

UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS



MECÁNICA

**FACULTAD DE INGENIERÍA
MECÁNICA.**

**MANTENIMIENTO A EQUIPOS,
MÁQUINAS E
INSTALACIONES.**

AUTOR: MsC. Gabriel Castillo Morales.

2006

ÍNDICE.

<u>Capítulo I: Algunas consideraciones sobre el mantenimiento.</u>	3
<u>Capítulo II: Tipos de mantenimiento.</u>	8
<u>2.1- Introducción</u>	8
<u>2.2- Evolución del mantenimiento.</u>	8
<u>2.3- Mantenimiento Correctivo.</u>	11
<u>2.3.1- Características del mantenimiento correctivo.</u>	11
<u>2.3.2- Sistemas organizativos para la ejecución del mantenimiento correctivo.</u>	13
<u>2.3.3- Selección de la variante más racional para ejecutar el mantenimiento correctivo.</u>	15
<u>2.4- Mantenimiento Preventivo.</u>	18
<u>2.4.1- Características del mantenimiento preventivo.</u>	18
<u>2.4.2- Regímenes de mantenimiento. Métodos de cálculo para establecer la periodicidad del mantenimiento</u>	21
<u>2.4.3- Principios para la formación del sistema de mantenimiento.</u>	30
<u>2.4.4- Gráfico de mantenimiento.</u>	31
<u>2.5- Mantenimiento Predictivo.</u>	32
<u>2.5.1- Características del mantenimiento predictivo.</u>	32
<u>2.5.2- Diagnóstico del estado técnico. Objetivos y clasificación.</u>	35
<u>2.5.3- Parámetros de diagnóstico.</u>	38
<u>2.5.4- Normativas del diagnóstico.</u>	41
<u>2.5.5- Establecimiento de los parámetros de diagnóstico.</u>	43
<u>2.5.6- Conclusión del diagnóstico.</u>	48
<u>2.5.7- Cálculo de la periodicidad del mantenimiento predictivo.</u>	52
<u>2.5.8- Métodos y medios de diagnóstico.</u>	57
<u>2.5.9- Evaluación de la efectividad del mantenimiento predictivo.</u>	59
<u>2.6- Selección del tipo de mantenimiento.</u>	62
<u>2.7- Costos del mantenimiento.</u>	72
<u>2.8- Índices para evaluar la gestión del mantenimiento.</u>	75
<u>Capítulo III: Tendencias modernas del mantenimiento.</u>	81
<u>3.1- Introducción.</u>	81
<u>3.2- Estrategia del mantenimiento.</u>	81
<u>3.3- Calidad total.</u>	99
<u>3.4- Tendencias modernas del mantenimiento.</u>	105
<u>3.4.1- Mantenimiento según estado.</u>	105
<u>3.4.2- Mantenimiento centrado en la fiabilidad.</u>	125
<u>3.4.3- Justo a tiempo.</u>	127
<u>3.4.4- Mantenimiento productivo total.</u>	133
<u>Bibliografía.</u>	141
<u>Anexos.</u>	143

CAPÍTULO I: ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE EL MANTENIMIENTO.

El mantenimiento normalmente se ha visto como la actividad, dentro de la Explotación Técnica, que se encarga de realizar las acciones encaminadas a mantener o restablecer el estado técnico de un artículo, o asegurar el funcionamiento adecuado de un servicio concreto. Esto, unido a que muchas Empresas ven al mantenimiento como un departamento que marcha detrás de los acontecimientos, casi siempre subsanando averías, hacen que esta actividad siga manteniendo un carácter pasivo, y en muchos casos, no se le dé la importancia que él tiene, no cumpliendo entonces con sus funciones como departamento rector de la actividad de la Empresa.

En aquellas Empresas donde la presencia y abnegación tengan más importancia que los resultados, y donde se permita y fomente que el Departamento de Producción conozca y controle a las personas pero no a las máquinas ni los productos, que el Departamento de Calidad conozca los productos pero no las máquinas ni a las personas y que el Departamento de Mantenimiento conozca las máquinas pero no los productos ni quienes lo fabrican, no es justo hacer recaer la responsabilidad de la producción solo al Departamento de Mantenimiento. En estos casos no se aprovechan todas las potencialidades y oportunidades que dicho departamento puede ofrecer para el bien de la Empresa.

Muchos factores desde el punto de vista técnico, organizativo y de estructuras departamentales hacen que la gestión de mantenimiento no sea la más adecuada, siendo los más importantes los siguientes:

1. La escasa relación que existe entre Producción y Mantenimiento, lo que dificulta que se reduzcan los costos y se mejore la calidad. En muchos casos Producción no está sensibilizada en lo que cuesta y le ayuda el mantenimiento, y no existe buena coordinación entre ambos departamentos. Mantenimiento no conoce todas las necesidades de Producción, y este último no conoce lo que Mantenimiento tiene previsto hacer, ni cuando. Algunas Empresas han tratado de mejorar su sistema de gestión transfiriendo funciones de un departamento a otro.
2. La carencia de información histórico-técnica de las instalaciones, máquinas y equipos no permite realizar un análisis sistemático de los problemas. En muchas Empresas la información que se recoge se ha convertido más en un problema que en una ayuda, por lo laborioso y complicado que resulta. Algunas Empresas recogen la información pero no realizan análisis alguno con los resultados que obtienen.
3. No está establecido el sistema de indicadores que evalúan la actividad de mantenimiento, ni se realiza un análisis sistemático de los mismos.
4. El mantenimiento preventivo, sí está estructurado técnicamente, suele ser insuficiente o difícil de llevar a cabo por falta de tiempo o de personal.
5. La valoración del mantenimiento es subjetiva, por falta de información.
6. En Empresas grandes, cuando el servicio de almacenes no depende de Mantenimiento, aparecen numerosas deficiencias que afectan el trabajo (no se conocen bien los repuestos ni cuantos hay, no se gestionan mínimos y la información se presenta atrasada).
7. No existe flexibilidad para aprovechar los tiempos muertos y holguras.
8. En algunos casos los costos en materiales son bajos debido a la fabricación interna de repuestos de baja calidad.

9. Se desconoce el gasto por tipo de mantenimiento (correctivo, preventivo o predictivo), lo que dificulta el establecimiento de políticas adecuadas.
10. La mayor parte de las intervenciones se hacen por mantenimiento correctivo (en muchos casos por encima del 70 % del volumen total de trabajo), lo que provoca un impacto negativo en la disponibilidad, fiabilidad y seguridad en el funcionamiento de las máquinas y equipos.
11. En algunos renglones existen grandes cantidades de piezas de repuesto (sobrestock), mientras que en otros no existen piezas.
12. Existe un nivel inadecuado de calificación y actualización del personal de mantenimiento.
13. Muchas Empresas desconocen las técnicas y herramientas más avanzadas para mejorar la gestión del mantenimiento.

Estos aspectos ilustran, por una parte cuán ineficiente puede ser una gestión de mantenimiento no acorde con las exigencias modernas, y por otra parte, la brecha que existe aún entre la teoría y la realidad existente en muchas Empresas hoy día. El éxito de la gestión de mantenimiento no puede centrarse solo en el hecho de conocer la teoría o aplicar soluciones parciales. Lo importante es implantar soluciones efectivas que integren a todos los factores que afectan la problemática de Mantenimiento.

Analicemos el caso específico del Transporte Automotor. Este medio de transporte se ha caracterizado en los últimos años por un desarrollo intensivo y por la incorporación de los adelantos de la ciencia y la técnica, lo que hace que se incremente la necesidad de garantizar una mayor seguridad y fiabilidad durante su proceso de utilización. Este desarrollo trae aparejado una serie de problemas, a saber:

1. Cada día son mayores los gastos en recursos materiales y humanos, debido a la necesidad de garantizar una elevada seguridad de funcionamiento, protección al hombre y al medio ambiente.
2. Cada vez es mayor la influencia negativa de los automóviles sobre el medio ambiente.
3. Aumentan ininterrumpidamente las exigencias hacia la seguridad y fiabilidad de este medio de transporte, debido al incremento de las velocidades, intensidad del tránsito, capacidad de carga y a la vinculación de este con todas las ramas de la economía.
4. Los automóviles, por regla general, carecen de reserva estructural, por lo que la salida de funcionamiento de uno de sus agregados o sistemas rápidamente conlleva a la interrupción del trabajo de los mismos.
5. Cada día las construcciones son más complejas. Agregados, mecanismos y equipamiento complementario garantizan un mejor confort, economía de combustible y otras propiedades técnicas y de explotación del automóvil, pero al mismo tiempo hacen más complejo el mantenimiento de él.
6. En la medida que el parque envejece se incurren en gastos adicionales para su mantención.
7. El desarrollo tecnológico y estructural de las Empresas de Transporte Automotor es muy lento, especialmente en las pequeñas, por lo difícil que les resulta implementar métodos avanzados de mantenimiento y reparación.

Todo esto provoca que necesariamente las Empresas tengan que evolucionar a la par del desarrollo y dejar de aplicar métodos de gestión ineficientes. Entonces,

encontrar e implantar eficientemente la mejor solución, teniendo en cuenta el desarrollo actual y futuro de los medios de transporte (y en general de cualquier equipo, máquina o instalación) y de la gestión de mantenimiento, harán más eficaz el trabajo de cualquier Empresa.

Actualmente se define el mantenimiento como el conjunto de recursos físicos (capital, equipos, recursos humanos, tecnología e información) que, unidos, buscan mejorar la eficiencia de un sistema de producción, disminuyendo los paros, aumentando la fiabilidad del equipo, garantizando una elevada seguridad y reduciendo al máximo los costos. Si a este concepto le añadimos las principales problemáticas y perspectivas de esta actividad, a saber:

1. Los costos directos se están incrementando paulatinamente, por lo que es necesario comenzar a tomar medidas para reducirlos.
2. El Departamento de Mantenimiento tiene cada día más responsabilidad para incrementar la disponibilidad y vida útil de los equipos, producir con calidad, mejorar las condiciones de seguridad y proteger al medio ambiente.
3. Se enfatiza en la reducción de las plantillas productivas.
4. Se introducen constantemente los adelantos científico-técnicos en los equipos que se fabrican, haciéndolos más fiables pero más complejos. Esto hace que inevitablemente se tengan que introducir en el mantenimiento nuevas técnicas y medios para la detección oportuna de los fallos y el diagnóstico de los equipos, lo que repercute positivamente en la eficacia del mantenimiento.

Es indiscutible que el esfuerzo que hay que realizar para hacer una gestión de mantenimiento eficiente es significativo, pero también lo serán los beneficios a obtener. El alcance de las ventajas estará en dependencia de las características de cada Empresa y de la voluntad de los directivos para llevar adelante la tarea.

De forma general los beneficios que se pueden obtener por la mejora de la gestión de mantenimiento pueden resumirse en los siguientes aspectos:

1. Aumento de la disponibilidad de los equipos. Se reduce la frecuencia de parada entre un 20 y un 55 % y la duración de la misma entre un 25 y un 60 %.
2. Reducción de los costos de operación.
3. Aumento de la vida útil de los equipos entre un 15 y un 60 %.
4. Utilización más racional y eficiente de los recursos humanos y materiales.
5. Mejoramiento de la calidad del trabajo.
6. El personal labora en condiciones más seguras.
7. Se protege al máximo al medio ambiente.
8. Reducción del nivel de inventarios de repuestos entre un 20 y un 40 %.

Por todo esto, las Empresas de hoy precisan de un mantenimiento altamente competitivo, "avanzado" en el dominio técnico de los equipos y de su compenetración en la organización general y "beligerante", no solo en el compromiso de reparar, sino en la previsión del fallo y en la mejora de los equipos.

Es difícil dar una receta general de mejora de la gestión de mantenimiento para cada una de las Empresas. No obstante, lo primero sería establecer una estrategia adecuada de mantenimiento a partir del conocimiento y comprensión total del

proceso productivo, dividiéndolo en sistemas, subsistemas, equipos y componentes, con el propósito de aplicar medidas administrativas y procesos de intervención relacionados con los siguientes aspectos:

1. La Gestión de Mantenimiento: Refiriéndose al sistema óptimo de mantenimiento a aplicar para cada caso en cuestión.
2. Los Criterios de Mantenimiento: Considerando cuál es la mejor variante a aplicar dentro del tipo de mantenimiento seleccionado.
3. El Nivel de Mantenimiento: Refiriéndose a quién y donde se ejecutará el mantenimiento.

La solución idónea para hacer eficiente la gestión de mantenimiento no puede ser consecuencia de un análisis precipitado, de incorporar elementos al proceso, donde muchas veces no se valora si es efectivo o no. La solución para el área de mantenimiento, el cual interviene en todos los aspectos de la Empresa, tiene que venir de realizar un análisis general del problema, partiendo de que el objetivo es implantar, desde una perspectiva integradora, soluciones que aborden los problemas científicos de cada factor (organización, recursos humanos, tecnología y sistema de información) y de todos los departamentos involucrados (Ingeniería, Calidad, Producción, Abastecimiento, Recursos Humanos y Mantenimiento). Este es el enfoque que permitirá una gestión de mantenimiento eficiente. En la siguiente figura se muestra el enfoque global de la problemática de mantenimiento.

OBJETIVOS			
<ul style="list-style-type: none"> • Reducir costos. • Aumentar calidad de los servicios. <ul style="list-style-type: none"> • Aumentar disponibilidad y vida útil de los equipos. • Utilizar racionalmente los recursos humanos y materiales. • Aumentar la seguridad del personal y al medio ambiente. 			
FUNCIONES			
CALIDAD		RECURSOS HUMANOS	
Ingeniería	Compra	Abastecimiento	Mantenimiento
IMPLANTACIÓN			
Práctica operativa.	Sistema de información.	Gestión de cambio.	Desarrollo e integración tecnológica.

Fig.1: Gestión integrada de mantenimiento.

La siguiente tabla muestra el esquema general de actuación.

TABLA 1: Esquema General de Actuación.

ÁREA	ACCIÓN
Planificación.	Elaborar un plan de actuación (proyecto) para las funciones de mantenimiento, teniendo presente a todos los factores.
Gestión de recursos.	Organizar las actividades de mantenimiento, partiendo de la planificación y control de las necesidades de mano de obra propia, servicios externos, implantación del sistema de mantenimiento más eficaz, etc.
Materiales.	Mejorar la logística de aprovisionamiento, partiendo de optimizar la gestión de compras, de control de inventarios y almacenes.
Ejecución del mantenimiento.	Mejorar las operaciones, partiendo de mejorar el método de mantenimiento, la organización de los talleres y los puestos de trabajo y la optimización del flujo tecnológico.
Recursos humanos.	Definir los puestos de trabajo y sus funciones. Analizar los posibles cambios organizativos y culturales. Garantizar la formación y superación del personal.
Informática.	Diseño y/o implantación de un sistema de información avanzado para evaluar la gestión de mantenimiento.
Tecnología.	Desarrollar sistemas de gestión documental, sistemas expertos de análisis y diagnóstico e incorporar técnicas y equipos modernos para la detección de fallas y el diagnóstico a los equipos.

A modo de conclusiones podemos plantear que:

1. El mantenimiento en las Empresas evoluciona, tanto técnica como organizativamente, más lento de lo que se necesita.
2. El Departamento de Mantenimiento tiene que relacionarse con el resto de los departamentos y viceversa.
3. Una adecuada gestión de mantenimiento en el marco de un desarrollo tecnológico creciente y de una política de personal orientada hacia la calidad, ayudan a mejorar la productividad y hacer más eficiente la gestión general de la Empresa.
4. Implementar un sistema eficiente de información y documentación permite desarrollar el mantenimiento.
5. Un buen Departamento de Mantenimiento debe lograr realizar sus funciones con los gastos mínimos, sin afectar la disponibilidad, fiabilidad y seguridad de los equipos.
6. Es importante mantener informado a todo el personal sobre la marcha, planes y estrategias de la Empresa. Esto permitirá tomar decisiones acertadas.
7. La subestimación del Departamento de Mantenimiento es una de las causas fundamentales por la que muchas Empresas no son rentables.
8. La gestión de mantenimiento debe obligatoriamente adaptar las políticas y estrategias de mantenimiento a fin de obtener los máximos resultados.
9. La Empresa que no tiene ningún proyecto o no se arriesga a realizarlo no tendrá futuro.
10. El creciente aumento de la competencia, en un mercado donde los productos son cada día mejores y más económicos, exige que las Empresas revisen sus métodos de dirección y mantenimiento, a fin de optimizarlos.

CAPÍTULO II: TIPOS DE MANTENIMIENTO.

2.1- Introducción.

El mantenimiento ha experimentado una evolución con el de cursar del tiempo. En la primera etapa el mantenimiento sólo se dedicaba a realizar trabajos de reparación. Luego se fueron introduciendo nuevos conceptos: mantener, prevenir, predecir, y hoy día se habla de mejora continua.

En correspondencia con esto es que se han definido los diferentes tipos de mantenimiento que se le aplican a equipos, máquinas e instalaciones. Estos sistemas son:

- Mantenimiento Correctivo.
- Mantenimiento Preventivo.
- Mantenimiento Predictivo.
- Mantenimiento Productivo Total (TPM).

En el Mantenimiento Correctivo se trabaja fundamentalmente cuando se ha producido la rotura del equipo y por lo general no se realiza análisis alguno sobre dicha rotura. Este sistema presupone disponer de una gran cantidad de personal y de piezas de repuesto debido a la inseguridad en el funcionamiento de los equipos. Es un sistema donde la organización del mantenimiento trabaja detrás de la avería.

El Mantenimiento Preventivo trata de eliminar las deficiencias básicas del sistema correctivo. En este caso se intenta reducir el número de averías, personal de mantenimiento, piezas de repuesto, tiempo, etc. cambiando determinados elementos de forma periódica antes de que ocurra la avería, y aunque supera muchos inconvenientes del sistema anterior este sigue presentando elevados costos.

El Mantenimiento Predictivo basa su esencia en averiguar el verdadero estado técnico de los diferentes elementos que componen al equipo, máquina o instalación sin necesidad de realizar grandes desarmes, previéndose cuando va a ocurrir la rotura y por lo tanto logrando el máximo aprovechamiento de la vida útil de los mismos. Este sistema permite reducir considerablemente los costos del mantenimiento.

Por su parte, el Mantenimiento Productivo Total (TPM) es un nuevo concepto del mantenimiento, una nueva filosofía basada en lograr la calidad total. Con esto se logra disminuir los costos de esta actividad, reducir los stocks de piezas, sensibilizar al personal y aumentar la productividad de los equipos.

2.2-Evolución del mantenimiento.

El desarrollo del mantenimiento ha estado condicionado por el desarrollo social, tecnológico, económico y de protección al medio ambiente. Importantes cambios han venido ocurriendo en cuanto al papel del mantenimiento en las Empresas y en la forma de enfocar y poner en práctica las actividades correspondientes para resolver los problemas que se presentan, los cuales son cada día más complejos y diversos. Esto ha condicionado que se hayan desarrollado nuevas políticas en esta esfera, y por tanto se amplía la gama de posibilidades de actuación de las Empresas.

En la siguiente figura se muestra como han evolucionado, tanto el concepto como los requerimientos del mantenimiento.

