], buscando días donde el comportamiento del muro sea efectivamente estacionario y que exista la mayor diferencia de temperaturas entre el exterior y el interior. En la figura 7.7 se muestra el montaje experimental necesario para la realización de la medida.

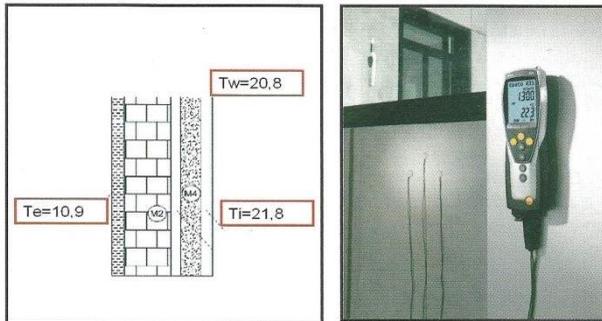


Figura 7.7. Medida de la conductividad térmica de paredes.
Fuente: DTIE 17.04

Equilibrado dinámico de rotores

El equilibrado de rotores es una técnica que consiste en reducir el efecto del fenómeno vibratorio y la tensión de un eje en rotación, para poder alcanzar un mejor funcionamiento y una mayor eficiencia del motor. Para ello, se establece la relación matricial entre la vibración del rotor sobre sus propios soportes y el desequilibrio residual por excentricidad de masa sobre el centro de rotación. De esta manera se disminuye la carga de fatiga sobre los apoyos aumentando la vida útil de los cojinetes y rodamientos, disminuyendo las vibraciones y ruidos, ahorrando energía en el accionamiento del rotor y evitando el calentamiento en motores eléctricos.

Alineación de acoplamientos

La alineación de acoplamientos es una técnica que consiste en alinear con precisión los acoplamientos de las máquinas rotativas. Se utilizan dos técnicas: mediante indicadores mecánicos de esfera y mediante tecnología láser, que ha

perfeccionado la alineación más que ningún otro método, pues es posible conseguir niveles de precisión de 0,01 mm, con longitudes de eje de hasta 20 m.

Aproximadamente el 50% de las averías en máquinas rotativas se deben a desalineaciones de los ejes. Las máquinas mal alineadas generan cargas y vibraciones adicionales, causando daños prematuros en rodamientos, apoyos y acoplamientos.

Para alinear los ejes, primero se mide el estado de la alineación de la maquinaria, luego se alinea la máquina horizontal y verticalmente y por último, se documenta la información del proceso de alineación. El sistema está formado por dos unidades de medición con emisor y receptor láser. Estas unidades se ajustan a los ejes del acoplamiento mientras que el operario utiliza una pantalla por la que introduce los datos de la geometría del conjunto y obtiene los resultados de la alineación.

Análisis Modal Experimental

El análisis estructural tipo ODS (Operating Deflection Shape), es una técnica para investigar y estimar los parámetros que describen el comportamiento dinámico de un sistema, mediante un software que permite simular el comportamiento dinámico de una estructura o máquina.

El sistema utiliza las mediciones de vibración obtenidas de los analizadores de vibración multicanal para registrar el comportamiento del elemento bajo observación y lo modeliza en tres dimensiones, pudiendo visualizar en la pantalla el movimiento registrado durante las mediciones.

El análisis modal experimental, utilizando un modelo simplificado de la estructura y las máquinas, permite conocer los movimientos relativos de las distintas partes, identificar las frecuencias dominantes y determinar las direcciones y sentidos en que se producen los movimientos máximos. Los equipos generan

distintas frecuencias que podrían hacer entrar en resonancia con alguna parte de la estructura y/o estar frente a una falta de rigidez en alguna dirección.

El sistema se utilizar para identificar frecuencias y modos propios del sistema, medir propiedades específicas, como son la amortiguación o la rigidez y sobre todo, verificar los resultados teóricos con los resultados experimentales.

Medición de la Calidad Térmica del edificio

El RITE establece unas condiciones de bienestar térmico que deben asegurarse en las zonas de ocupación de un edificio. Se define la zona de ocupación, o zona ocupada, como el volumen situado entre 0,10 y 1,80 metros de altura y separado 0,5 metros de las paredes que se amplían a un metro si la pared tiene ventanas o elementos terminales.

En este espacio hay que controlar la temperatura operativa, la humedad relativa y la velocidad del aire. En locales donde no existan corrientes de aire importantes y la temperatura de suelo y paredes no sea muy diferente a la temperatura seca del aire, se pueden medir las condiciones térmicas interiores mediante un termohigrómetro como el que se muestra en la figura 7.8



Figura 7.8. Termohigrómetro comercial.

Medición de la Calidad del Aire del edificio

La renovación del aire de los edificios afecta de forma directa al bienestar de sus usuarios. Una buena calidad de aire se consigue mediante una filtración adecuada, la higiene de los conductos y la renovación del aire. La medición de la calidad del aire permite la medida indirecta de estos parámetros a partir de la concentración de dióxido de carbono en el ambiente. Esto permite medir el caudal de ventilación, pero no detecta la presencia de posibles contaminantes específicos o el correcto funcionamiento de los sistemas de filtración de aire. Un equipo de medición de la calidad del aire se muestra en la figura 7.9.



Figura 7.9- Equipo de medición de la calidad de aire ambiental

El equipo proporciona directamente el dato de la concentración de CO_2 en ppm, sirviendo la diferencia de concentración entre el exterior y el interior para calcular la renovación del edificio.

8. Documentación

Los documentos imprescindibles para un adecuada gestión del mantenimiento en un edificio son los que a continuación se describen de forma pormenorizada y que junto con el Plan de Mantenimiento, configuran el denominado Manual de Uso y Mantenimiento de la Instalación.

La cumplimentación y aplicación de los procedimientos descritos en la documentación resulta de importancia vital para el mantenimiento de cualquier instalación durante el transcurso de su vida operativa [23] y la responsabilidad de su puesta en práctica recae sobre la propiedad.

Libro del Edificio

Es el conjunto de documentos gráficos y escritos que constituye el archivo y registro de los datos, instrucciones e incidencias técnicas, jurídicas y administrativas de los edificios desde la fecha de redacción de su proyecto hasta el final de su vida útil. Está definido en la Ley 38/1999 de Ordenación de la Edificación, en su artículo 7.

En lo que respecta a las instalaciones, incluye la documentación de las instalaciones según han quedado construidas, los planes de mantenimiento de

cada una de ellas, los documentos relativos al seguimiento del Plan de Mantenimiento, partes de trabajo cumplimentados en intervenciones preventivas y correctivas, relación de repuestos utilizados, informes técnicos,... documentos que configurarán el Archivo Histórico de Mantenimiento.

La cumplimentación de lo que debe contener este libro con respecto al Mantenimiento será objeto del Manual de Mantenimiento del Edificio aunque incorpora además otros documentos relacionados con las condiciones jurídico-administrativas, registros de revisión, incidencias o modificaciones.

La documentación técnica de proyecto y la documentación definitiva "as built", debe formar parte del Libro del Edificio y debe ser tenida en cuenta para la implementación del Plan de Mantenimiento, como información imprescindible para conseguir la correcta explotación de cualquier instalación y necesaria para determinar los criterios idóneos de mantenimiento predictivo y preventivo que deban aplicarse en cada caso, junto con otra información posterior, que también debe estar recogida en el Libro del Edificio, tal como los archivos correspondientes a cualquier servicio de mantenimiento prestado con anterioridad, las modificaciones efectuadas sobre las instalaciones después de su puesta en marcha inicial, los informes de estado de la instalación, los archivos históricos de averías,...

Instrucciones de Uso y Maniobra

Las instrucciones de uso y maniobra las deben redactar los proyectistas o las empresas instaladoras, a partir de los propios criterios de diseño y utilización, que se deberán definir en los correspondientes proyectos de ejecución de las instalaciones sujetas a mantenimiento, incorporando además las recomendaciones de los fabricantes de los elementos a mantener.

Las instrucciones de uso y maniobra deben ser adecuadas a las características técnicas de la instalación concreta y estar diseñadas para efectuar la puesta en marcha de la instalación, total o parcialmente.

Deben estar situadas en un lugar visible en las salas de máquinas y locales técnicos. En una instalación de climatización, por ejemplo, debe reflejar, entre otros, los siguientes aspectos técnicos de la instalación:

1. Secuencia de encendido de las bombas de circulación.
2. Utilización de sistemas de enfriamiento gratuito verano-invierno.
3. Limitaciones derivadas de la simultaneidad de potencia.