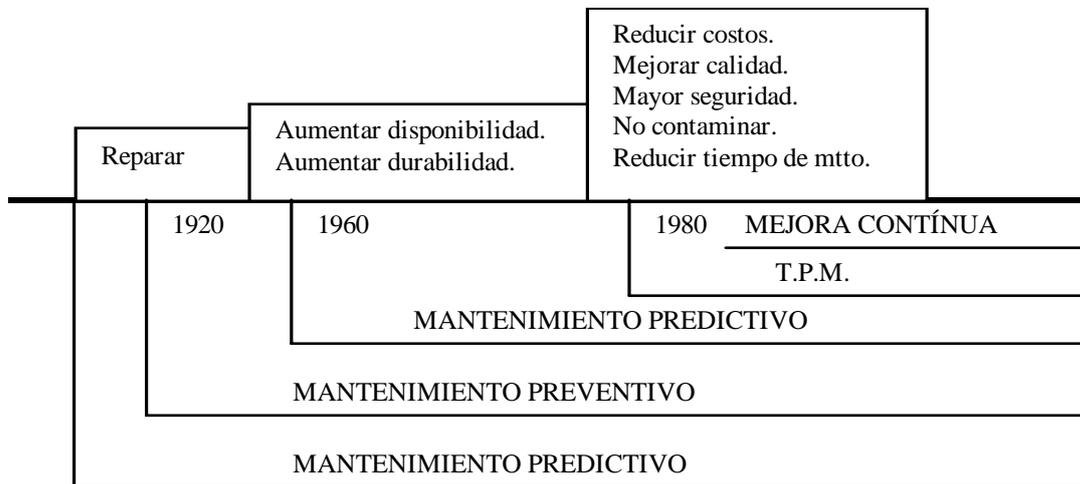


Fig. 2: Evolución del mantenimiento.

Si analizamos la evolución de los requerimientos del mantenimiento en la industria en general vemos que desde sus inicios hasta aproximadamente 1950 prácticamente solo se esperaba del mantenimiento la función de reparación. En este período el mantenimiento surge como una necesidad para restablecer el estado técnico de los equipos, máquinas e instalaciones, después de haberse producido una avería, motivado tal vez por la simplicidad de los mismos y por la poca cultura que hasta ese entonces existía al respecto. Las averías y la baja disponibilidad de los equipos eran poco importantes, ya que la producción no dependía tanto de ellos como hoy en día. En la mayoría de los casos los desperfectos eran solucionados por los propios operarios, ya que la mayoría de los equipos eran de sencilla construcción. El hecho de actuar después de haberse producido la avería daba lugar, a menudo, a accidentes y daños secundarios, y en el mejor de los casos, a inoportunas pérdidas de producción o de servicios. Este tipo se conoce hoy día con el nombre de Mantenimiento Correctivo.

A partir de los años 20 comienza a manejarse un nuevo concepto del mantenimiento; se trata de evitar las averías y sus consecuencias, anticipándose a éstas mediante la sustitución oportuna de los elementos afectados. Surge así el llamado Mantenimiento Preventivo, el cual se consolidó durante la Segunda Guerra Mundial, ya que por una parte se hizo necesario aumentar a toda costa la producción para satisfacer las demandas, y por otra, las movilizaciones masivas redujeron considerablemente los recursos humanos disponibles para trabajar en la industria. Como consecuencia de esto se aceleró el proceso de mecanización y automatización de la industria, lo que le permitió seguir aumentando la producción, hacerla

menos dependiente de la mano de obra y más dependiente de los equipos, por lo que se vió la necesidad de elevar la disponibilidad de los mismos, reduciendo en primer lugar el tiempo perdido por averías.

Desde el año 1950 hasta 1975 se enmarca el segundo período significativo para el mantenimiento. Tiene lugar en esta época un gran desarrollo industrial, haciendo que las máquinas e instalaciones aumenten su complejidad. Los requerimientos al mantenimiento se amplían a aumentar la disponibilidad y la durabilidad de las máquinas. Durante este período el mantenimiento sigue evolucionando. El desarrollo científico-técnico (microelectrónica, sistemas de control, sensores, etc.) hacen que se pase a una nueva fase del mantenimiento, trabajando ahora no en base a datos estadísticos genéricos sino en base a datos concretos sobre el estado técnico de las máquinas. Se vincula el diagnóstico técnico al mantenimiento, surgiendo en los años 60 el Mantenimiento Predictivo, fundamentalmente en las grandes industrias de procesos (Cemento, Química, Centrales Eléctricas, Papel, etc.) en las que se justificaba en empleo de equipos sofisticados.

El año 1975 marca el inicio de la tercera etapa en la evolución de los requerimientos al mantenimiento. La crisis energética mundial (crisis del petróleo) y la recesión industrial hacen que cualquier despilfarro de energía sea inadmisibles. Esto, unido a que las máquinas trabajan en condiciones extremas y que la competencia es cada vez mayor, hacen que se comience a buscar soluciones para reducir los costos y mejorar la calidad del mantenimiento, reducir su tiempo, lograr una mayor seguridad en la operación de los equipos y que estos sean cada vez menos contaminantes.

El mantenimiento sigue perfeccionándose y a partir de los años 80, con la introducción de la informática, surge una nueva filosofía del mantenimiento, llamado Mantenimiento Productivo Total (TPM), concepto que se relaciona tanto con los aspectos organizativos del mantenimiento como con los técnicos, y apunta hacia la integración del mantenimiento con las demás funciones de la Empresa, es decir, ver al mantenimiento como un factor productivo más, basado fundamentalmente en confiarle a cada obrero cierta responsabilidad en la inspección y en el mantenimiento de su propia máquina. Hoy día se habla mucho de diferentes técnicas de mejoramiento; nombres como JIT (Just in Time), Lean Production, Calidad Total, Teoría de los 6 ceros (cero papeles, cero stocks, cero retrasos, cero averías, cero sorpresas, cero defectos), Mejora Continua, etc., permiten continuar perfeccionando al mantenimiento, teniendo como objetivo básico disminuir los costos e incrementar la productividad del equipo, máquina o instalación.

En la siguiente figura se resume la evolución y la estrategia del mantenimiento, conjuntamente con las características más significativas de cada sistema.

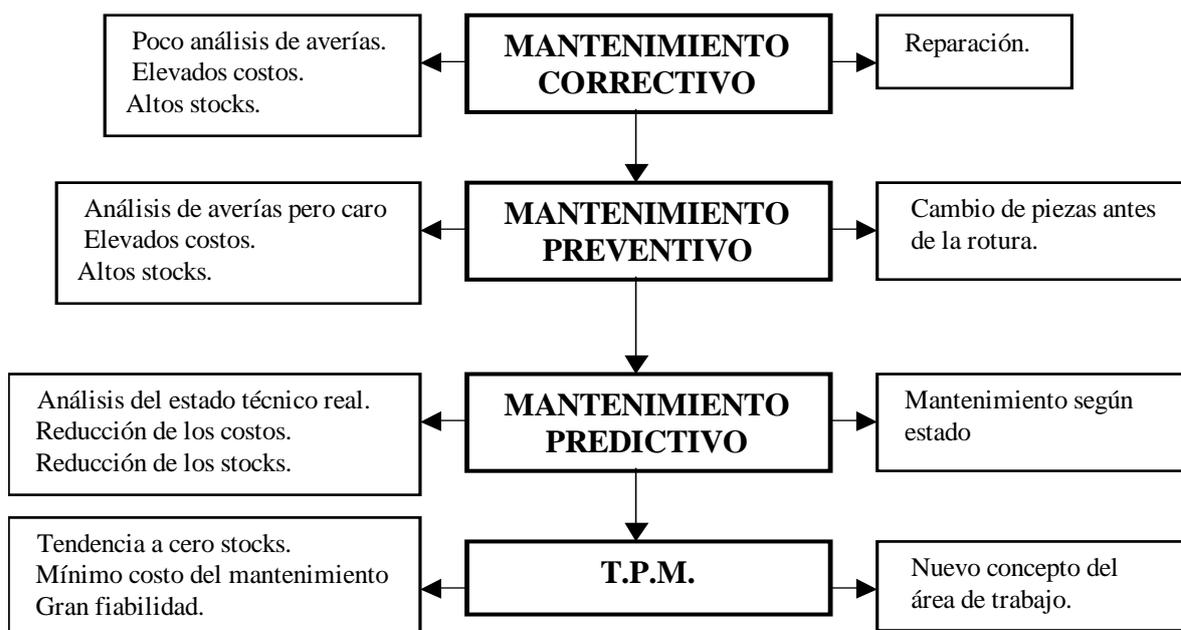


Fig. 3: Evolución y estrategia del mantenimiento. Análisis general.

2.3- Mantenimiento Correctivo.

2.3.1- Características del mantenimiento correctivo.

Los fallos imprevistos en equipos, máquinas, sistemas e instalaciones tienen cada vez mayor influencia en la producción, y además de la alteración que ellos traen en los procesos productivos causan otros importantes problemas en la vida útil, seguridad y fiabilidad, en los consumos adicionales de materiales, piezas de repuesto y energía, y también influyen en el personal de la Empresa.

Ninguna de las técnicas avanzadas de mantenimiento preventivo, basado en revisiones o sustituciones estadísticas de los elementos, logran eliminar los fallos. Así mismo, ninguna de las técnicas predictivas (análisis de vibraciones, espectrometría, etc.), que definen con gran precisión el momento de producirse el fallo, logran eliminar completamente este problema, aunque en este caso se logran reducciones espectaculares en algunos costos del mantenimiento.

Por tanto, siempre existirá la posibilidad real de que se produzca el fallo en un momento cualquiera durante la utilización del equipo, máquina o instalación, y será necesario entonces realizar determinados trabajos para restituir la capacidad de trabajo perdida.

El **MANTENIMIENTO CORRECTIVO** está conformado por un conjunto de acciones encaminadas a corregir las deficiencias presentadas en el equipo, una vez que él mismo ha dejado de producir debido a averías presentadas, es decir, reparar cuando se ha producido el fallo, restituyéndole a dicho equipo su capacidad de trabajo.

Quiere esto decir además que el equipo, máquina o instalación es utilizado hasta que cumpla con su recurso técnico, siendo este un mantenimiento no planificado.

VENTAJAS DEL MANTENIMIENTO CORRECTIVO.

1. Máximo aprovechamiento de los elementos, pues estos trabajan hasta la rotura.
2. No se requiere de una alta calificación del personal (obreros, técnicos e ingenieros), pues, por lo general las labores que se realizan no son tan complejas (fundamentalmente son operaciones de recambio).
3. Poca infraestructura administrativa.
4. No requiere de diagnóstico técnico.

DESVENTAJAS DEL MANTENIMIENTO CORRECTIVO.

1. El fallo es denunciado cuando el equipo deja de funcionar. Esto motiva que el equipo pueda sufrir un deterioro importante, en gran parte evitable con una intervención oportuna del personal de mantenimiento.
2. Al no estar previsto el fallo por el personal de mantenimiento puede suceder lo siguiente: Que exista poco personal de mantenimiento, por lo que el equipo tendrá que esperar hasta que llegue el momento de su reparación, afectando esto a los indicadores de operación (disminuye la producción, aumenta la estadía, etc.), o que exista un personal excesivo de mantenimiento, por lo que cuando ocurre la avería pueden acudir rápidamente una o más personas a efectuar la reparación, denotando esto una plantilla excesiva en la mayoría de los casos.
3. Existe un mayor gasto en piezas de repuesto.
4. Aumentan las pérdidas por estadía.
5. Baja seguridad en la operación de los equipos.
6. El ambiente de trabajo es deficiente (mucho ruido, altas temperaturas, vibraciones, etc.).
7. Se elevan considerablemente los costos del mantenimiento.
8. Aumentan las posibilidades de que aparezcan averías en cadena.
9. Cuando el elemento dañado es de difícil adquisición los costos y la estadía se incrementan enormemente.

Por tal motivo, para todos aquellos artículos catalogados como críticos, donde se necesita una elevada fiabilidad y seguridad en su funcionamiento, no es recomendable que el mayor volumen de trabajo, en la actividad de mantenimiento, lo tenga este sistema.

Por lo general este tipo de mantenimiento puede clasificarse, atendiendo al volumen de trabajo que en él se realiza, en:

- Reparación Pequeña.
- Reparación Media.
- Reparación General.

A la **REPARACIÓN PEQUEÑA**, también llamada Eventual, corresponden los trabajos que se ejecutan sin necesidad de realizar grandes desarmes ni desmontar la máquina o equipo de su puesto de trabajo, ejecutándose en un tiempo relativamente pequeño. En él se realizan básicamente trabajos de ajuste, limpieza, regulación, cambio de piezas de fácil acceso, etc., ejecutándose todas ellas en un tiempo relativamente pequeño.

La **REPARACIÓN MEDIA**, también llamada Parcial, exige un desarme parcial del equipo, reparando y/o cambiando determinadas piezas, para de esta forma restablecer la capacidad de trabajo. En este tipo de reparación la laboriosidad del trabajo es mayor si la comparamos con la reparación pequeña y el equipo no se retira del todo del lugar de emplazamiento.

En la **REPARACIÓN GENERAL**, también llamada Capital, se desarma completamente el equipo, reparando y/o cambiando la mayoría de las piezas que lo componen, necesario esto para restituirle su capacidad de trabajo a un nivel cercano al valor nominal, siendo imprescindible en este tipo de reparación ejecutar un presupuesto racional.

De forma general estos tres tipos de reparación pueden tener un carácter planificado o no, estando esto condicionado por la gravedad de la avería y por la necesidad de utilización del equipo. Es una práctica común planificar las reparaciones medias y generales y dejar libre las eventuales. En la medida que se aplique el mantenimiento preventivo o predictivo y se realice el control de averías basado en la fiabilidad la eventualidad de los fallos se reducirá, por lo que la seguridad de funcionamiento y la fiabilidad serán mayor, disminuyendo así los costos de explotación.

A pesar de sus inconvenientes, este sistema de mantenimiento es utilizado en las Empresas de Explotación y para su correcta organización se recomienda ejecutar la secuencia que se muestra en la figura 4.

2.3.2- Sistemas organizativos para la ejecución del mantenimiento correctivo.

Como las acciones de reparación juegan un papel muy importante dentro del mantenimiento, se hace necesario, en primer lugar, conocer su clasificación atendiendo a tres aspectos básicos:

1. Según el carácter de la reparación:

- Planificada, donde se solucionan las averías dentro del mantenimiento preventivo.
- No planificada o eventuales, donde las averías se solucionan dentro del sistema correctivo.

2. Según la complejidad del trabajo:

- Reparación Pequeña.
- Reparación Media.
- Reparación General.

3. Según se conserve o no la identidad del artículo a reparar:

- Reparación Individual: en la cual el equipo no pierde su identidad, es decir, un gran porcentaje de las piezas básicas que poseía el equipo vuelven a ser utilizadas, una vez que hayan sido reparadas.
- Reparación Industrial: en la cual el equipo pierde su identidad, puesto que se arma con piezas de cualquier procedencia.

De acuerdo con esta clasificación las Empresas podrán desarrollar diferentes variantes organizativas para ejecutar la reparación, teniendo cada una de estas variantes una efectividad económica determinada en dependencia de las condiciones existentes en cada caso.

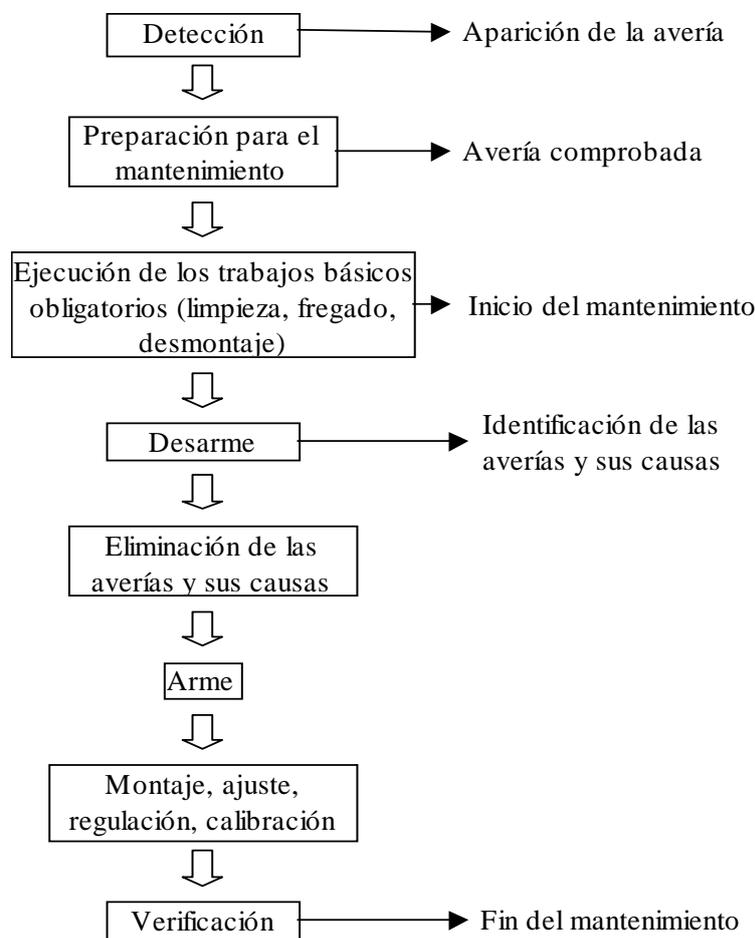


Fig 4: Etapas generales del mantenimiento correctivo.

De todo esto se deduce que toda Empresa debe tener bien claro cuál será el sistema organizativo más conveniente desde el punto de vista técnico-económico, es decir, cómo hacer la reparación, donde hacerla y qué método se va a emplear, pues sus ganancias serán mayores en la medida que disminuyan los costos de producción, y dentro de ellos, los costos de la reparación. Por otra parte, estos sistemas organizativos deberán organizarse para cada grupo de máquinas iguales.

En la siguiente figura se muestran los sistemas organizativos para ejecutar la reparación que más se emplean en las Empresas de Explotación.

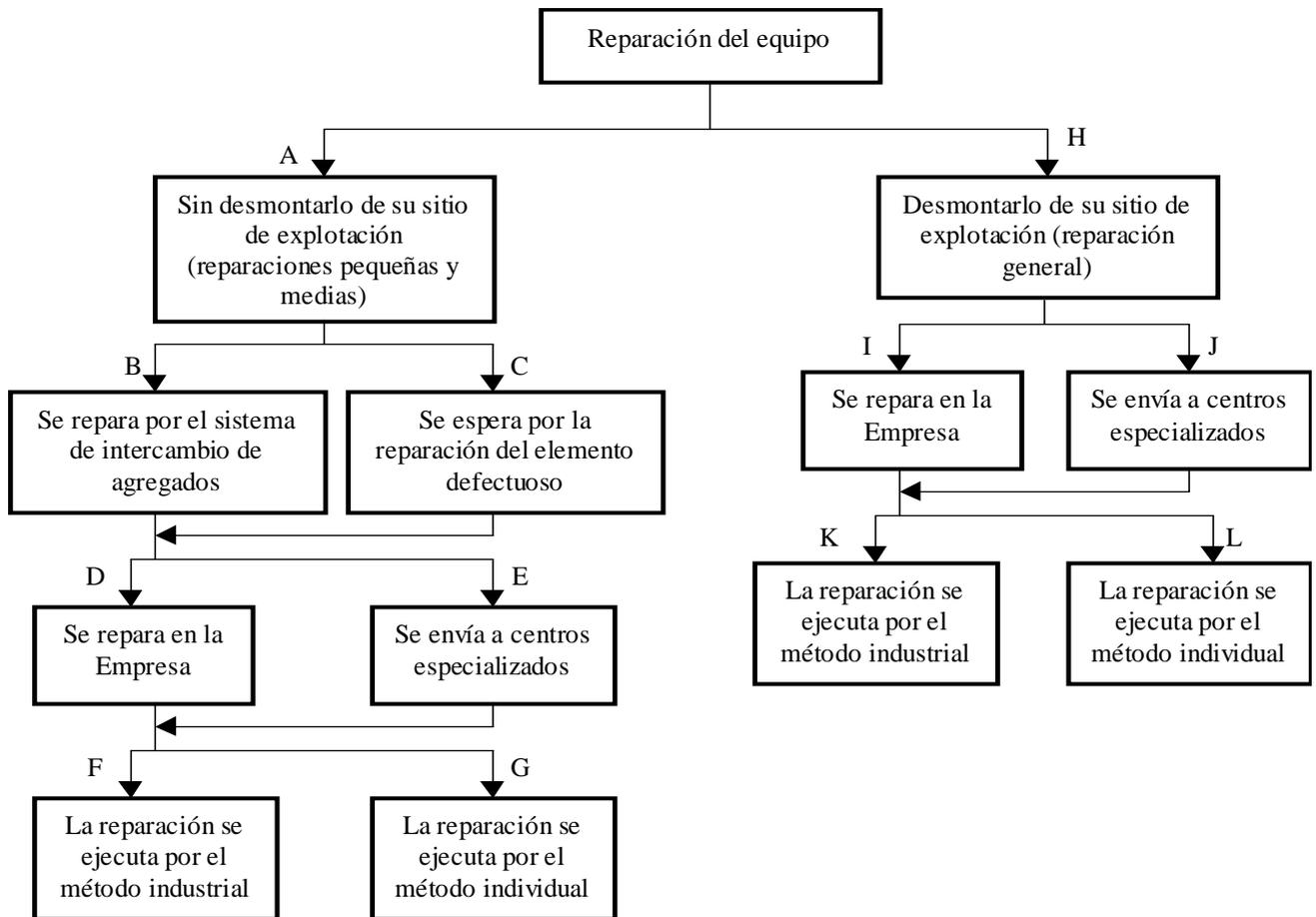


Fig. 5: Sistemas organizativos más empleados para la ejecución del mantenimiento correctivo

2.3.3- Selección de la variante más racional para ejecutar el mantenimiento correctivo.