Es obligado establecer un Programa de Funcionamiento específico de cada instalación, que también debe formar parte de las Instrucciones de Uso y Maniobra de la Instalación, y que los titulares deben entregar a las empresas mantenedoras autorizadas para que estas se encarguen de la difusión a sus técnicos y operadores para su puesta en práctica, así como de su actualización permanente.

El Programa de Funcionamiento debe ser adecuado a las características de la instalación concreta y debe conseguir las condiciones de confort óptimas en cada momento, en base a la ocupación del edificio, bajo la premisa del mínimo consumo energético. Debe comprender, entre otros, los siguientes aspectos:

1. Horario de funcionamiento de las instalaciones del edificio.
2. Orden de puesta en marcha y paro de los equipos.
3. Programa de modificación del régimen de funcionamiento.
4. Programa de paros intermedios del conjunto o parte de los equipos.
5. Programa para condiciones excepcionales de uso del edificio.

Plan de Mantenimiento

El Plan de Mantenimiento es el documento que define la aplicación sistemática de métodos y procedimientos que aseguran la correcta gestión de un edificio, bajo la premisa de eficiencia. Se trata de la descripción detallada de las tareas de mantenimiento asociadas a cada equipo, indicando las acciones, plazos y recambios a utilizar.

La estructura y los documentos de un Plan de Mantenimiento según se ha especificado en el capítulo 5, e incluye las intervenciones predictivas, preventivas y correctivas necesarias para alargar la vida útil de un edificio o de un elemento en concreto, con la finalidad de conservarlo o devolverlo a un estado en el cual pueda desarrollar la función requerida.

Programa de Gestión Energética

El Programa de Gestión Energética debe incluir la evaluación de rendimientos de los generadores de calor y de frío y un plan de actuaciones que ayude a mejorar la eficiencia energética del edificio. También debe incluir un análisis del impacto ambiental que comporta las operaciones de mantenimiento del edificio y como está previsto realizar la gestión de los residuos generados durante el funcionamiento o en las operaciones de mantenimiento del edificio

El programa de gestión energética debe incluir aquellas operaciones de mantenimiento conductivo necesarias para optimizar la eficiencia energética y medioambiental del edificio. Por ejemplo, en las instalaciones de energía solar térmica con superficie superior a 20 m², hay que realizar un seguimiento periódico del consumo de agua caliente sanitaria y de la contribución solar, midiendo y registrando valores.

Por otro lado realizar auditorías energéticas programadas [24] es una opción que permite establecer las directrices al servicio de mantenimiento para la convergencia con el resto de la organización en la optimización del ahorro energético, así como las tendencias que se prevén a futuro [25].

Instrucciones de Seguridad

Las Instrucciones de Seguridad van dirigidas a prevenir directamente riesgos que puedan provocar accidentes de trabajo, interpretando y adaptando a cada necesidad las disposiciones y medidas que contienen la reglamentación oficial. Son directrices, órdenes, instrucciones y consignas, que instruyen al personal sobre los

riesgos que pueden presentarse en el desarrollo de una actividad y la forma de prevenirlos mediante actuaciones seguras.

Estas instrucciones no deben sustituir a otras medidas preventivas prioritarias para eliminar riesgos en las instalaciones, debiendo tener un carácter complementario. Deberán ser facilitadas por los proyectistas, por las empresas instaladoras o por los propios mantenedores.

Las Instrucciones de Seguridad deben ser adecuadas a las características técnicas de la instalación, deben estar claramente visibles al lado de equipos y aparatos con absoluta prioridad sobre el resto de instrucciones, y deben hacer referencia, entre otros, a los siguientes aspectos:

1. Parada de equipos antes de una intervención.
2. Desconexión de la corriente eléctrica antes de la intervención.
3. Consignación de equipos.
4. Indicaciones de seguridad para diferentes presiones, temperaturas, intensidades,...
5. Posiciones de válvulas antes de la apertura de circuitos hidráulicos.

En el caso de instalaciones de potencia térmica nominal superior a 70 kW, es obligatorio su colocación antes del acceso y en el interior de las salas de máquinas y locales técnicos.