La aplicación de cualquier método de reparación debe estar justificado tanto técnica como económicamente con el objetivo de garantizar los mínimos costos en esta actividad sin afectar la calidad del trabajo que se realiza, repercutiendo esto en el mantenimiento del nivel adecuado de fiabilidad del artículo, vida útil y seguridad de funcionamiento.

El método que a continuación se expone se basa en evaluar, en primer lugar, cada una de las posibles variantes para ejecutar la reparación desde el punto de vista económico, seleccionando aquella variante en la que el costo total de la reparación sea menor. De tal forma, el costo total de la reparación puede calcularse por medio de la siguiente expresión:

$$\Sigma K_{ij} = Kr_{ij} + Kt_{ij} + Kc_{ij} + Ke_{ij} + Ka_{ij} + Ki_{ij} \quad (\text{pesos / artículo}) \quad (1)$$

donde:

ΣK_{ij} : Costo total de la reparación del artículo (j) en la variante organizativa (i), pesos/artículo.

Kr_{ij} : Costo propio de la reparación del artículo (j) en la variante organizativa (i), pesos/artículo. Incluye los salarios totales, materiales utilizados, energéticos y costos indirectos. Cuando se recibe el servicio de reparación de otra Empresa equivale al precio que hay que pagar por él.

Kt_{ij} : Costo propio de la transportación para la reparación del artículo (j) en la variante organizativa (i), pesos/artículo. Cuando el artículo se repara en la unidad donde se explota este costo puede despreciarse. También se desprecia cuando la Empresa que da el servicio incluye dentro del costo de la reparación el de la transportación.

Kc_{ij} : Costo debido al fondo circulante para la reparación del artículo (j) en la variante organizativa (i), pesos/artículo. Cuando el artículo se repara por el método individual este costo puede despreciarse, excepto si existen artículos de reserva que actúan como circulante. También se desprecia si el circulante lo ofrece la Empresa que brinda el servicio de reparación, siempre y cuando lo incluya dentro del costo de la reparación.

Ke_{ij} : Pérdidas por estadía debido a la reparación del artículo (j) en la variante organizativa (i), pesos/artículo. Cuando se aplica el método de reparación por intercambio de agregados este costo puede despreciarse, exceptuando a los artículos cuyos trabajos de desmontaje y montaje resulten complejos.

Ka_{ij} : Costo de almacenamiento por la reparación del artículo (j) en la variante organizativa (i), pesos/artículo. En el caso de emplear el método de reparación individual y en la propia unidad este costo puede ser despreciado. También cuando se recibe el servicio de reparación por otra Empresa.

Ki_{ij} : Amortización de las inversiones debido a la construcción de instalaciones y adquisición del equipamiento necesario para ejecutar la reparación del artículo (j) en la variante organizativa (i), pesos/artículo. Se desprecia cuando se recibe el servicio de reparación por otra Empresa.

El costo debido al fondo circulante puede determinarse como:

$$Kc_{ij} = \frac{Kafc}{Nma} \quad (\text{pesos / artículo}) \quad (2)$$

donde:

$Kafc$: Costo anual del fondo circulante, pesos/año.

Nma : Cantidad de artículos a reparar en el año, artículos/año.

El costo anual del fondo circulante se determina como:

$$Kafc = \frac{(Ncv * Qm)}{Tsr} \quad (\text{pesos / año}) \quad (3)$$

donde:

Ncv: Cantidad de artículos del fondo circulante.

Qm: Precio de un artículo, pesos.

Tsr: Tiempo de servicio para reponer el fondo circulante, años.

La cantidad de artículos a reparar en el año se determina como:

$$Nma = \frac{(Au * la)}{\bar{lr}} \quad (\text{artículos}) \quad (4)$$

donde:

Au: Artículos en existencia en la unidad.

la : Recurso anual del artículo, unidad de labor/año.

\bar{lr} : Recurso medio hasta la reparación, unidad de labor.

La expresión para evaluar el costo total de la reparación (ΣK_{ij}) debe evaluarse para cada artículo "j" (máquina, agregado, instalación, equipo) que es objeto de trabajos de reparación y que conformen el 80 % del costo total del conjunto al cual pertenece, no evaluándose piezas aisladas. Para cada artículo (j) evaluado se determina el mejor sistema organizativo (i) sobre la base de su menor costo, ordenándose las variantes en orden ascendente según su costo para su selección según las posibilidades de la Empresa, seleccionándose una variante para las reparaciones generales y otra para las no generales.

Una vez determinados los costos de cada una de las posibles variantes para realizar la reparación debe valorarse la calidad del artículo en cada una de ellas a partir de la utilización del siguiente índice de durabilidad:

$$K'_{ij} = \frac{\sum K_{ij}}{Kd_{ij}} \quad (5)$$

donde:

K'_{ij} : Costo total específico de la reparación del artículo (j) en la variante organizativa (i).

Kd_{ij} : Coeficiente de durabilidad del artículo (j) en la variante organizativa (i).

Este coeficiente puede calcularse como:

$$Kd_{ij} = \frac{tr_{ij}}{tn_j} \quad (6)$$

donde:

tr_{ij} : Recurso técnico que se espera del artículo (j) reparado por la variante (i).

tn_j : Recurso técnico nominal del artículo (j) en el período de explotación que culminó.

Estos dos recursos pueden expresarse en horas, kilómetros, u otras unidades de producción manipuladas por la reparación (j). Cuando el valor del costo específico de la reparación (K'_{ij}) sea mínimo estaremos en presencia de la mejor variante organizativa para la Empresa.

2.4- Mantenimiento preventivo.

2.4.1- Características del mantenimiento preventivo.

El mantenimiento preventivo permite sustituir las paradas ocasionadas por averías, y por tanto no previstas, por paradas planificadas con antelación. El horizonte de planificación de dicho mantenimiento es muy amplio y permite que la disminución de la capacidad productiva que ocasiona sea tenida en cuenta, tanto en los planes a largo plazo como en los de corto plazo.

Las actividades del mantenimiento preventivo están orientadas hacia la renovación de la fiabilidad del artículo y comprende todas las intervenciones programadas por mantenimiento durante toda la vida del mismo, adelantándose a la avería mediante una adecuada planificación, corrigiendo los puntos más vulnerables en el momento oportuno. Es decir, el **MANTENIMIENTO PREVENTIVO** consiste en realizar ciertas intervenciones, de carácter profiláctico, según una programación realizada anteriormente, con el fin de reducir los fallos eventuales.

Como toda avería tiene un carácter fortuito, es casi imposible que se realicen los cambios de piezas y componentes justo antes del momento de la avería. Esta incertidumbre se compensa con la reposición anticipada a la avería, causando conscientemente el desaprovechamiento de la vida útil de las piezas sustituidas.

Este tipo de mantenimiento tiene como objetivos básicos evitar las roturas imprevistas, disminuir los gastos de la reparación e incrementar la vida útil del artículo. Este mantenimiento será más eficaz cuanto mayor sea la proporción de averías evitadas y más eficiente cuanto más reduzca la proporción de las operaciones preventivas innecesarias.

VENTAJAS DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO:

1. Reduce en gran medida la aparición del fallo eventual.
2. Disminuyen las pérdidas por estadía.
3. Evita, hasta cierto punto las grandes reparaciones, muy costosas en general, predominando las averías que normalmente son debido a causas simples.
4. Aumenta la disponibilidad, seguridad en el funcionamiento y vida útil del artículo.
5. Minimiza los costos de las reparaciones.
6. Permite preparar con tiempo las reparaciones, planificando de antemano la demanda de repuestos, herramientas y fuerza de trabajo.

DESVENTAJAS DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO.

1. Requiere de modelos de optimización para mejorar su programación.
2. Cuando la acción es cambiar se pierde vida útil del elemento.
3. Tiene mucha frecuencia de ejecución.
4. Para su perfeccionamiento tiene que apoyarse en la fiabilidad, por lo que se requiere entre 2 y 3 años de operación para recopilar la información necesaria.
5. Se corre el riesgo de brindar submantenimiento (cuando se determinan inadecuadamente los tiempos medios entre averías y la programación preventiva se retrasa con respecto a las averías, tomando este lugar el mantenimiento correctivo, por lo que se neutralizan las ventajas del preventivo, es decir, se realizan menos mantenimientos que los necesarios) o sobremantenimiento (cuando se interrumpe la operación normal del artículo para realizar un mantenimiento, es decir, se hacen más mantenimientos que los necesarios). Aquí la vida útil se desaprovecha y aumentan los gastos del mantenimiento.

Este tipo de mantenimiento puede organizarse de dos formas:

- Mantenimiento preventivo-planificado.
- Mantenimiento preventivo-planificado con diagnóstico intercalado.

El mantenimiento preventivo-planificado es la forma concreta de aplicar los regímenes de mantenimiento. La esencia del mismo radica en que luego de realizar una determinada labor (recorrido, tiempo de trabajo, etc.), el artículo deja de trabajar para realizarle un tipo de mantenimiento dado, de acuerdo con un plan confeccionado previamente. El conjunto de operaciones incluidas en cada tipo de mantenimiento deben ser ejecutadas obligatoriamente. El objetivo de este sistema es asegurar el estado técnico adecuado del artículo, empleando los recursos humanos y materiales mínimos. En la medida que el artículo envejece la complejidad de los mantenimientos se incrementa hasta completar el ciclo, repitiéndose luego varias veces hasta llegar a la reparación general.

Muchas Empresas, por lo general, asumen las recomendaciones que ofrece el fabricante sobre los tiempos óptimos para realizar este mantenimiento. En los manuales de operación y mantenimiento se señalan los tipos de mantenimiento y las operaciones a realizar (cambios, ajustes, regulaciones y otras actividades preventivas) de acuerdo con el trabajo realizado, agrupado todo esto en la llamada carta de mantenimiento, documento que rige esta actividad.

Este tipo de mantenimiento, visto tradicionalmente, plantea que un equipo nuevo tiene la mínima intensidad de averías, que luego por desgaste o envejecimiento en general, aumenta hasta que la probabilidad de fallo alcance su valor límite permitido. Estadísticamente se puede determinar el momento oportuno para la suspensión de la operación del artículo basado en un estudio de fiabilidad, para aplicar el mantenimiento preventivo durante un tiempo determinado, asignándole al artículo renovado una intensidad de fallo similar que cuando nuevo, reiniciándose la explotación del mismo.

Concluyendo podemos decir que este tipo de mantenimiento consiste en proceder periódicamente a ejecutar el sistema establecido a todos los equipos,

independientemente del tiempo que lleven funcionando sin fallos. Esto tiene el defecto de imponer las mismas condiciones de mantenimiento a todos los equipos, incluidos aquellos que, por haberse averiado recientemente, se encuentran prácticamente como nuevos, es decir, sin tener en cuenta el verdadero estado técnico de los mismos. Por tal motivo es lógico pensar en establecer las verdaderas necesidades para ejecutar el mantenimiento preventivo a los equipos que arriben al plazo señalado.

Si al llegar el momento de ejecutar el mantenimiento preventivo, conociéramos exactamente cuales equipos o partes de él están "buenos", y por ende, pueden continuar en la explotación sin que aparezca el fallo, y cuales son "malos" porque van a averiarse, podríamos someter a todos los malos, y sólo a los malos, a mantenimiento preventivo. La variante del mantenimiento preventivo-planificado con diagnóstico intercalado permite esto, es decir, conocer el verdadero estado técnico de cada uno de los equipos a lo largo del período de explotación, y a partir de aquí, recomendar a cuales se les debe realizar dicho mantenimiento y cuales pueden seguir en la explotación. Esto permite evitar al máximo la ocurrencia de averías inoportunas y no hacer ningún mantenimiento preventivo innecesario.

Esta variante de mantenimiento preventivo debe organizarse según las condiciones reales de cada Empresa (parámetros a medir, medios de diagnóstico, personal, etc.), pudiendo ser utilizado como control del estado técnico y también como control de los trabajos ejecutados. Vista desde esta perspectiva, este mantenimiento se basa en el conocimiento del comportamiento de los equipos, y podría interpretarse como un intento de anticiparse a las averías que suelen producirse cuando el tiempo de funcionamiento se acerca su valor límite.

Muchas Empresas utilizan en gran medida otras dos formas de mantenimiento preventivo; el mantenimiento paliativo y el mantenimiento basado en la oportunidad.

El mantenimiento paliativo consiste en que cuando se produce un fallo en circunstancias muy inoportunas, se pospone provisionalmente el mantenimiento y solo se ejecutan algunas operaciones muy sencillas, rápidas y compatibles con los medios disponibles de inmediato para poder seguir utilizando el equipo, aunque no sea en los regímenes de operación más convenientes, y por supuesto con menor seguridad y fiabilidad, hasta que las circunstancias permitan brindarle el mantenimiento debido, siendo característico aplicarlo en los equipos indispensables de las Empresas de producción continua. Con esta variante de mantenimiento preventivo se evita la aparición de males mayores, así como la reducción del costo total derivado de la aparición del fallo.

El mantenimiento preventivo basado en la oportunidad consiste en realizar el mantenimiento cuando surja una oportunidad para hacerlo. En un sistema saturado de trabajo puede ser contraproducente realizar determinadas acciones de mantenimiento preventivo, tan costosas algunas veces como la avería que se trata de evitar. En tales casos, puede ser muy conveniente realizar dicho mantenimiento cuando aparezca la mejor oportunidad, por ejemplo, durante una parada forzosa del equipo debido a la avería de otro equipo de la misma línea productiva. Para implementar este tipo de mantenimiento es necesario estudiar, en primer lugar, las

circunstancias concretas de cada caso y adaptarse a ellas, y luego establecer reglas de decisión que, no solo permitan sino fomenten la aplicación de las medidas en cuestión cuando resulten potencialmente ventajosas, y excluyan esta aplicación cuando resulte potencialmente contraproducente. Para la aplicación de este mantenimiento es aconsejable, por una parte, intentar aprovechar lo más sistemáticamente posible sus ventajas potenciales, y por otra, evitar que proliferen sus aplicaciones de forma incontrolada.

2.4.2- Regímenes de mantenimiento. Métodos de cálculo para establecer la periodicidad del mantenimiento.

Se denomina régimen de mantenimiento y reparación al conjunto de operaciones, periodicidad y laboriosidad de los trabajos preventivos y de reparación previstos para los artículos. El régimen más racional será aquel que garantice la menor cantidad de fallos del artículo a causa del desgaste natural de sus elementos o de roturas, estableciéndose solo sobre la base del estudio sistemático de la demanda de trabajos de control, lubricación, apriete, regulación, ajuste y otros. La necesidad de realizar estos trabajos profilácticos se fundamenta en el conocimiento de las leyes de variación de los parámetros que caracterizan la capacidad de trabajo del artículo y sus componentes. Conociéndose estas leyes de variación del estado técnico y los valores límites admisibles de los parámetros señalados podría determinarse, por ejemplo, la periodicidad más adecuada para ejecutar los trabajos preventivos desde el punto de vista de la reducción de los fallos.

Ahora bien, existe un conjunto de factores que dificultan el establecimiento de la periodicidad o, en general, de un régimen de mantenimiento dado. Entre estos factores tenemos:

1. En condiciones de explotación diferentes el carácter e intensidad del cambio del estado técnico de los artículos es también diferente, por lo que la necesidad de realizar trabajos de mantenimiento y de reparación de los elementos componentes del mismo habrá de variar, así como también los intervalos en los cuales debe realizarse dichos trabajos.
2. Aun en igualdad de condiciones, los valores de los parámetros de estado técnico de los artículos habrán de tener, al cabo de una labor determinada, una dispersión inevitable. Quiere esto decir que cada artículo realiza sus cualidades de explotación de manera individual y, en general, diferente a la del resto de los artículos.
3. A medida que la "edad" de los artículos es mayor, la cantidad de fallos por unidad de labor aumenta, de manera que para mantener un nivel estable y alto de trabajo sin fallos es preciso acortar los intervalos entre mantenimientos para un mismo tipo de artículo.
4. El régimen de mantenimiento no solo debe garantizar una reducción de la intensidad del desgaste de los elementos componentes del artículo y la detección oportuna de aquellos que hayan perdido su fiabilidad, sino que, además debe asegurar que el volumen de trabajos de reparación eventual entre mantenimientos sea mínimo.
5. Debido a que la ley de variación del estado técnico de un artículo en particular no refleja la de todos sus similares, es preciso emplear métodos estadísticos para determinar dichas leyes.

Estos factores son fundamentalmente de naturaleza técnica, sin embargo, el régimen de mantenimiento debe garantizar también que los gastos necesarios para mantener el buen estado técnico de los artículos sean los menores posibles, denominándose entonces régimen óptimo. Por tal motivo el régimen óptimo de mantenimiento será aquel que garantice el nivel de fiabilidad requerido por el artículo con los menores gastos posibles.

Las dos grandes alternativas para establecer el régimen de mantenimiento son:

- Cuando no se posee información alguna sobre el comportamiento en la explotación del artículo.
- Cuando se poseen datos sobre la fiabilidad del artículo y datos económicos relacionados con su comportamiento en las condiciones reales de explotación.

En el primer caso, cuando no se tiene información sobre la fiabilidad del artículo, se utilizan las recomendaciones que ofrece el fabricante y decisiones que tome el especialista en mantenimiento en base a criterios generales y a su experiencia, y que indiquen utilizar el mantenimiento preventivo en aquellos elementos que no se contemplan en la carta de mantenimiento, adjuntándose esto último a las frecuencias de ejecución del mantenimiento según indica el fabricante. De esta forma se conforma un sistema de mantenimiento preventivo inicial cuya efectividad no tiene que ser, y no será seguramente, la máxima posible, ya que no considera totalmente las condiciones de trabajo bajo las cuales se explota el artículo.

En el segundo caso, cuando se poseen datos sobre la fiabilidad del artículo durante la explotación, se utilizan métodos que permiten calcular la frecuencia más adecuada para ejecutar el mantenimiento preventivo, basados ellos en diferentes criterios. De acuerdo con esto, los métodos que más se utilizan para determinar la periodicidad del mantenimiento preventivo son:

1. Productividad máxima.
2. Nivel de probabilidad de trabajo sin fallos.
3. Técnico-económico.
4. Variación del parámetro de estado técnico.

1- Método de productividad máxima.

La determinación de la periodicidad del mantenimiento preventivo de acuerdo con la máxima productividad del artículo se fundamenta en el criterio de que la variación del estado técnico del artículo ejerce una influencia directa sobre el rendimiento del mismo. Durante la utilización del artículo su rendimiento va disminuyendo, por múltiples causas y, para restablecer esta productividad es necesario periódicamente realizarle trabajos de mantenimiento.