Protocolos de actuación en situaciones de emergencia

Las normas o protocolos de actuación en situaciones de emergencia, es el documento donde se exponen los protocolos de actuación que deben seguir los usuarios de un edificio si se produce una emergencia. El hecho de actuar correctamente con rapidez y eficacia en muchos casos puede evitar accidentes y peligros innecesarios.

Las situaciones de emergencia más probables en un edificio son las relacionadas con el incendio, la inundación, gran nevada, explosión, escapes de gas o de productos petrolíferos, terremotos,...

Plan de Control de Calidad

Para garantizar la calidad del servicio y con objeto de controlar que el Plan de Mantenimiento funcione correctamente, se debe desarrollar un Plan de Control de Calidad de todo el servicio, que contenga una diagnosis técnica periódica del inmueble y sus instalaciones, así como una auditoria periódica de los niveles de servicio [26].

La diagnosis técnica periódica, se realizará con una periodicidad determinada, generalmente entre 2 y 4 años. Hay que actualizar el Libro del Edificio, y analizar el estado de conservación de los inmuebles y reprogramar las actuaciones correctoras que sean necesarias.

La auditoría periódica de niveles de servicio debe efectuar de manera bianual, realizando inspecciones en el edificio con la finalidad de evaluar la calidad y el nivel de servicio de los proveedores previsto en los contratos de mantenimiento.

Plan de Seguridad y Salud

Es necesario realizar un Plan de Seguridad y Salud específico, que abarque el desarrollo de todas las operaciones de mantenimiento en el edificio, pues el técnico de mantenimiento destinado a la reparación y puesta en servicio de instalaciones en general, está expuesto a innumerables riesgo (mecánicos, físicos y ergonómicos), por su gran versatilidad y la variedad de trabajos a realizar y lugares donde los desarrolla.

El trabajo de mantenimiento supone la realización de multitud de tareas en lugares muy dispares y usando una gran gama de herramientas, tanto manuales como eléctricas, y con medios auxiliares (escaleras, andamios, plataformas

elevadoras,...), expuesto a riesgos importantes como los derivados de trabajos en altura, contactos con sustancias químicas peligrosas, manipulación manual de cargas,...

Certificado de mantenimiento

De acuerdo al REAL DECRETO 238/2013, de 5 de abril, es obligatorio disponer de un certificado de mantenimiento en los casos en que sea obligatorio suscribir contrato de mantenimiento de las instalaciones incluidas en el RITE. La empresa mantenedora y el director de mantenimiento, suscribirán el certificado de mantenimiento, que será enviado al órgano competente de la Comunidad Autónoma, quedando una copia del mismo en posesión del titular de la instalación para que lo incorpore al Libro del Edificio.

La validez del certificado de mantenimiento expedido será como máximo de un año y tendrá como mínimo el contenido siguiente:

- a) Identificación de la instalación, incluyendo el número de expediente inicial con el que se registró la instalación.
- b) Identificación de la empresa mantenedora, mantenedor habilitado responsable de la instalación y del director de mantenimiento, cuando la participación de este último sea preceptiva.
- c) Declaración expresa de que la instalación ha sido mantenida de acuerdo con el Manual de Uso y Mantenimiento y que cumple con los requisitos exigidos en la IT-3 del RITE.
- d) Resumen de los consumos anuales registrados: combustible, energía eléctrica, agua para llenado de las instalaciones, agua caliente sanitaria, totalización de los contadores individuales de agua caliente sanitaria y energía térmica.
- e) Resumen de las aportaciones anuales: térmicas de la central de producción y de las energías renovables y/o cogeneración si las hubiese.

Si se diera el caso de no poder obtenerse algunos de los datos anteriormente mencionados, el director de mantenimiento debe justificar los motivos en el certificado de mantenimiento.