Como parámetros de control se elegirán siempre aquella característica que más interese del equipo, como por ejemplo: la variación de la potencia, de la eficiencia, de la producción de artículos, todas ellas respecto al tiempo de trabajo, teniendo presente que la variación del mismo en el período comprendido entre dos mantenimientos consecutivos sea significativa. Con la utilización de este método se garantiza una elevada productividad del artículo en el próximo período de explotación, y por tal motivo, se recomienda su empleo para aquellas máquinas o equipos catalogados como (A)(Fundamentales), según los criterios de diferenciación de máquinas.

2- Método del nivel de probabilidad de trabajo sin fallos.

Llamado también probabilidad de trabajo mínima admisible, este método considera el carácter aleatorio de la aparición de los desperfectos en los artículos y su esencia radica en la determinación de la periodicidad del mantenimiento (t_{mt}) la cual impida que la probabilidad de trabajo sin fallos ($R(t)$) descienda por debajo de un valor mínimo permisible, dada la categoría del artículo.

Supongamos que se conoce la ley de variación que describe la probabilidad ($R(t)$) que tiene el artículo de trabajar sin fallar durante una labor determinada. Como ya se había expresado, uno de los objetivos del mantenimiento es reducir la cantidad de fallos que se presentan en un período comprendido entre dos mantenimientos consecutivos. A partir de ello se establece un valor admisible de la probabilidad de trabajo sin fallos, basándose en consideraciones de tipo técnico, económico, de seguridad, etc. Dicho valor corresponderá con una labor dada, la cual se toma como periodicidad para la ejecución del mantenimiento. Quiere esto decir que, ejecutando el mantenimiento a la altura de la periodicidad (t_{mt}) solo se permite que la probabilidad de fallo llegue hasta el valor mínimo admitido para el artículo en cuestión.

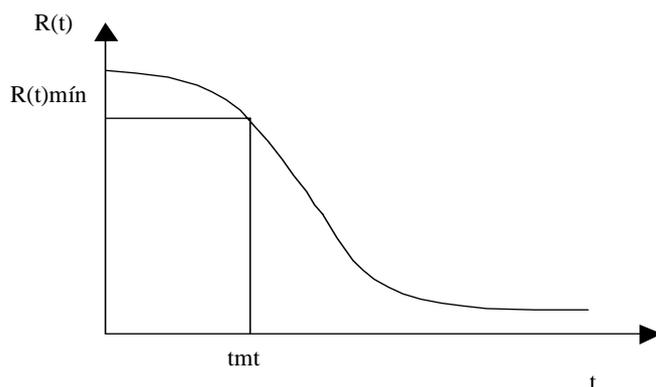


Fig. 7: Determinación de la periodicidad del mantenimiento de acuerdo con el nivel de probabilidad de trabajo sin fallos.

La dificultad del método radica en encontrar el valor exacto de la probabilidad de trabajo sin fallos mínimo ($R(t)_{\text{mín}}$). En muchos casos este valor se asume, y por ejemplo, para el caso del transporte automotor se considera:

- ◆ Un buen valor: 0,95 - 1.
- ◆ Un valor aceptable: 0,85 - 0,95.
- ◆ Un valor malo: menor de 0,85.

Este método es aplicable, fundamentalmente, en aquellos artículos catalogados como (A), según la diferenciación de máquinas, y es una práctica común, para este tipo de artículos, determinar la periodicidad del mantenimiento por el método de productividad máxima y luego, con este valor, determinar la probabilidad de trabajo sin fallos, y para que el valor de (tmt) calculado sea aceptado el valor de (R(t)mín.) debe estar dentro del rango deseado.

3- Método técnico-económico.

El criterio empleado en este método para determinar la periodicidad del mantenimiento es que la suma total de los costos específicos totales (Cesp.total) necesarios para ejecutar el mantenimiento preventivo (Cesp.prev.) y el mantenimiento correctivo (Cesp.corr.) deben ser mínimos, o sea:

$$\text{Cesp. total} = \text{Cesp. prev.} + \text{Cesp. corr.} \quad (\text{pesos/unidad de labor}) \quad (8)$$

Minimizando esta expresión, es decir, donde el costo específico total (Cesp.total) sea mínimo, tenemos a la periodicidad (tmt) más adecuada para ejecutar el mantenimiento.

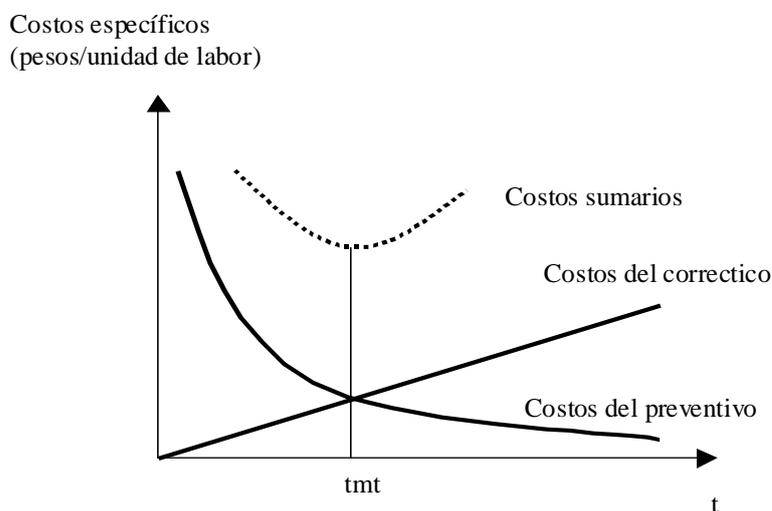


Fig. 8: Dependencia de los costos específicos totales del mantenimiento correctivo y del preventivo.

A medida que aumenta la periodicidad del mantenimiento, los trabajos de tipo profilácticos van a ser más espaciados, por lo que serán menores los costos específicos del accionar preventivo (Cesp.prev.). Sin embargo, esto implica que va a aumentar la cantidad de fallos en el intervalo comprendido entre dos mantenimientos consecutivos, por lo cual se elevarán los costos del accionar correctivo (Cesp.corr.). De

manera que los costos específicos totales primeramente tenderán a disminuir al aumentar la periodicidad hasta alcanzar un valor mínimo, posterior al cual comenzará a aumentar. Este valor mínimo de los costos específicos totales corresponderá con la periodicidad óptima del mantenimiento (t_{mt}).

Conociendo la función de densidad del evento:

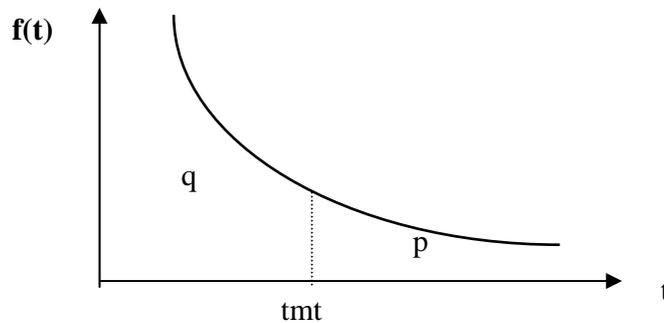


Fig. 9: Función de densidad de la labor hasta la aparición del fallo.

de tal forma que (q) representa la probabilidad de fallo ($F(t)$) y (p) la probabilidad de trabajo sin fallo ($R(t)$) puede demostrarse que:

1- La periodicidad del mantenimiento preventivo es:

$$\bar{t}_p = t_{mt} * p \quad (9)$$

o sea, (\bar{t}_p) representa la labor media de los artículos que no fallan antes de la periodicidad (t_{mt}).

La periodicidad del mantenimiento correctivo es:

$$\bar{t}_c = \int_0^{t_{mt}} t * f(t) * dt \quad (10)$$

o sea, (\bar{t}_c) representa la labor media de los artículos que fallan antes de la periodicidad (t_{mt}).

El costo específico del mantenimiento preventivo se puede determinar como:

$$C_{esp.prev.} = \frac{(p * C_p)}{\bar{t}_p} \quad (\text{pesos/unidad de labor}) \quad (11)$$

donde:

C_p : Costo del mantenimiento preventivo, pesos.

El costo específico del mantenimiento correctivo se determina como:

$$C_{esp.corr.} = \frac{(q * C_c)}{\bar{t}_c} \quad (\text{pesos/unidad de labor}) \quad (12)$$

donde:

Cc: Costo del mantenimiento correctivo, pesos.

Sustituyendo las expresiones (9; 10;11 y 12) en la expresión (8) tenemos que:

$$C_{esp. total} = \frac{C_c * q + C_p * p}{tmt * p + \int_0^{tmt} t * f(t) * dt} \quad (\text{pesos/unidad de labor}) \quad (13)$$

Realizando transformaciones en la expresión (13) nos queda que:

$$p + tmt * f(tmt) + \frac{f(tmt)}{p} * \int_0^{tmt} t * f(t) * dt = \frac{C_c}{C_c - C_p} \quad (14)$$

$$tmt * f(tmt) - q + \frac{f(tmt)}{p} * \int_0^{tmt} t * f(t) * dt = \frac{C_p}{C_c - C_p} \quad (15)$$

Estas dos últimas expresiones sirven para determinar la periodicidad óptima si se conocen las características de la ley de distribución y la relación entre los costos del mantenimiento correctivo y del preventivo. Para las máquinas catalogadas como (B)(Convencionales), y aún más, para las clasificadas como (C)(Auxiliares) este método es muy ventajoso, pues en estos casos se desea reducir los costos de la actividad, sin que esto quiera decir que se reduzca considerablemente la durabilidad y disponibilidad de los equipos.

4- Método de variación del parámetro de estado técnico.

La esencia del método de determinación de la periodicidad del mantenimiento, de acuerdo con la variación y el valor máximo admisible del parámetro de estado técnico del artículo o de sus elementos, consiste en la presuposición de que el cambio del estado técnico, en la mayoría de los casos, se produce de forma paulatina, sin saltos bruscos, y puede ser expresado mediante una función racional de orden n, de la siguiente manera:

$$y = a_0 + a_1 * t + a_2 * t^2 + \dots + a_n * t^n \quad (16)$$

donde:

y: Parámetro de estado técnico.

t: Labor realizada por el artículo, tiempo o recorrido.

a₀: Valor inicial del parámetro de estado técnico.

a₁, a₂, ..., a_n: Coeficientes que determinan el carácter y grado de dependencia del parámetro respecto al recorrido o tiempo de trabajo.

Conociendo la función del cambio del parámetro de estado técnico ($y = \varphi(t)$) y el valor máximo admisible (Y_L) del mismo, es posible determinar la periodicidad (tmt) del mantenimiento de forma gráfica según se muestra en la siguiente figura:

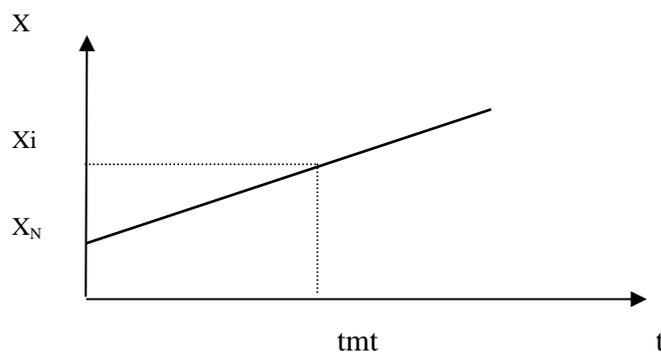


Fig. 10: Determinación de la periodicidad del mantenimiento según la variación del parámetro de estado técnico.

Asimismo, la periodicidad del mantenimiento puede determinarse de forma analítica, sustituyendo en la expresión (16) el valor de (Y_L), de tal forma que:

$$Y_L = a_0 + a_1 * tmt + a_2 * tmt^2 + \dots + a_n * tmt^n \quad (17)$$

Cuando la variación del parámetro de estado técnico en función del tiempo de trabajo es lineal, es decir:

$$Y_L = a_0 + a_1 * tmt \quad (18)$$

la periodicidad del mantenimiento puede determinarse como:

$$tmt = \frac{Y_L - a_0}{a_1} \quad (19)$$

Las limitaciones para la aplicación de este método están dadas por el hecho de que para la mayoría de los artículos, o de sus partes componentes, no está establecido el carácter fidedigno de la variación de su estado técnico en función del tiempo de trabajo o recorrido, de manera que es difícil determinar el valor de (Y_L) en la práctica.

Ahora bien, como ya se había planteado, en la medida que aumenta el tiempo de explotación del artículo aumenta también la posibilidad real de que el mismo falle, motivo por el cual deben realizarse correcciones al régimen de mantenimiento con vistas a reducir la aparición de dichos fallos. Esta corrección de los regímenes de mantenimiento consiste en el ajuste de las periodicidades, cantidad de operaciones y laboriosidades a las condiciones concretas en que se explota el artículo, y tiene como objetivo fundamental la reducción de los gastos totales del mantenimiento.

Considerando que los factores que influyen sobre el funcionamiento de los artículos en la explotación pueden ser diversos, es necesario establecer los regímenes de mantenimiento a partir del estudio de un gran volumen de información acerca de este comportamiento. Después que se ha implantado un régimen de mantenimiento dado para determinadas condiciones de explotación, pueden analizarse las operaciones de mantenimiento preventivo y correctivo realmente ejecutadas en un período determinado y, de esta forma, ampliar o reducir la relación de trabajos que es

preciso realizar durante cada mantenimiento. Se ampliará el mantenimiento preventivo con aquellas operaciones que prevengan el surgimiento de fallos frecuentes y se eliminarán aquellas que no sean típicas para las condiciones dadas.

Con relación a esto se recomienda analizar las operaciones de mantenimiento correctivo realizadas en un período no menor de 3-6 meses a grupos de significativos de artículos. Para determinar qué operaciones de mantenimiento correctivo deben ser incluidas en el mantenimiento preventivo, se calcula la periodicidad (te) con que tienen lugar a partir de:

$$te = \frac{\sum t}{n} \quad (20)$$

donde:

te : Periodicidad promedio de una operación de mantenimiento correctivo en concreto, horas o kilómetros.

Σt : Recorrido total o tiempo total de trabajo de los artículos bajo observación, horas o kilómetros.

n : Cantidad de operaciones de mantenimiento correctivo del mismo tipo realizadas a los artículos observados durante el período analizado.

Al comparar la magnitud (te) con las periodicidades de los tipos de mantenimiento preventivo establecidos se puede decidir acerca de la inclusión de la operación dada de mantenimiento correctivo en uno de ellos.

Supongamos que nuestro sistema prevé la realización de dos tipos de mantenimiento, cuyas periodicidades son (tmt_1) y (tmt_2) respectivamente. De acuerdo a los principios de formación del sistema de mantenimiento estas periodicidades tienen que ser múltiplos enteros entre sí, es decir, que ($tmt_2 = n * tmt_1$). Ahora bien, si se cumple que ($tmt_2 > te \geq tmt_1$), o bien que ($m * tmt_1 > te \geq tmt_1$), la operación del mantenimiento correctivo analizada se incluirá en el primer tipo de mantenimiento preventivo. Por otra parte, aquellos trabajos de mantenimiento correctivo cuyas periodicidades promedio sean ($te \gg tmt_2$) se mantendrán como tales, ya que no sería racional incluirlos dentro de algún tipo de mantenimiento preventivo.

2.4.3- Principios de formación del sistema de mantenimiento preventivo.

Una vez seleccionadas las periodicidades más convenientes para la ejecución del mantenimiento para cada agregado, mecanismo o conjunto, se diseña el sistema de mantenimiento para el artículo en general, o sea, se establece la cantidad de tipos de mantenimiento que habrá, sus periodicidades correspondientes, las operaciones que se habrán de ejecutar en cada caso, así como las laboriosidades de los mismos. Al diseñar cualquier sistema de mantenimiento deberán tenerse en cuenta los siguientes principios:

1. La cantidad de tipos de mantenimiento debe ser mínima, lo cual contribuye a facilitar la organización y planificación de los trabajos de mantenimiento, sobre

- todo en aquellas Empresas donde existan una gran cantidad de equipos, así como también permite reducir los costos de su realización.
2. Los mantenimientos de orden superior deben incluir las operaciones de los inferiores. Esto garantiza que se revisen todos los mecanismos y agregados del artículo y que se reduzca la posibilidad de que surgen fallos durante el trabajo normal del mismo en los períodos entre mantenimientos. Para lograr esto es necesario que las periodicidades de los distintos tipos de mantenimiento sean múltiplos entre sí.
 3. Debe evitarse al máximo la inclusión de operaciones que impliquen el desarme innecesario de piezas acopladas, ya que esto contribuye a acelerar el desgaste de las mismas.
 4. El régimen de mantenimiento debe establecerse para las condiciones de explotación bajo las cuales se utilizarán los equipos, dando la posibilidad de realizar las correcciones necesarias cuando se requieran.
 5. Debe preverse además, la posibilidad de mecanizar y automatizar la realización de los trabajos de mantenimiento, ya que esto contribuye a mejorar su calidad y reducir los costos.

El sistema proyectado debe ser introducido de forma experimental en las Empresas y, luego de comprobar su eficacia en la práctica, realizarle los ajustes necesarios para implantarlo completamente al resto de los equipos. La efectividad del nuevo sistema de mantenimiento aplicado debe evaluarse comparando los indicadores que caracterizan el comportamiento de los equipos antes y después de introducido, sobre la base de la información estadística que debe recogerse al respecto.

2.4.4- Gráfico de mantenimiento.

Es común encontrar que los cálculos de las periodicidades más convenientes para ejecutar el mantenimiento preventivo se realicen a partes y sistemas de las máquinas. Además, las recomendaciones del fabricante se refieren a acciones sobre dichas partes y sistemas. Por tal motivo, hacer caso a cada frecuencia o periodicidad que resulte para cada parte o sistema sería negar las ventajas más importantes del mantenimiento preventivo, fundamentalmente la disminución de las estadías, pues se tendría que detener una gran cantidad de veces a las máquinas para atender a cada parte por separado. Por ello, el especialista de mantenimiento tiene que conformar un gráfico, en el cual se definan los momentos en que se atenderá la máquina para realizarle un mantenimiento dado, formado este por varias operaciones que pueden estar relacionadas con una parte de la máquina o con ella en su totalidad. Un ejemplo de esto se muestra a continuación.

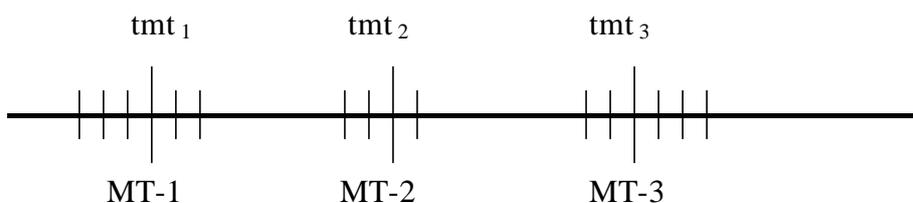


Fig. 11 Construcción del gráfico de mantenimiento.

Situando sobre el eje del tiempo, o recorrido, las periodicidades para ejecutar el mantenimiento preventivo de cada una de las partes de la máquina, y luego agrupándolas convenientemente a partir fundamentalmente de criterios técnico-económicos, quedará conformado el gráfico de mantenimiento. Para este caso, el mantenimiento uno (MT-1) sería un mantenimiento básico, sencillo, formado por (6) operaciones. El segundo tipo de mantenimiento (MT-2) sería un mantenimiento más complejo que el anterior, en el que se ejecutarán las operaciones incluidas en el MT-1 más las (4) nuevas que se requieren en este tiempo. El tercer tipo de mantenimiento (MT-3) sería un mantenimiento más complejo aún, donde se ejecutan todas las operaciones del MT-2 más las (6) nuevas que se requieren al cabo de la periodicidad (t_{mt_3}).

Por supuesto, en estos ajustes van a existir determinadas operaciones que se desplazan de su periodicidad óptima para reunir las en un solo tiempo, algunas se adelantan y otras se atrasan, lógico esto si queremos racionalizar la aplicación del sistema de mantenimiento. Por lo general, el mantenimiento preventivo se organiza de forma escalonada o por tipos de mantenimiento, repitiéndose el ciclo hasta llegar a la reparación media planificada o a la reparación general.

Un ejemplo de esto, para el caso de los ómnibus urbanos, es el siguiente:

Revisión del chofer. (Diaria)
 Revisión mecánica. (Semanal)
 Mantenimiento cada 6 000 km.
 Mantenimiento cada 12 000 km.
 Mantenimiento cada 18 000 km.
 Mantenimiento cada 24 000 km.
 Mantenimiento cada 30 000 km.
 Mantenimiento cada 36 000 km.
 Mantenimiento cada 48 000 km.
 Mantenimiento cada 98 000 km.
 Mantenimiento cada 196 000 km.

2.5- Mantenimiento predictivo.

2.5.1- Características del mantenimiento predictivo.

Cuando el costo de una inspección de buena calidad no es muy elevado, suelen resultar interesante las políticas basadas en acciones de inspección y mantenimiento frecuentes e incluso, como caso extremo, la política consistente en realizar al final de cada período elemental una inspección seguida del correspondiente mantenimiento. En particular, estas políticas pueden ser muy eficaces en la reducción del número de averías, por lo que están especialmente indicadas para el mantenimiento de equipos muy importantes, cuyos fallos pueden implicar costos muy elevados.

Por otra parte, una de las razones fundamentales de la creciente importancia del mantenimiento es el avance de la mecanización y la automatización, que están reforzando cada vez más el protagonismo de los equipos en la producción.

Como consecuencia de esto cada vez son más los "equipos importantes" cuyos fallos deben ser evitados a toda costa porque, teniendo en cuenta los efectos potenciales extraordinariamente graves de dichos fallos, una política de inspección y mantenimiento que permita realmente reducir sus riesgos de aparición puede resultar sumamente rentable aunque sea muy costosa.

En los últimos años se han realizado esfuerzos considerables para incrementar la fiabilidad de ciertos equipos, en particular poniendo a punto medios técnicos cada vez más rápidos, precisos y manejables para la identificación de los fallos y la localización de su procedencia y, mucho mejor aún, para el diagnóstico precoz o la previsión de su aparición.

Un ejemplo de este desarrollo es la puesta a punto de equipos que, analizando el nivel de vibraciones de una máquina dinámica en un momento dado y comparándolo con el nivel correspondiente a cuando estaba nueva, permiten prever distintos tipos de fallos con mucha antelación y a la vez con gran precisión.

Es interesante observar que los análisis de este tipo comenzaron a utilizarse, en un inicio de forma periódica, para la aplicación de políticas de mantenimiento basadas en una inspección previa periódica, hasta llegar hoy día a las llamadas inspecciones de forma continua o "monitorizar" las máquinas en cuestión en los que a vibraciones se refiere.

Además de las alteraciones de las vibraciones existe toda una gama de fenómenos cuya presencia o evolución en ciertos equipos puede servir para predecir con antelación la proximidad de una avería determinada o el aumento de la probabilidad de que se produzca. Entre estos fenómenos se encuentran: alteraciones superficiales por erosión, corrosión y cavitación; aparición de deformaciones, cambios de espesor, poros y grietas; variaciones de temperatura; cambio en la cantidad, composición y dimensiones de partículas en los líquidos técnicos y la pérdida de estanqueidad, fugas de líquidos y gases, etc.

Para poner a punto los procedimientos de inspección basados en estos fenómenos se están aplicando numerosas técnicas de observación y medida, algunas utilizadas desde hace tiempo en el control de los procesos productivos y otras nuevas, desarrolladas específicamente para estas aplicaciones al mantenimiento. Es de destacar, por una parte, que estas técnicas tienen sin dudas un papel cada vez más importante en el mantenimiento de los sistemas productivos, que siguen tendiendo a una complejidad y un grado de automatización crecientes, y por otra parte, habrá que seguir cuestionando, para cada aplicación específica, la calidad de los nuevos procedimientos de inspección, en los cuales a veces parece confiarse excesivamente sin tener en cuenta, por ejemplo, que los equipos de medición también se averían.

Es de destacar que el término "mantenimiento predictivo" se utiliza ampliamente, pero con interpretaciones diferentes. Algunos entienden al mantenimiento predictivo como un "mantenimiento preventivo basado en los resultados de una inspección previa". Otros lo consideran como "una forma específica de mantenimiento condicional aplicado a las máquinas dinámicas exclusivamente". Con el tiempo se irá consolidando una terminología común al respecto, mientras aclararemos los conceptos relacionados con este sistema de mantenimiento.

EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO, al igual que el preventivo, tiene un carácter profiláctico y planificado, pero que no se apoya en una programación rígida de intervenciones, sino en el conocimiento real del estado técnico del artículo, a través de controles sistemáticos.

Este tipo de mantenimiento permite detectar cuando la avería está a punto de producirse, y de esta forma aprovechar la vida útil del artículo, sin incurrir en emergencias correctivas, ni tampoco aplicar actividades preventivas innecesarias. Asimismo, evita los elevados costos de la reparación, pero no permite tan buena planificación como en el mantenimiento preventivo puro. Comprende todos los métodos encaminados a conocer el estado de las máquinas mediante el uso de procedimientos y técnicas de inspección no destructivas, y otras que miden el desgaste progresivo a lo largo del tiempo y predicen los puntos de posibles fallos, de forma más acertada que una estimación estadística sobre el momento de recambio, como lo hace el mantenimiento preventivo.

El mantenimiento predictivo permite investigar las causas de los fallos, así como facilita y ayuda a su prevención, a fin de lograr mejoras en la tecnología de los sistemas y componentes de un equipo. Para ello, es necesario recurrir a métodos de diagnóstico que puedan reflejar el estado del sistema y predecir el fallo antes de llegar al colapso, evitando así los incrementos significativos de las horas de parada y los costos de operación del equipo.

VENTAJAS DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO.

1. Disminuye la eventualidad del fallo.
2. Se logra un máximo aprovechamiento de las piezas y materiales.
3. El fallo se elimina cerca del estado límite, por lo que la vida útil de los elementos aumenta en comparación con el sistema preventivo.
4. Evita los elevados costos de reparación.
5. Existe máxima disponibilidad de los equipos durante la explotación.

DESVENTAJAS DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO.

1. Elevado costo debido a la adquisición de los equipos de diagnóstico.
2. Es necesaria la formación especializada del personal.

Este tipo de mantenimiento puede establecerse de dos formas, a saber:

- Por control de parámetros.
- Por control de niveles de fiabilidad.

El mantenimiento predictivo por control de parámetros se basa en la función de cambio del estado técnico, en el sistema de diagnóstico y en el sistema de anticipación a la avería. La estrategia del control de parámetros tiene carácter de planificación de los momentos de control y en los tipos de media y diagnóstico,

siendo el objetivo encontrar los límites pre-avería (S_1) y desgaste máximo (S_2), lo que posteriormente llamaremos normativas del diagnóstico. Si el parámetro observado alcanza (S_1), debe planificarse un mantenimiento preventivo con un tiempo máximo de predicción $t = t_2 - t_1$, y si está cerca de (S_2) actuará el predictivo (ver figura 3.11).

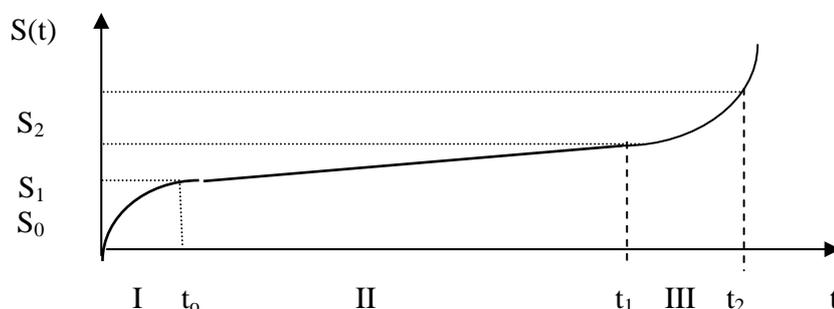


Fig. 12: Curva del desgaste, donde $S(t)$: Desgaste en función del tiempo, S_0 : Límite inferior del diagnóstico (ajuste inicial); S_1 : Límite precrítico (selección y exclusión de averías); S_2 : Límite del desgaste (nivel máximo); I: Período de asentamiento; II: Período de explotación normal (desgaste gradual de los elementos); III: Desgaste intensivo (cambio intensivo del estado técnico).

Cabe señalar que el papel del mantenimiento predictivo tiene su máxima expresión en la tercera fase de la vida del equipo, ya que durante la vida útil (zona II) no existe variación significativa de los parámetros de estado técnico y los accidentes no se pueden prevenir.

El mantenimiento predictivo por control de niveles de fiabilidad es en esencia un mantenimiento preventivo dinámicamente programado, donde se considera el nivel global de fiabilidad del sistema observado y cuando éste discrepe de los límites tolerables, se analiza la fiabilidad de los elementos constituyentes del sistema, se buscan las causas y se aplican acciones preventivas. Este modelo de mantenimiento predictivo depende de las siguientes circunstancias: Un amplio uso de ordenadores, ya que es virtualmente imposible analizar de forma manual toda la información estadística involucrada; Poseer todas las fichas históricas de mantenimiento, lo más detalladas posible, con datos sobre la intensidad de averías y otros parámetros; Tener una infraestructura administrativa grande, ya que las decisiones de mantenimiento se desarrollan en la oficina una vez tomado los datos en campo.

Las formas organizativas más utilizadas en el mantenimiento predictivo son las siguientes:

- Inspecciones programadas.
- Monitoreo continuo.

Las inspecciones programadas (discretas o aisladas) se realizan para definir que operaciones de mantenimiento se ejecutan o si es necesario incluir otras a dicho mantenimiento. Esta variante es muy utilizada en centros de diagnóstico de vehículos

automotores, brigadas especializadas de diagnóstico por vibraciones y para comprobar el funcionamiento de motores eléctricos.

En el monitoreo continuo se mantienen instalados permanentemente los medios de diagnóstico a los equipos y máquinas, los cuales envían la señal sobre el funcionamiento de los mismos (estado técnico) a un ordenador que procesa la información. Esta variante es utilizada en pizarras de control, en termoeléctricas, centrales atómicas, etc., y dentro de los parámetros a controlar se encuentra la temperatura, presiones, vibraciones, ruidos, impurezas en lubricantes, intensidad de corriente, etc.

2.5.2- Diagnóstico del estado técnico. Objetivos y clasificación.

Durante el proceso de explotación de los artículos técnicos se hace necesario brindar un servicio técnico diferenciado, ya que los elementos que los componen no poseen iguales características de funcionalidad y durabilidad. Muchos grupos, sistemas, mecanismos y piezas requieren de frecuentes regulaciones, mientras que otros trabajan sin muchas dificultades y sin necesidad de ajustes frecuentes.

Los métodos matemáticos de la teoría de la fiabilidad permiten obtener los datos necesarios sobre las distribuciones de los fallos en las diferentes etapas del desgaste del artículo, con lo cual es posible pronosticar con suficiente certeza la demanda global de reparaciones, mantenimientos, piezas de repuesto, etc. Sin embargo, debido al carácter estadístico que tienen estos resultados, los mismos no pueden ser aplicados, en general, a un artículo en particular, es decir, se puede prever cuántos artículos, de un conjunto determinado, habrán de fallar en un período dado, pero no es posible predecir cuáles de ellos serán.

Muchas investigaciones han demostrado que el estado técnico de los artículos, incluso en idénticas condiciones de trabajo, varía en rangos muy amplios. Esto está determinado por la heterogeneidad de la producción y la influencia de diferentes factores de explotación, del servicio técnico y otros. Esto demuestra la necesidad de corregir de forma individual las normativas medias de periodicidad y el volumen de los mantenimientos.

Por otra parte, debido a que el surgimiento de los fallos y desperfectos tiene un carácter fortuito, para mantener el buen estado técnico de los artículos es preciso controlar su funcionamiento de forma sistemática. La necesidad de este control está determinada también por el hecho de que la mayor parte de los desperfectos del artículo se detectan cuando ya su acción es muy significativa. Aquellos desperfectos que provocan, por ejemplo en los vehículos, la reducción de la potencia, el aumento del consumo de combustible, la deformación del tren de rodaje o la disminución de la efectividad de los frenos en pequeñas proporciones, pueden no ser detectados incluso por chóferes y mecánicos de gran experiencia. Estos métodos, basados en la observación y la experiencia son adecuados solamente para detectar irregularidades evidentes al ojo y oído expertos, los cuales, por los demás no son muy abundantes.

De lo anterior se deduce entonces que, sin el empleo de equipos de medición correspondientes sería imposible detectar pequeños desperfectos en los artículos, como

por ejemplo: la alteración de los ángulos de instalación de las ruedas de un vehículo en uno o dos grados, pequeños desajustes en el sistema de encendido y otros, los cuales provocan un aumento considerable de los costos de explotación. La aplicación de los métodos de diagnóstico técnico a los artículos en la explotación permiten dar solución adecuada a los problemas señalados anteriormente.

Se denomina **DIAGNÓSTICO TÉCNICO** a la rama de la ciencia que estudia los síntomas de los desperfectos de los artículos, los métodos, medios y algoritmos para la determinación del estado técnico sin tener que desarmar, así como la tecnología y organización de la utilización del diagnóstico en los procesos de explotación.

Entonces, el diagnóstico técnico consiste, en primer lugar, en el proceso de descubrimiento de los desperfectos ocultos y sus causas, así como en el análisis de los resultados obtenidos, sobre cuya base es posible establecer si el mecanismo o grupo diagnosticado necesita o no alguna operación de mantenimiento.

Con frecuencia se identifica el concepto de diagnóstico con el de "control" o "revisión" del estado técnico. El diagnóstico técnico se diferencia del control en que el proceso de detección de desperfectos no se limita a la constatación del hecho en sí, sino que además, es acompañado de un análisis objetivo del mismo, que permite pronosticar el recurso de trabajo sin fallos del objeto diagnosticado. Este recurso consiste en determinar las posibilidades reales que existen para que el artículo prosiga con su trabajo sin necesidad de interrupciones para la reparación o el mantenimiento, hasta la siguiente ejecución programada de su diagnóstico.

Los objetivos generales del diagnóstico técnico son:

1. Elevación de la fiabilidad y la seguridad de funcionamiento del artículo durante la explotación, gracias a la detección oportuna de los desperfectos y a la prevención de los fallos de sus mecanismos, sistemas o piezas.
2. Aumento de la durabilidad y reducción del consumo de piezas de repuesto, por la disminución de los casos de desmontaje prematuro de los elementos para ser reparados y por la reducción del ritmo del desgaste debido a que no trabajarán con desperfectos.
3. Reducción de los gastos laborales para ejecutar el mantenimiento, gracias a la disminución del volumen de reparaciones eventuales y operaciones innecesarias del mantenimiento planificado.
4. Disminución del consumo de materiales de explotación (combustibles, lubricantes, agua, líquidos técnicos, etc.) gracias a la posibilidad de descubrir y eliminar todos los defectos difíciles de detectar en los sistemas que influyen en dichos consumos.
5. Elevación de la calidad del mantenimiento y, consecuentemente, la reducción de los costos de explotación.

Además de la reducción de los gastos en mantenimiento, el efecto por la utilización del diagnóstico, es decir, por la valoración individual del estado técnico y las propiedades de los artículos, se manifiesta en una mayor utilización de la capacidad de trabajo de ellos debido a un abastecimiento más exacto de información, planificación y organización de las diferentes actividades del servicio técnico. La experiencia demuestra que como resultado de la introducción del diagnóstico después de algún

tiempo de utilización de los artículos disminuye el coeficiente de variación de los recursos. Esto demuestra que el diagnóstico representa uno de los factores fundamentales para el desarrollo del mantenimiento. En la siguiente tabla se muestran como, con la utilización del diagnóstico se logran reducir los costos en mantenimiento para el caso de los automóviles.

Tabla 2: Comparación de los gastos entre los distintos tipos de mantenimiento debido a la aplicación del diagnóstico.

Estrategia	Mantenimiento	Mantenimiento Preventivo		Mantenimiento
Elementos	Correctivo	Prev.-Planificado	Con diag. intercalado	Predictivo.
Tipo de información.	Subjetiva	Estadística	De diagnóstico (periódica)	De diagnóstico (ininterrumpido)
Tipo de actividad.	De pedido	Mantenimiento reglamentado	Diagnóstico preventivo	Diagnóstico incorporado y mantenimiento por necesidad
Gastos calculados. (en % de los máximos)	100%	66%	55%	20%

De forma general, el diagnóstico técnico puede ser clasificado según se muestra en la siguiente figura:

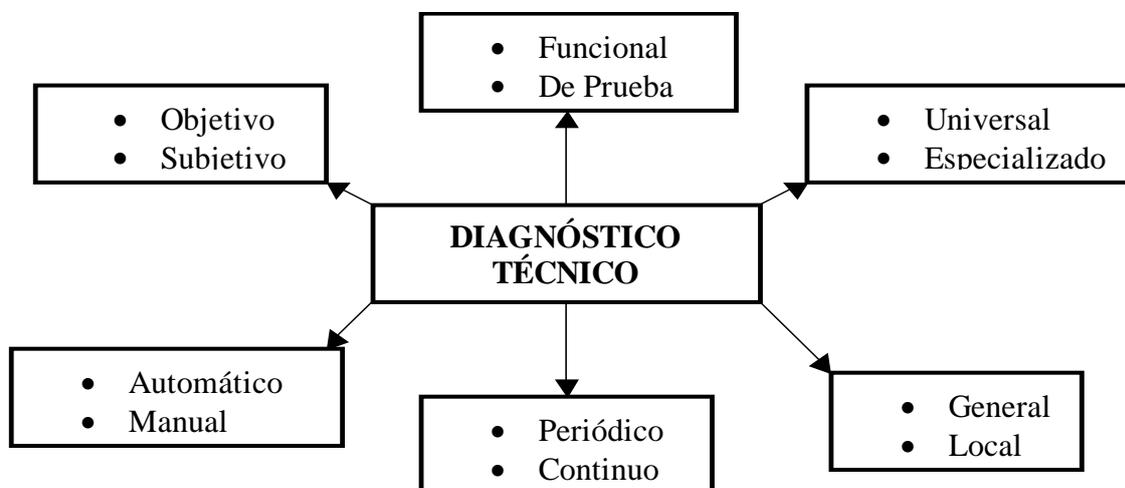


Fig. 13: Clasificación del diagnóstico técnico.

El diagnóstico Subjetivo es aquel donde no se utilizan solamente medios técnicos de diagnóstico, sino también las posibilidades subjetivas del hombre, sus órganos de sentido, experiencia y hábitos, utilizándose en casos sencillos. Por su parte, en el diagnóstico Objetivo se utilizan solamente medios técnicos, siendo utilizado en casos complejos.

El diagnóstico Funcional es cuando se ejecuta durante el proceso de trabajo del artículo a diagnosticar y de Prueba cuando, durante la medición de los parámetros de diagnóstico, el funcionamiento (trabajo) del artículo se realiza artificialmente.

El diagnóstico Universal es cuando está destinado para varios procesos de diagnóstico diferentes y Especializado cuando garantizan solamente un solo proceso.

El diagnóstico General es aquel en el cual se da una conclusión general del artículo en su conjunto y su destino es definir si el estado técnico del mismo "sirve" o "no sirve". Por su parte el diagnóstico Local se utiliza para diagnosticar las partes componentes del artículo (agregado, sistemas, conjuntos, piezas.).

El diagnóstico Periódico se realiza después de un determinado período de labor del artículo según una periodicidad establecida anteriormente. El diagnóstico Continuo se efectúa de forma ininterrumpida con ayuda de medios de diagnóstico incorporados.

Según el tipo de medio de diagnóstico este puede clasificarse en Manual, por ejemplo, cuando se emplean equipos de diagnóstico portátiles o Automatizado, por ejemplo, cuando se emplean equipos para realizar el monitoreo continuo.