9. Bibliografía

- [1] MINISTERIO DE FOMENTO. Código Técnico de la Edificación. <http://www.codigotecnico.org>. 2006.
- [2] MINISTERIO DE LA PRESIDENCIA. Reglamento de Instalaciones Térmica en los Edificios. 2007. Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio y Real Decreto 238/2013, de 5 de abril.
- [3] CORRETER, M. “*Gestión Energética de los edificios: Incidencia del Mantenimiento*”. V Salón del Mantenimiento, Montajes e Instalaciones. Barcelona, mayo 2008.
- [4] ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL PARA LA ESTANDARIZACIÓN. Norma ISO 15686-5. *Edificios y activos construidos. Ciclo de vida*. 2008.
- [5] AENOR. UNE EN 13306: 2002. *Terminología del mantenimiento*. 2002.
- [6] SEELEY, IVOR. “*Building Maintenance*”. Editorial MacMillan. 1987.
- [7] GARCÍA SANZ-CALCEDO J. *Análisis del potencial de ahorro energético en Centros de Salud*. *Revistaesalud* 7-27 (2011) 1-10.

- [8] GARCÍA SANZ-CALCEDO, J.; GARRIDO, S.; PÉREZ, C.; LÓPEZ, F.; *Gestión Energética en Servicios de Salud*. Ingeniería Hospitalaria 34 (2007) 31-38.
- [9] BOUCLY, F. *“Gestión del Mantenimiento”*. Ed. AENOR, 1998.
- [10] MONCHY, F. *“Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial”*. Ed. Masson. 1990.
- [11] ATECYR. *Relación entre el edificio y el sistema de climatización*. DTIE 9.02. 2001.
- [12] KELLY, A.; HARRIS, M. J. *Gestión del mantenimiento industrial*. Fundación Repson 1998.
- [13] INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. *Fiabilidad: la distribución de Weibull*. NTP 331.
- [14] LOUSTAUNAU, S.; BEGUERÍA, P. *“Mantenimiento de edificios: Centros Sanitarios”* Ministerio de Sanidad y Consumo. Madrid, 1992.
- [15] AENOR. UNE EN 15221. *Gestión de inmuebles y servicios de soporte*.
- [16] AIR CONDITIONING & REFRIGERATION INSTITUTE (ARI). *Air Conditioning & Refrigeration Equipment General Maintenance Guidelines for Improving Indoor Air Environment*.
- [17] AENOR. UNE EN 13269: 2007. *Guía para la preparación de contratos de mantenimiento*. 2007.

- [18] IDAE. *Guía técnica de mantenimiento de instalaciones térmicas*. Ed. IDAE. 2007.
- [19] ASHRAE - Guideline 4. *Preparation of Operating and Maintenance Documentation for Building Systems*. 1993.
- [20] AMICYF. Federación de Asociaciones de Mantenedores de Instalaciones de Calor y Frío. *Conocimientos y experiencias sobre Mantenimiento de Climatización, Calefacción y ACS*.
- [21] GARCÍA GARRIDO, S. *Técnicas de Mantenimiento predictivo en plantas de cogeneración*. <http://mantenimientoindustrial.com>
- [22] ATECYR. *Instrumentación y medición*. DTIE 17.04. 2012.
- [23] AENOR. UNE EN 13460: 2003. *Documentos para el mantenimiento*. 2003.
- [24] GARCÍA SANZ-CALCEDO, J.; CUADROS, F.; LÓPEZ-RODRÍGUEZ, F. *La auditoría energética: Una herramienta de gestión en Atención Primaria*. Gaceta Sanitaria 25-7 (2011) 549-551.
- [25] LÓPEZ MURILLO, R. *Auditorías energéticas: la importancia del mantenimiento en la mejora de la eficiencia global*. Mantenimiento: ingeniería industrial y de edificios, nº 243, 2011, págs. 7-11.
- [26] AENOR. UNE EN 15341: 2008. *Indicadores clave de rendimiento de mantenimiento*. 2008.



Títulos publicados de la serie

“Eficiencia Energética y Energías Renovables en la Frontera Hispano-Lusa. 2014”:

- 1. CULTIVOS ENERGÉTICOS EN EXTREMADURA.
- 2. EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EMPRESAS DEL SECTOR AGROALIMENTARIO.
- 3. SERVICIOS ENERGÉTICOS.
- 4. APROVECHAMIENTO DEL RESIDUO GANADERO.
- 5. DISEÑO DE CENTROS SANITARIOS EFICIENTES.
- 6. MANTENIMIENTO EFICIENTE DE EDIFICIOS.
- 7. LA MOVILIDAD EN BADAJOZ.
- 8. OFERTA Y DEMANDA DE TRANSPORTE EN EXTREMADURA.
- 9. FORMACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES EN EXTREMADURA.