2.5.3- Parámetros de diagnóstico.

El estado técnico de un artículo está determinado por sus parámetros estructurales, los cuales pueden ser caracterizados por magnitudes físicas y, a pesar de ser estos los que caracterizan el estado técnico, los mismos no son adecuados para realizar el diagnóstico debido a las siguientes razones:

Para medir los parámetros estructurales por lo general hay que desarmar, lo cual no tiene sentido por la propia esencia del diagnóstico y porque, además, dicho desarme reduce considerablemente la vida útil del artículo.

El valor de un parámetro de estructural dado no define en sí el estado técnico del artículo, es decir, si se toma un grupo grande de artículos en un instante cualquiera de la explotación y se le mide, por ejemplo la holgura de algún cojinete, se comprobará que algunos funcionan perfectamente con valores de esta holgura que exceden las normas, mientras que otros, con holguras fuera de las magnitudes normadas, funcionan defectuosamente. Ello se debe a que el estado técnico y, por tanto, el trabajo de un artículo, no depende de un solo parámetro estructural, sino de la interacción de un gran conjunto de ellos, o sea, del trabajo acoplado de los diferentes elementos componentes de dicho artículo.

Para garantizar que la mayoría de los artículos en explotación no fallen durante el trabajo, el valor límite del parámetro estructural debe tomarse relativamente bajo. Generalmente se parte de que el valor límite debe garantizar una probabilidad de trabajo sin fallos alta ($\geq 90\%$). Entonces, al ejecutar el diagnóstico se ha de concluir que aquellos artículos que superen o estén muy cercanos a este valor deberán ser reparados, lo cual, puede resultar innecesario en una cantidad considerable de casos. De esta forma el recurso de gran parte de los artículos no será aprovechado al máximo, lo cual significa una pérdida de envergadura y una evidente contradicción con los propios objetivos del diagnóstico técnico.

Estos argumentos no excluyen la posibilidad de emplear ciertos parámetros estructurales para realizar el diagnóstico de ciertos artículos, utilizándose cuando no se

presentan las condiciones antes analizadas y, por ende, se puede valorar, con la suficiente objetividad y precisión, el estado técnico del mismo.

Debido a las limitaciones que tiene el empleo directo de los parámetros estructurales para diagnosticar el estado técnico se impone la necesidad de que dichos parámetros sean evaluados de forma indirecta, para lo cual se utiliza la información que brindan los procesos de salida de los diferentes mecanismos, sistemas y conjuntos del artículo. Entiéndase por procesos de salida de un artículo a los procesos físicos y químicos que surgen y se desarrollan en el tiempo durante el trabajo del mismo, es decir, durante el funcionamiento e interacción de éste con el medio ambiente, y que se manifiestan en el exterior de dicho artículo, de manera tal que pueden ser observados y medidos.

Los procesos de salida pueden ser Fundamentales o de trabajo, determinados por las funciones específicas para las cuales ha sido creado el artículo y Complementarios o parásitos, los cuales acompañan inevitablemente el funcionamiento del artículo y cuya acción es inútil en general (generación de calor, ruidos, vibraciones, etc.).

Esta claro entonces que, el comportamiento de los procesos de salida de un artículo cualquiera está determinado por el estado técnico del mismo, razón por la cual dichos procesos pueden ser empleados en calidad de síntomas o señales de diagnóstico de dicho artículo. A su vez, cada proceso de salida puede ser valorado o medido por magnitudes concretas, las cuales se denominan Parámetros de Diagnóstico.

La posibilidad de emplear los parámetros de diagnóstico para valorar el estado técnico de un artículo puede apreciarse claramente en un conjunto tan simple como el par muñon-cojinete. El carácter de la interacción de estos dos elementos está determinado por sus parámetros estructurales y, básicamente, por la holgura radial entre dichos elementos. A medida que ésta aumenta, el proceso de salida fundamental del par (rotación continua y armónica del árbol) se altera, comienza a producirse el desplazamiento radial y axial del muñón dentro del cojinete, lo cual provoca golpes, vibraciones, aumento de la temperatura, etc., es decir, procesos complementarios. De manera que el valor concreto de la holgura en un momento dado determina los valores de los parámetros de los procesos de salida de este par (temperatura, amplitud de las vibraciones, etc.), los cuales, a su vez, al ser medidos dan la información indirecta sobre esta holgura sin necesidad de desmontar el par, lo que constituye la esencia del diagnóstico técnico.

Por tal motivo podemos plantear que existe una relación entre los parámetros estructurales y los parámetros de diagnóstico, la cual puede verse en la siguiente figura.

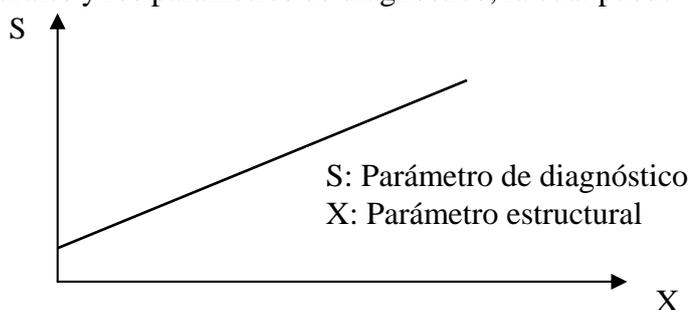


Fig. 14: Relación entre el parámetro estructural (X) y el parámetro de diagnóstico (S).

Este gráfico reviste especial importancia para la explotación de los artículos, pues con él podemos determinar el valor del parámetro estructural a partir del valor del parámetro de diagnóstico. Sin embargo, la obtención de dicho gráfico requiere de una investigación muy larga y costosa, con el consiguiente desarme frecuente del artículo. Por tal motivo, en la práctica es preferible trabajar con la variación del parámetro de diagnóstico en función de la labor (tiempo de trabajo o recorrido) del artículo (figura 15), pues en este caso se requiere de una investigación menos costosa que el caso anterior y no es necesario desarmar frecuentemente.

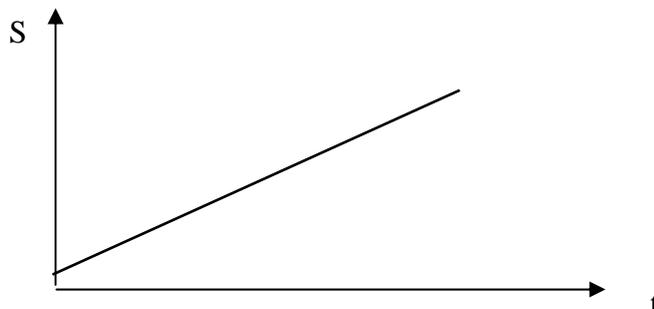


Fig. 15: Variación del parámetro de diagnóstico (S) en función del tiempo.

Los parámetros de diagnóstico, al igual que los parámetros estructurales, tienen un valor nominal (S_n) y un valor límite (S_L), variando de forma aleatoria en la medida que aumenta la labor.

Es válido aclarar que en algunos casos no se usa el valor concreto del parámetro de diagnóstico, sino su primera o segunda derivada, o sea, la velocidad o la aceleración de su variación, con el objetivo de aumentar la certeza y exactitud del proceso de evaluación del estado técnico. Por ejemplo, al emplear como señal de diagnóstico las vibraciones o el ruido, no se mide la amplitud de las oscilaciones en sí, sino la velocidad o aceleración con que cambia dicha amplitud.

Algunas magnitudes relativamente estables, tales como holguras, calentamientos, etc., pueden ser empleadas en calidad de parámetros de diagnóstico. De igual forma, pueden ser usados como parámetros de diagnóstico las magnitudes características de procesos cíclicos que varían de forma muy rápida, tales como oscilaciones del voltaje, vibraciones en transmisiones, etc.

2.5.4- Normativas del diagnóstico.

Para poder realizar la valoración cuantitativa del estado técnico de un artículo de acuerdo con la medición instantánea de los parámetros de diagnóstico, es necesario contar con valores normativos que permitan dar una conclusión precisa sobre el particular. Tales normativas son:

- Valor nominal del parámetro de diagnóstico (S_n).
- Valor límite del parámetro de diagnóstico (S_L).
- Valor preventivo del parámetro de diagnóstico (S_p).
- Periodicidad del diagnóstico (t_d).

En la siguiente figura se muestra la formación de las normativas del diagnóstico, partiendo de un comportamiento lineal del parámetro de diagnóstico.

El objetivo principal del establecimiento de las normativas de diagnóstico es la determinación de la capacidad de trabajo del artículo en un momento dado mediante la comparación del valor instantáneo (S_i), obtenido durante la medición, con su valor límite (S_L) y la realización del pronóstico de su aptitud para el trabajo en el período correspondiente a la labor (t_d) hasta la próxima ejecución del diagnóstico, mediante la comparación de (S_i) con el valor preventivo (S_p).

A fin de garantizar que los valores instantáneos medidos sean comparables con las normativas, estas últimas se establecen para determinados regímenes de trabajo (carga, velocidad, térmico, etc.).

Atendiendo al tipo de artículo, las normativas de diagnóstico pueden ser clasificadas en tres grandes grupos: las establecidas por las normas estatales, las recomendadas por el fabricante y las determinadas en la explotación. Las normativas estatales se refieren fundamentalmente a los sistemas y mecanismos de los cuales depende la seguridad del artículo, así como también a aquellos que provocan ruidos, vibraciones y la contaminación del medio ambiente. Por regla general estos parámetros pueden ser medidos de forma directa y sencilla, empleando medios de fácil manipulación. Las normativas recomendadas por el fabricante están vinculadas fundamentalmente con las tolerancias que se establecen para ciertos parámetros estructurales en la etapa de fabricación del artículo y con los indicadores óptimos de fiabilidad y economía del mismo. Estas normativas se establecen al diseñar los mecanismos y se corrigen finalmente mediante ensayos de laboratorio y pruebas de explotación de prototipos. Por último, las normativas determinadas en la explotación están referidas principalmente a aquellos mecanismos y conjuntos cuyo estado no influye en la seguridad del artículo, pero contribuye a elevar los costos de la explotación. La característica principal de este grupo de parámetros consiste en que resulta imposible establecerlos de forma general para cualquier condición de explotación, como en los dos primeros casos, debido a que los procesos físicos que tienen lugar durante el funcionamiento del artículo no son uniformes al variar dichas condiciones.

Cuando el parámetro de diagnóstico varía monótonamente respecto a la labor, en lugar de utilizar el valor límite (S_L) del mismo, se emplea su valor preventivo (S_p), el cual se establece para garantizar que durante la labor (t_d) entre mantenimientos no tenga lugar el desperfecto del artículo, estando expresado este valor como:

$$S = S_n + a * t^\alpha \quad (21)$$

donde:

a: intensidad de variación del parámetro de diagnóstico.

α : carácter de variación del parámetro respecto a la labor.

Si la variación del parámetro de diagnóstico fuese lineal respecto a la labor, puede plantearse que:

$$S_p = S_L - \Delta S \quad (22)$$

$$S_p = S_i - a * t_d \quad (23)$$

Sin embargo, resulta imposible establecer un valor único del valor preventivo (S_p) para todos los artículos, que garantice trabajar sin fallos durante la labor (t_d) y, al mismo tiempo, un máximo aprovechamiento del recurso de los mismos. Esto se debe a que la intensidad de variación del parámetro de diagnóstico se manifiesta de forma diferente en cada artículo por ser una magnitud aleatoria. Por tal razón, resulta más conveniente determinar el valor preventivo (S_p) correspondiente a una periodicidad de ejecución del diagnóstico (t_d), a partir de determinados criterios, como se analizará más adelante.

2.5.5- Establecimiento de los parámetros de diagnóstico.

Cualquier artículo técnico puede caracterizarse por una gran cantidad de parámetros de diagnóstico, sin embargo en la práctica resulta ineficiente emplearlos todos por razones de tiempo y economía.

Es un hecho real que el mantenimiento predictivo se realiza según la carta de diagnóstico y, en esta carta aparecen cuáles son los parámetros a medir. Es por tanto imprescindible, para la correcta organización de este tipo de mantenimiento, establecer los parámetros necesarios y suficientes para valorar correctamente el estado técnico del artículo.

Para llevar a cabo esta tarea se recomienda desarrollar la siguiente metodología:

1. Construcción del esquema estructural.
2. Análisis de las propiedades de los parámetros de diagnóstico.
3. Eliminación de los parámetros no estables o con poco nivel de información.
4. Confección de la carta de diagnóstico.

1- Construcción del esquema estructural.

Para poder valorar el estado técnico de un artículo resulta necesario conocer la relación que existe entre los parámetros de diagnóstico y los parámetros estructurales. En principio, la selección de los parámetros de diagnóstico más adecuados para evaluar el estado técnico de un artículo se lleva a cabo con ayuda del esquema estructural del mismo, el cual muestra el vínculo existente entre los elementos componentes del artículo y sus parámetros estructurales críticos o desperfectos asociados a los mismos, y entre estos últimos y los parámetros de diagnóstico.

Para la construcción del esquema estructural se parte de establecer, en el primer nivel, el objeto (artículo) de análisis. Posteriormente, en el segundo nivel se ubican los elementos componentes de dicho artículo y, en el tercer nivel los parámetros estructurales o desperfectos de cada uno de los elementos componentes. Analizando las posibilidades de las técnicas de diagnóstico existentes se ubican, en el cuarto nivel, los posibles parámetros de diagnóstico que caracterizan al artículo. Por último se pasa a relacionar cada parámetro de diagnóstico con los parámetros estructurales. En la siguiente figura se muestra un ejemplo sencillo de esquema estructural de un sistema formado por (n) elementos, donde el elemento (1) está caracterizado por tres parámetros estructurales (X_1 , X_2 y X_3), el elemento dos por el parámetro estructural (X_4) y el elemento (n) por el parámetro estructural (X_m). El

estado técnico del sistema puede valorarse a partir de los parámetros de diagnóstico ($S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, \dots, S_n$). En la figura se puede ver la relación que existe entre los parámetros de diagnóstico y los parámetros estructurales.

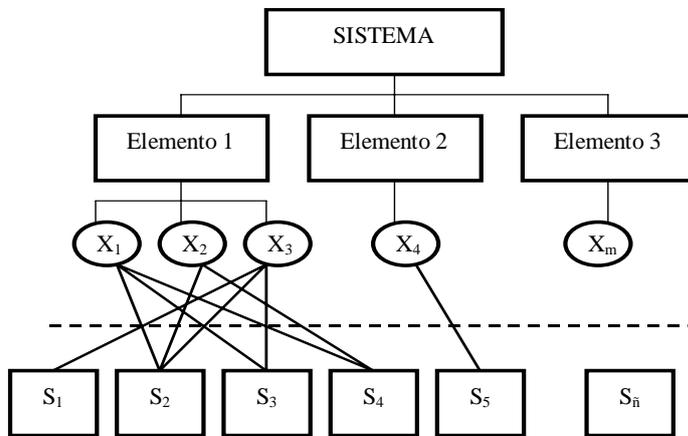


Fig. 17: Ejemplo del esquema estructural de un sistema compuesto por (n) elementos, el cual está caracterizado por (X_m) parámetros estructurales y (S_n) parámetros de diagnóstico.

2- Análisis de las propiedades de los parámetros de diagnóstico.

Como no todos los posibles parámetros de diagnóstico que pueden caracterizar el estado técnico de un artículo se emplean durante la ejecución del mantenimiento predictivo se hace necesario establecer cuáles se emplean y cuáles no y, para tomar tal decisión es necesario analizar las propiedades fundamentales de cada uno de los parámetros de diagnóstico.

Las propiedades más importantes que caracterizan a los parámetros de diagnóstico son la Sensibilidad, la Singularidad y la Estabilidad. Veamos en qué consiste cada una de ellas.

1- Sensibilidad.

Se dice que un parámetro de diagnóstico es sensible cuando una pequeña variación del parámetro estructural provoca una variación, lo más grande posible, del parámetro de diagnóstico. Cuando esto sucede se dice que dicho parámetro de diagnóstico es muy informativo. La siguiente figura muestra ejemplos de variación de los parámetros de diagnóstico respecto a los parámetros estructurales.

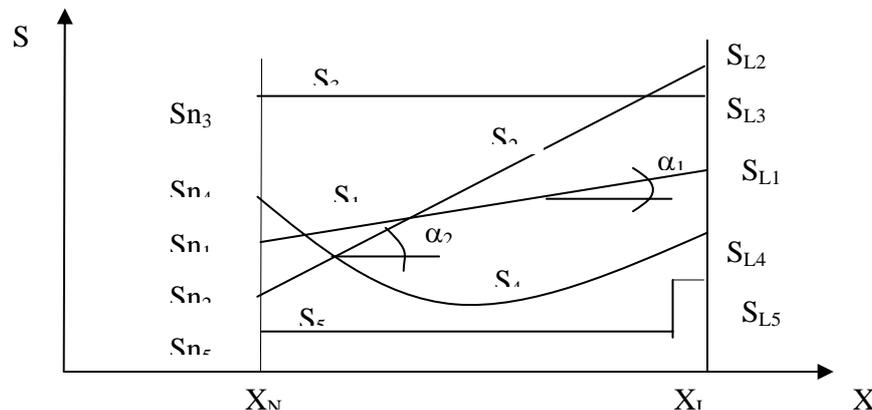


Fig 18: Ejemplos de variación de los parámetros de diagnóstico respecto a los parámetros estructurales

Al analizar las formas en que varía el parámetro de diagnóstico en función del parámetro estructural, se observan las siguientes particularidades:

- La pendiente de la curva $S = f(x)$ caracteriza el nivel de información que brinda el parámetro de diagnóstico, es decir, la sensibilidad de éste. De tal manera, la señal (S_2) es mejor que la (S_1), ya que para una misma variación del parámetro estructural (ΔX) la pendiente (α_2) es mucho mayor que (α_1).
- Existen señales, como (S_3), que permanecen inalterables al variar el valor del parámetro estructural, por lo que son inútiles para el diagnóstico aunque tengan una relación estrecha en el esquema estructural.
- Las señales del tipo (S_4) tampoco tienen utilidad para ser usadas como parámetros de diagnóstico, ya que carecen de singularidad, es decir, sus valores instantáneos corresponden a más de un valor del parámetro estructural, de manera que la conclusión del diagnóstico sería imprecisa en este caso.
- Las señales de tipo escalón, como la (S_5), la cual permanece constante hasta alcanzar cierto nivel de estado técnico, momento en que varía bruscamente, lo cual es un indicio claro del surgimiento de algún desperfecto o de un estado previo al fallo, se aprecian mucho en el diagnóstico. En muchos casos, señales como S_1 y S_2 se convierten en señales de escalón utilizando dispositivos estimuladores.

Por otra parte, esta propiedad es fundamental cuando se realiza el diagnóstico general, es decir, cuando se revela el buen o el mal estado técnico del artículo completo. En este caso el análisis se realiza a partir de las densidades de la distribución del parámetro de diagnóstico, correspondiendo la función (f_1) al buen estado y la función (f_2) al estado defectuoso, según se aprecia en la siguiente figura:

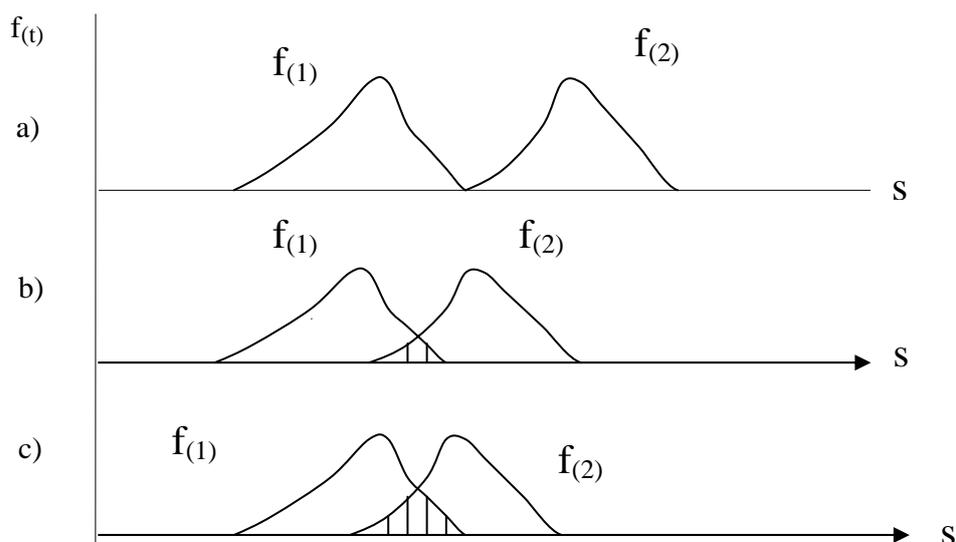


Fig 19: Análisis del nivel de información del parámetro de diagnóstico.

En el caso (a) el parámetro de diagnóstico es Informativo, pues está bien delimitado el buen y el mal estado. En el caso (b) el parámetro es Poco Informativo, pues existe una zona en la cual no se puede establecer el verdadero estado técnico del artículo. En el caso (c) el parámetro de diagnóstico es No Informativo ya que existe un solapamiento, casi total, de los dos estados.

2- Singularidad.

En general, un parámetro de diagnóstico es función de varios parámetros estructurales, lo cual puede expresarse como:

$$S = f(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (24)$$

El carácter de las relaciones que existen entre los parámetros de diagnóstico y los estructurales determina el nivel de información que dan los primeros sobre el estado técnico del artículo y predetermina el método de procesamiento de esa información al ejecutar el diagnóstico.

La relación más idónea entre estos parámetros es cuando se cumple que $S = f(X_i)$, es decir, cuando el parámetro de diagnóstico depende solamente de un parámetro estructural, en cuyo caso la conclusión del diagnóstico es mucho más fidedigna, efectiva y sencilla.

La singularidad, como propiedad, está relacionada con lo antes expuesto, o sea, que cada parámetro de diagnóstico esté relacionado con un solo parámetro estructural.

3- Estabilidad.

Al seleccionar una señal dada para el diagnóstico debe tenerse en cuenta la dispersión de sus valores concretos respecto al comportamiento medio. La estabilidad del parámetro de diagnóstico se determina por la variación de sus valores durante mediciones sucesivas para una misma magnitud del parámetro estructural correspondiente, es decir, la estabilidad expresa la dispersión del valor del parámetro de diagnóstico medido.

La siguiente figura muestra la comparación entre dos parámetros de diagnóstico respecto a esta propiedad.

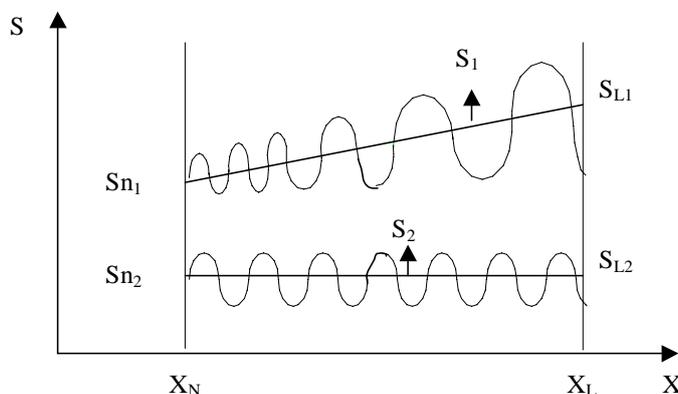


Fig 20: Estabilidad del parámetro de diagnóstico

En la figura se aprecia que el parámetro (S_1) es más sensible que el parámetro (S_2). Sin embargo, es recomendable seleccionar el parámetro (S_2) para realizar el diagnóstico, pues éste es mucho más estable que (S_1), es decir, sus valores tienen una menor dispersión.

3- Eliminación de los parámetros no estables o con poco nivel de información.

Una vez analizada las propiedades de cada uno de los parámetros de diagnóstico posibles a emplear en este tipo de mantenimiento se procede a eliminar aquellos que sean poco informativos y los no estables. Para esto es necesario poseer la información básica sobre cada parámetro de diagnóstico.

4- Confección de la carta de diagnóstico.

Una vez que se tengan los parámetros de diagnóstico a utilizar para diagnosticar el artículo se procede a confeccionar la carta de diagnóstico, la cual constituye el documento rector de esta actividad del servicio técnico. De forma general la carta de diagnóstico tendrá la siguiente estructura.

Nro	Parámetro a controlar	Instrumento de medición	Método de control	Normativas			Medición (Si)	Observaciones e indicaciones
				S_N	S_p	S_L		
1	S_1							
2	S_2							
.	.							
n	S_n							

Fig. 21: Elementos básicos de la Carta de Diagnóstico.

Es importante señalar que en la columna correspondiente a parámetros a controlar los parámetros de diagnóstico deben ordenarse siguiendo uno de estos criterios:

- Colocar primero los parámetros generales y luego los locales
- Interrelacionar los parámetros de diagnóstico. Por ejemplo, primero los que caracterizan al diagnóstico subjetivo, luego los característicos del trabajo en frío del artículo, después los del trabajo en caliente o con carga, etc.)

En el anexo B se muestra la carta de diagnóstico a utilizar para el caso del transporte automotor.

2.5.6- Conclusión del diagnóstico.

La conclusión del diagnóstico de un artículo dado consta de dos aspectos estrechamente relacionados, a saber: la determinación de la disposición técnica instantánea de dicho artículo y el pronóstico de su recurso de trabajo sin fallos.

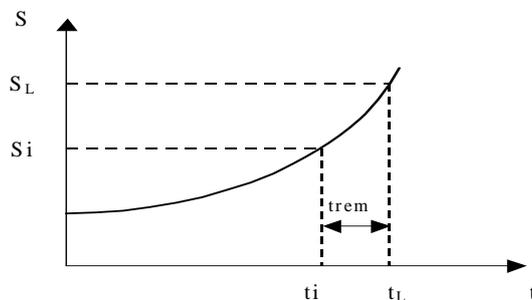


Fig 22: Estado técnico real y pronóstico de trabajo sin fallo de un equipo.

La determinación de la disposición técnica instantánea consiste en comparar el valor del parámetro de diagnóstico (S_i) en un momento dado con su correspondiente valor límite (S_L), como resultado de lo cual se concluye que el artículo necesita algún tipo de acción correctiva o si está apto para seguir siendo explotado. En este último caso se hace necesario precisar si el artículo en cuestión habrá de trabajar sin fallos hasta la siguiente ejecución planificada del diagnóstico y, por consiguiente, si es preciso para ello realizar algún tipo de acción preventiva, lo cual se determina mediante el pronóstico.

El pronóstico del trabajo sin fallos, por su parte, consiste en la determinación de la labor que podrá realizar el artículo hasta la aparición de su estado límite o en la determinación de la probabilidad que tiene de trabajar sin fallar en una labor (t_d) previamente establecida. En el primer caso el pronóstico permite establecer la periodicidad del diagnóstico (t_d) o el recurso remanente ($trem$) del artículo dado, mientras que en el segundo caso, da la posibilidad de verificar la operatividad del artículo durante la labor prevista.

La conclusión del diagnóstico consiste, entonces, en la comparación de los parámetros medidos con sus normativas correspondientes.

Por su parte, la lógica de la conclusión del diagnóstico consiste en establecer el estado técnico más probable y lógico dentro de un conjunto de posibles variantes.

Si, por ejemplo, se valora el estado técnico de un artículo a partir de un solo parámetro de diagnóstico, el cual varía de acuerdo con alguna función conocida, tendremos tres posibles variantes de conclusión, a saber:

- Cuando el valor instantáneo es menor que el valor preventivo, o sea, $S_i < S_p$. En este caso el artículo está en condiciones de seguir trabajando hasta la próxima revisión (de acuerdo con el pronóstico) sin que sea necesario hacerle ningún tipo de trabajo.
- Cuando el valor instantáneo se encuentra entre el valor preventivo y el límite, o sea, $S_p < S_i < S_L$. Aquí se hace necesario realizar trabajos profilácticos

(preventivos), pues de seguro el artículo alcanzará el estado límite antes de la próxima acción programada.

- Cuando el valor instantáneo supera el valor límite, o sea, $S_i > S_L$. La única conclusión posible en este caso consiste en que el artículo necesita la ejecución de acciones correctivas, pues ha sobrepasado su estado límite.

Por otra parte, si la señal que se utiliza es del tipo discreto (como por ejemplo las señales de escalón), entonces existen dos posibles variantes de conclusión del diagnóstico, a saber:

- Cuando $S_i < S_L$, estando el artículo técnicamente disponible.
- Cuando $S_i > S_L$, estando el artículo necesitado de mantenimiento.

En este caso debe escogerse el valor límite (S_L) de tal forma que asegure el funcionamiento sin fallos del artículo durante la labor (td).

Ahora bien, cuando los desperfectos (parámetros estructurales) del artículo se manifiestan a través de la variación de más de un parámetro de diagnóstico, que dicho sea de paso es el caso que más se presenta en la práctica, la cantidad posible de variantes de conclusión de diagnóstico aumenta, lo que dificulta la adopción de una de ellas.

Por ejemplo, la alteración del ángulo de avance al encendido, parámetro estructural de un motor de combustión interna, provoca la disminución de la potencia, el aumento del consumo de combustible, el aumento del contenido de CO en los gases de escape, etc., todos ellos parámetros de diagnóstico de dicho motor. Esta dificultad se acentúa más por el hecho de que diferentes desperfectos pueden provocar la alteración de los mismos parámetros de diagnóstico, por ejemplo, el desgaste de los cilindros y el atascamiento de los aros provocan las mismas alteraciones citadas anteriormente.

El método más usado para resolver este problema consiste en el empleo de la matriz de diagnóstico, la cual describe la relación que existe entre los parámetros estructurales y los parámetros de diagnóstico cuando se alcanzan los valores admisibles normados. Es por tanto la matriz de diagnóstico el elemento idóneo para dar una conclusión precisa del estado técnico de un artículo en la que se identifica un desperfecto a partir de los parámetros de diagnóstico.

El fundamento de la matriz de diagnóstico es el siguiente. En el proceso de diagnóstico se obtiene la información sobre (m) parámetros de diagnóstico que dependen de (n) parámetros estructurales (desperfectos), de manera que puede plantearse lo siguiente:

$$\begin{aligned}
 S_1 &= \varphi(X_1, X_2, \dots, X_n) \\
 S_2 &= \varphi(X_1, X_2, \dots, X_n) \\
 &\cdot \\
 &\cdot \\
 S_m &= \varphi(X_1, X_2, \dots, X_n)
 \end{aligned}
 \tag{25}$$

Sin embargo, el interés básico de la conclusión del diagnóstico consiste en determinar las relaciones inversas, es decir, identificar un desperfecto a partir de los parámetros de diagnóstico, o sea:

$$\begin{aligned}
 X_1 &= \varphi(S_1, S_2, \dots, S_m) \\
 X_2 &= \varphi(S_1, S_2, \dots, S_m) \\
 &\cdot \\
 &\cdot \\
 X_m &= \varphi(S_1, S_2, \dots, S_m)
 \end{aligned}
 \tag{26}$$

Estas relaciones pueden ser expresadas como un sistema de ecuaciones lineales de primer orden, o sea:

$$\begin{aligned}
 X_1 &= a_{11} * S_1 + a_{12} * S_2 + \dots + a_{1j} * S_j + \dots + a_{1m} * S_m \\
 X_2 &= a_{21} * S_1 + a_{22} * S_2 + \dots + a_{2j} * S_j + \dots + a_{2m} * S_m \\
 &\cdot \\
 X_i &= a_{i1} * S_1 + a_{i2} * S_2 + \dots + a_{ij} * S_j + \dots + a_{im} * S_m \\
 X_n &= a_{n1} * S_1 + a_{n2} * S_2 + \dots + a_{nj} * S_j + \dots + a_{nm} * S_m
 \end{aligned}
 \tag{27}$$

Para determinar los valores de los coeficientes a_{ij} , que establecen la relación que existe entre los parámetros estructurales y los parámetros de diagnóstico se parte de que para dar una conclusión del diagnóstico del artículo no interesa conocer la relación matemática entre estos parámetros, sino su vinculación lógica o física. De tal manera, si en el esquema estructural se aprecia que no existe vínculo alguno entre el desperfecto (X_i) y la señal (S_j), entonces el coeficiente $a_{ij} = 0$ y si existe vínculo, entonces $a_{ij} = 1$.

Como resultado de la selección de los parámetros de diagnóstico más representativos de los diferentes desperfectos del artículo sobre las bases expuestas, la matriz de diagnóstico tendrá la siguiente forma:

S	X	X₁	X₂	X₃
S₁		0	0	1
S₂		1	1	1
S₃		0	1	1

Fig. 23: Ejemplo de una matriz de diagnóstico.

Para el caso de la matriz de diagnóstico, si existe relación entre el parámetro estructural y el parámetro de diagnóstico, esto se señala con un (1) en la casilla correspondiente, en caso contrario se coloca un (0). Es válido aclarar que en la matriz de diagnóstico los parámetros de diagnóstico se ubican en el mismo orden en que aparecen en la carta de diagnóstico.

Veamos varios ejemplos de cómo utilizar la matriz de diagnóstico en la conclusión de diagnóstico según lo mostrado en la figura (17), considerando solamente las relaciones existentes entre (X) y (S) del elemento 1.

Según este esquema tenemos tres desperfectos y cuatro parámetros de diagnóstico, quedando la matriz de diagnóstico de la siguiente forma:

	X_1	X_2	X_3
S_1	0	0	1
S_2	1	1	1
S_3	1	0	1
S_4	1	1	0

Fig. 24: Matriz de diagnóstico.

Consideraciones:

- Siempre se comparará el valor instantáneo del parámetro de diagnóstico (S_i) con el valor límite (S_{L_i}).
- Siempre que el parámetro de diagnóstico alcance el valor límite ocurrirá el desperfecto (x) correspondiente al vínculo ya establecido.

CASO A.

Si como resultado de las mediciones se detecta que solo el parámetro de diagnóstico (S_1) supera el valor límite ($S_1 > S_{L1}$), entonces la conclusión más lógica de diagnóstico es que se está en presencia del desperfecto (X_3), pues es el único que se relaciona con (S_1).

CASO B.

Como resultado de las mediciones solo los parámetros (S_2) y (S_4) superan el valor límite, o sea, ($S_2 > S_{L2}$) y ($S_4 > S_{L4}$). En este caso estaremos en presencia del desperfecto (X_2), pues como (S_1) y (S_3) están dentro de los valores admisibles, entonces los desperfectos (X_1) y (X_3) se descartan.

CASO C.

Supongamos que por razones de tiempo y economía sólo se miden los parámetros (S_2) y (S_3) y ambos superan las normativas límites (S_{2L}) y (S_{3L}). En este caso no se podrá dar una conclusión precisa del diagnóstico, pues existen dos desperfectos posibles, (X_1) y (X_3). En este caso se tendrá necesariamente que medir otro parámetro de diagnóstico para poder brindar una conclusión exacta. Al medir el parámetro (S_4), por ser más sencillo y barato, la conclusión será que el desperfecto es (X_1), si el valor de (S_4) supera el límite ($S_4 > S_{4L}$), o el desperfecto será (X_3), si sucede lo contrario.

En la práctica la matriz de diagnóstico de un artículo puede tener varias decenas de filas y columnas, si tenemos en consideración los vínculos que pueden existir entre los parámetros estructurales y los parámetros de diagnóstico, por lo que el análisis de las propiedades de ellos contribuirá a reducir la cantidad de parámetros de diagnóstico que es preciso medir para detectar los desperfectos, lo cual permite economizar tiempo y recursos para ejecutar el diagnóstico.

La matriz de diagnóstico constituye el fundamento de la automatización del diagnóstico de los artículos empleando para ello computadoras, método que se emplea en muchos países debido a la reducción de los costos de explotación que permite cuando existen las condiciones creadas para su aplicación.

2.5.7- Cálculo de la periodicidad del mantenimiento predictivo.

No cabe dudas sobre las ventajas que tiene la implantación del mantenimiento predictivo en las Empresas debido a la reducción de los costos de explotación y al aumento de la disponibilidad, fiabilidad y seguridad en el funcionamiento de los artículos. Sin embargo, a la hora de organizar este tipo de mantenimiento la gran disyuntiva que se presenta está relacionada con la periodicidad de su ejecución, es decir, en que momento se debe hacer. Para solucionar esto existen varios métodos, de los cuales, analizaremos solo los más empleados.

De las normativas del diagnóstico es el valor preventivo el que define el momento de intervenir en el artículo con el objetivo de evitar el surgimiento del fallo, ya sea con acciones correctivas o preventivas, existiendo una relación entre este valor y la periodicidad del diagnóstico (expresión 23).

De acuerdo con la formación de las normativas del diagnóstico (figura 15) tendríamos que realizar el diagnóstico antes de que se alcance el estado límite, con una periodicidad establecida anteriormente, ya que de no hacerse de esta forma el artículo fallará antes del próximo mantenimiento, pues habrá sobrepasado su estado límite. Pero detengámonos a analizar una cuestión muy importante. Es una práctica habitual que, para un mismo grupo de artículos, se asuma un valor único de periodicidad (t_d) y una normativa preventiva común para todos ellos. Sin embargo, resulta ilógico establecer un valor único de la normativa preventiva (S_p) para todos los artículos, la cual garantice trabajar sin fallos durante la labor (t_d) y, al mismo tiempo, un aprovechamiento máximo del recurso de los mismos. Esto se debe a que la intensidad de variación del parámetro se manifiesta de forma diferente en cada artículo por ser una magnitud aleatoria. Aclaremos esto con la ayuda de la siguiente figura.

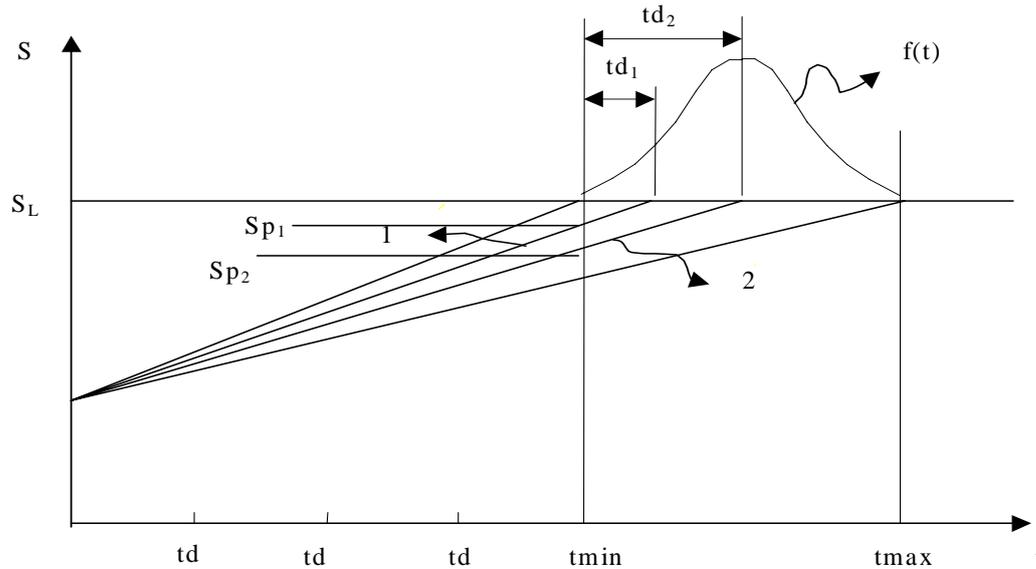


Fig 25: Dispersión de las mediciones del parámetro de diagnóstico respecto al tiempo y donde aparece la función de densidad.

Esta figura representa el comportamiento del parámetro de diagnóstico respecto al tiempo para un conjunto de artículos similares y donde se refleja la función de densidad de aparición del fallo. Obsérvese que dicha función de densidad ($f(t)$) se encuentra enmarcada entre dos valores de tiempo; un tiempo mínimo ($t_{mín}$), el cual representa el tiempo en que aparece el fallo en el primer artículo, y por ende, representará el valor a partir del cual cada artículo alcanza su valor preventivo y, un tiempo máximo ($t_{máx}$), relacionado con la aparición del mismo fallo en el último artículo de la muestra. Esto quiere decir que el fallo de todos los artículos ocurrirá, necesariamente, entre estos tiempos. Nótese que no todos los artículos alcanzan su estado límite en el mismo momento, es decir, fallarán en momentos diferentes.

Tomemos un artículo, cuyo parámetro de diagnóstico se comporta según (1). Donde se intercepta la curva que representa el comportamiento del parámetro de diagnóstico en función del tiempo con el valor de tiempo mínimo tenemos el valor del parámetro preventivo (S_{p1}), ya que a partir de este valor se corre el riesgo de que dicho artículo falle. Si prolongamos este comportamiento hasta que se alcance el valor límite del parámetro (S_L) obtenemos la periodicidad del diagnóstico (td_1) para el artículo en cuestión.

Veamos otro ejemplo. Un segundo artículo, donde el comportamiento del parámetro de diagnóstico en función del tiempo se comporta según (2) tendrá su valor preventivo (S_{p2}), el cual es menor que (S_{p1}) y, una periodicidad (td_2) mayor que (td_1).

Desde el comienzo de la explotación de los artículos, bajo este sistema de mantenimiento, se le van realizando diagnósticos según una periodicidad establecida y, nótese que, desde el inicio (0) hasta el valor de tiempo mínimo ($t_{mín}$) ningún artículo alcanza su estado límite, por lo que se están realizando operaciones de diagnóstico "sin sentido", recibiendo esta zona el nombre de "Zona de diagnóstico perdido", siendo solo de interés cuando se quiere conocer individualidades.

Por tales razones tanto la periodicidad de ejecución del diagnóstico (t_d), como el valor del parámetro preventivo (S_p) varían en cada caso. Mientras mayor sea la periodicidad del diagnóstico, lo que equivale a realizar menos intervenciones, el valor del parámetro preventivo será menor, para garantizar de esta forma que, durante el tiempo de trabajo la cantidad de fallos sea mínima.

Otros elementos que complican aún más el problema son los siguientes:

- El valor nominal del parámetro de diagnóstico es propio para cada artículo, es decir, no es igual en todos los artículos.
- Cada artículo posee su curva que caracteriza su comportamiento.
- Por lo general, los comportamientos de los parámetros de diagnóstico respecto a la labor no son lineales.
- La ley de distribución que rige el alcance del estado límite puede ser cualquiera.

Por todas estas razones determinar la periodicidad del diagnóstico es un gran compromiso, existiendo dos variantes posibles: hacer fijo el valor del parámetro preventivo y obtener diferentes valores de la periodicidad o, viceversa.

Resulta más conveniente determinar el valor del parámetro preventivo (S_p) correspondiente a una periodicidad de ejecución del diagnóstico (t_d) dada, existiendo para lograr esto varios métodos, siendo los más aplicados los siguientes:

1. De acuerdo con la fiabilidad del artículo.
2. De acuerdo con la variación del parámetro de diagnóstico.
3. Económico-probabilístico.

El método de pronóstico estadístico de acuerdo con la fiabilidad del artículo permite determinar la periodicidad del diagnóstico a partir de cierto nivel de probabilidad de trabajo sin fallos y equivale a un recurso γ dado. Este método es sencillo y práctico, pero al mismo tiempo resulta inexacto y poco económico como pronóstico individual, particularmente en aquellos casos en que la dispersión de los recursos de los artículos sea grande. Su empleo es racional cuando el sistema de mantenimiento no prevé la realización del diagnóstico.

El método de pronóstico individual de acuerdo con la variación del parámetro de diagnóstico (llamado también método de extrapolación) constituye uno de los más exactos y confiables, empleándose mayormente para artículos caros y complejos. Para poder aplicarlo es necesario conocer la función que describe el comportamiento del parámetro de diagnóstico respecto a la labor ($S(t)$), desde su valor inicial (S_n) hasta su valor límite (S_L), según se muestra en la siguiente figura (22).

A partir de esta función es posible determinar el recurso (total) del artículo diagnosticado (t_d), es decir, su labor hasta el estado límite como:

$$t_d = a \sqrt{\frac{S_L - S_n}{a}} \quad (28)$$

así como también el recurso remanente (trem) del mismo, o sea, la labor que aún puede realizar hasta la aparición del estado límite, luego de haber hecho una labor (ti):

$$trem = ti \left(\sqrt[\alpha]{\frac{S_L - S_n}{S_i - S_n}} \right) \quad (29)$$

Si se compara el valor del recurso remanente (trem) con la periodicidad establecida para la ejecución del diagnóstico (td), entonces se podrá concluir sobre la disposición técnica del artículo en ese momento, si (trem > td); o la necesidad de reparación del mismo, si (trem < td). Este procedimiento se aplica también empleando el valor preventivo (Sp) en lugar del límite (S_L).

A pesar de la exactitud que brinda este método, su aplicación práctica se dificulta por el hecho de que es necesario determinar el valor preventivo para cada artículo, ya que la realización individual del parámetro de diagnóstico es aleatoria.

Por otra parte, existe una relación directa entre el valor preventivo del parámetro de diagnóstico (Sp), la intensidad de variación del mismo (a), el valor límite (S_L) y la periodicidad de ejecución del diagnóstico. Considerando que la variación del parámetro de diagnóstico no es lineal y de acuerdo con la expresión (23) nos queda que:

$$Sp = a \left(\sqrt[\alpha]{\frac{S_L}{a} - td} \right) \quad (30)$$

Esto ratifica lo planteado anteriormente, es decir, que mientras mayor sea la periodicidad (td) el valor preventivo (Sp) será menor y viceversa. Todo esto se refleja además en los costos de explotación, por lo que la selección de los valores normados de estos parámetros deberán tener un fundamento económico.

El método de pronóstico económico-probabilístico de acuerdo con las realizaciones individuales del parámetro de diagnóstico permite determinar la periodicidad óptima del diagnóstico, la cual asegure que los costos totales necesarios en los que se incurren sean mínimos. Esta periodicidad óptima corresponde a la magnitud más racional del valor preventivo del parámetro de diagnóstico, teniendo en cuenta las diferencias que existen en el comportamiento individual de cada artículo en la explotación, es decir, la dispersión de las realizaciones del parámetro de diagnóstico de cada artículo respecto a la labor.

El método plantea que los costos específicos totales del mantenimiento predictivo es función de la periodicidad (td), es decir:

$$C_{esp. total} = f(td) \quad (31)$$

y donde estos costos sean mínimos tendremos la periodicidad óptima para ejecutar el diagnóstico, es decir:

$$C_{esp. total} \Rightarrow \text{mínimo} \Rightarrow t_{d_{\text{óptimo}}} \quad (32)$$

Este método es aplicable a máquinas y equipos de cualquier categoría, determinando los costos específicos totales como:

$$C_{esp. total} = C_{pd} + C_{vup} + C_{corr}. \quad (\text{pesos/unidad de labor}) \quad (33)$$

donde:

C_{pd} : Costos del mantenimiento predictivo.

C_{vup} : Costo por la vida útil pérdida del artículo. Este valor está relacionado con los gastos en que se incurren por tronchar la vida útil del artículo siempre que el parámetro instantáneo (Si) esté entre el valor preventivo y el límite.

C_{corr} : Costo por los trabajos correctivos indicados. Están relacionados con los costos en que se incurren por reparar los artículos que fallan en el período entre mantenimientos.

Los costos del mantenimiento predictivo (C_{pd}) se pueden determinar como:

$$C_{pd} = N * \frac{T}{td} * C_{acc} \quad (\text{pesos}) \quad (34)$$

donde:

N: Cantidad de elementos activos.

T: Período a analizar.

td: Periodicidad de ejecución del mantenimiento.

C_{acc} : Costo del accionar, es decir, costos propios por realizar el diagnóstico.

Los costos por la vida útil pérdida (C_{vup}) se determinan como:

$$C_{vup} = \sum_{i=1}^{\frac{T}{td}} \left(\frac{C_e}{t_{\text{lim } i}} * t_{vupi} * N_i \right) \quad (\text{pesos}) \quad (35)$$

donde:

C_e : Costo del elemento.

$t_{\text{lim } i}$: Recurso límite medio de los elementos que fallan entre los extremos del período analizado, el cual representa la vida útil media de los artículos a los que se les troncha la vida, calculándose como:

$$t_{\text{lim } i} = \int_0^{t_{\text{lim}}} t * f(t) * dt \quad (36)$$

t_{vupi} : Recurso o vida útil pérdida de los elementos que se cambian en el tiempo (t_i), representando cuanto se pierde por tronchar la vida útil a estos artículos y se determina como:

$$tvup = \int_{ii}^{tt} t * f(t) * dt \quad (37)$$

Ni: Cantidad de elementos que se cambian en el período (0-tlím), es decir, representa la cantidad de elementos que alcanzan el estado límite (fallan) en este período, determinándose como:

$$Ni = \int_0^{tlím} N * f(t) * dt \quad (38)$$

siendo (N) la cantidad total de artículos.

Los costos por trabajos correctivos (Ccorr) se determinan como:

$$Ccorr. = \sum_{i=1}^{\frac{T}{td}} ni * Ccorr. \quad (\text{pesos}) \quad (39)$$

donde:

ni: Cantidad de artículos que fallan.

Ccorr: Costo propio del accionar correctivo.

Como puede apreciarse este método es bastante complejo, pues se tiene que buscar una periodicidad (td) que ofrezca los menores costos, siendo recomendado su aplicación para el caso de equipos convencionales. En el caso de equipos costosos debe individualizarse el monitoreo para tratar de reducir la periodicidad (td) hasta lograr que la corrección (reparación) se realice un instante antes del valor límite y, de esta forma, reducir la pérdida de la vida útil.

2.5.8- Métodos y medios de diagnóstico.

Los métodos de diagnóstico del estado técnico de los artículos representan las formas de medición de los parámetros de diagnóstico, siendo muy diversos y, dependen fundamentalmente de la naturaleza física de los parámetros de diagnóstico, de las posibilidades de la técnica de medición y del tipo de diagnóstico que se vaya a realizar, etc., teniendo estas clasificaciones un carácter convencional. Sin embargo, los principales métodos de diagnóstico pueden agruparse en tres grandes grupos, a saber:

1. Por los parámetros de las cualidades de explotación.
2. Por los parámetros de los procesos que acompañan el trabajo fundamental.
3. Por los parámetros geométricos.

El método de diagnóstico por los parámetros de las cualidades de explotación se utiliza fundamentalmente para la evaluación integral del artículo, sus agregados y sistemas, midiendo básicamente: la dinámica y seguridad del movimiento (para artículos que se desplazan); la economía de combustible; la influencia sobre el medio ambiente (toxicidad de los gases de escape, ruidos, etc.) y la potencia. Los parámetros de este grupo sirven para valorar la capacidad de trabajo y las cualidades de explotación del artículo en general.

Los métodos basados en la medición de los parámetros de los procesos que acompañan el trabajo fundamental del artículo pueden dividirse en:

- a) La hermeticidad de los volúmenes de trabajo.
- b) Los procesos cíclicos.
- c) El estado térmico.

El **método de diagnóstico de acuerdo con el grado de hermetización de los volúmenes de trabajo** permite determinar el estado técnico y los desperfectos de aquellos conjuntos o sistemas cuyo funcionamiento depende de la hermeticidad de un espacio donde se desarrolle algún proceso. Se emplea para el diagnóstico detallado de algunos mecanismos y conjuntos, como por ejemplo: el grupo cilindro-pistón de un motor de combustión interna, sistemas de lubricación, de enfriamiento, tuberías de los sistemas hidráulicos y neumáticos, etc., utilizándose parámetros tales como la compresión, la fuga de gases, el vacío, la caída de presión, etc.

El **método de diagnóstico mediante los parámetros de los procesos cíclicos** (oscilatorios y periódicos) se fundamenta en que durante el funcionamiento de algunos artículos, en sus conjuntos y sistemas tienen lugar diferentes tipos de procesos que se repiten cíclicamente y que producen señales periódicas. Los ruidos y las vibraciones, el proceso de combustión en un motor, la inyección en el motor Diesel, son ejemplos de este tipo de proceso. Si se conoce la forma en que deben tener lugar normalmente y la influencia que tiene cada elemento en su manifestación, al medir los parámetros que los caracterizan se puede juzgar sobre el estado técnico del mecanismo, sistema o elemento y detectar los desperfectos en ellos.

El **diagnóstico según el estado térmico** se puede aplicar para comprobar el estado técnico de casi todos los artículos, combinándolo por lo general con otros métodos, y consiste en la medición de los parámetros térmicos (temperatura, ritmo de variación de la misma, gradiente de temperatura) que caracterizan la generación de calor en los artículos provocada por los esfuerzos de fricción, la combustión, etc. Con este método se comprueba el estado técnico de los cojinetes en general, además de otros elementos.

El diagnóstico por los parámetros geométricos consiste en la medición de aquellos parámetros estructurales del artículo que pueden ser directamente controlados sin necesidad de desarmar conjuntos.

Tanto los parámetros del segundo grupo, como los del tercero dan la posibilidad de esclarecer las causas concretas de los desperfectos. Por tal motivo, partiendo del principio de lo general a lo particular, para la ejecución del diagnóstico se utiliza primeramente los parámetros del primer grupo, realizando un diagnóstico general y luego se concretan los resultados con los parámetros del segundo y tercer grupo, ejecutando un diagnóstico particular.

Existen otros métodos de diagnóstico, tales como el endoscópico, mediante testigos radioactivos, mediante la composición de los materiales de explotación, mediante la composición de los gases de escape, etc., los cuales poseen una aplicación práctica limitada.

Por su parte los medios de diagnóstico representan a los equipos técnicos destinados para la medición de los parámetros de diagnóstico, siendo clasificados en externos, incorporados o mezclados, según se muestra en la siguiente figura.

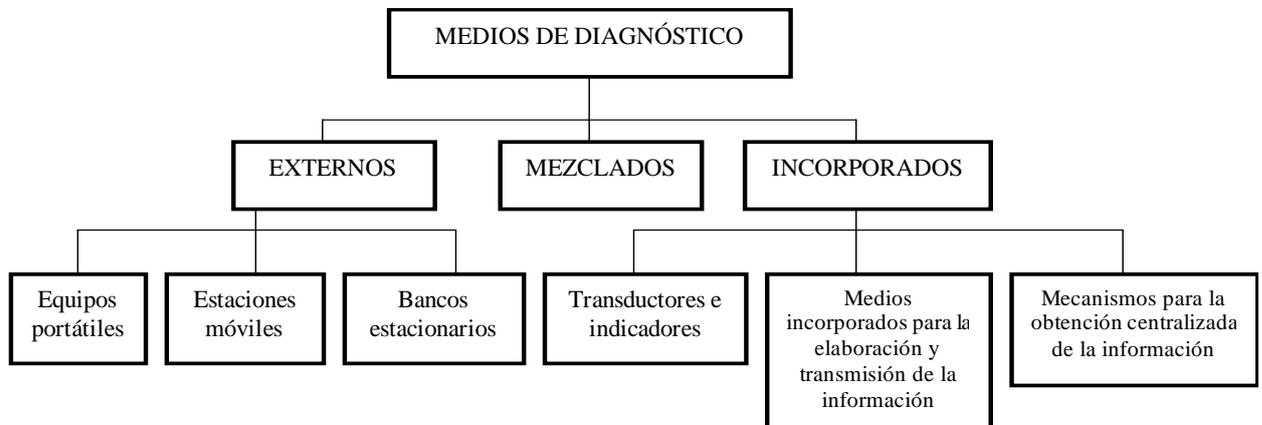


Fig. 26: Clasificación de los medios de diagnóstico.

Los medios externos de diagnóstico, en dependencia de su destino tecnológico pueden ser portátiles (móviles), estaciones móviles con los mecanismos de medición necesarios y bancos estacionarios. Estos medios garantizan la obtención y elaboración de la información sobre el estado técnico de los artículos necesaria para la ejecución de las operaciones de mantenimiento.

Por su parte, los medios incorporados de diagnóstico incluyen a los traductores que forman parte del artículo, así como equipos de cálculo electrónico, bloque de alimentación e indicadores para la elaboración de señales de diagnóstico y la medición constante o considerablemente frecuente del estado técnico del artículo.

Los medios de diagnóstico del tipo mezclado son una combinación de los medios externos y los incorporados.

2.5.9- Evaluación de la efectividad del mantenimiento predictivo.

Se plantea que el mantenimiento predictivo es efectivo siempre que los costos específicos totales del accionar correctivo, preventivo y predictivo sean menores que los costos específicos totales del accionar correctivo y preventivo sin el diagnóstico, es decir:

$$C_{esp. total} (Corr. + Pr ev. + Pr ed.) < C_{esp. total} (Corr. + Pr ev.) \quad (40)$$

En la práctica se ha demostrado que con la incorporación del diagnóstico se logra una disminución considerable de los costos de explotación, un incremento de la vida útil de los artículos, así como una mayor fiabilidad y seguridad en el funcionamiento de los mismos.

Para valorar la efectividad de este tipo de mantenimiento se pueden utilizar los siguientes indicadores:

1- Eficiencia de la prevención del fallo (ϵ_1).

Este índice representa la rentabilidad económica de cada acción predictiva y está relacionado con el número de horas de paro evitado por cada 1000 horas de revisión, calculándose como:

$$\epsilon_1 = \frac{\text{Total de horas de paro evitado}}{\text{Total de horas de revisión}} * 100 \quad (\%) \quad (41)$$

donde:

$$\begin{array}{l} \text{Total de horas} \\ \text{de paro por} \\ \text{averías} \end{array} = \begin{array}{l} \text{Tiempo medio} \\ \text{de paro por} \\ \text{avería} \end{array} * \begin{array}{l} \text{Cantidad de} \\ \text{acciones donde} \\ \text{se detectan averías} \end{array} * \begin{array}{l} \text{Código} \\ \text{de} \\ \text{criticidad} \end{array} \quad (42)$$

El tiempo medio de paro por averías se determina como

$$\begin{array}{l} \text{Tiempo medio} \\ \text{de paro por} \\ \text{avería} \end{array} = \frac{\text{Tiempo anual de paro por avería}}{\text{Cantidad total de averías}} \quad (43)$$

Por lo general, el código de criticidad se asume entre 0 y 1.

El total de horas de revisión se determina utilizando la siguiente expresión:

$$\begin{array}{l} \text{Total de} \\ \text{horas de} \\ \text{revisión} \end{array} = \begin{array}{l} \text{Tiempo de una} \\ \text{revisión} \\ \text{programada} \end{array} * \begin{array}{l} \text{Cantidad de} \\ \text{intervenciones} \\ \text{programadas al año} \end{array} \quad (44)$$

2- Tasa de detección de anomalías (ϵ_2).

Este índice informa sobre la eficacia del método de revisión en cada acción, cuantificando el número de revisiones en que se detecta una anomalía por cada 100 ejecuciones y se determina como:

$$\epsilon_2 = \frac{\text{Cantidad de revisiones con detección de anomalías}}{\text{Total de horas de paro por avería}} * 100 \quad (\%) \quad (45)$$

3- Prevención real del paro (ϵ_3).

La prevención real del paro indica la influencia real del accionar en la reducción del paro por avería a nivel de área, relacionando las horas reales de paro por avería con las de paro evitado, determinándose como:

$$\epsilon_3 = \frac{\text{Total de horas de paro evitado}}{\text{Total de horas de paro por avería}} * 100 \quad (\%) \quad (46)$$

Además, a partir de la eficiencia de la prevención del fallo (ϵ_1) se puede determinar lo que tendría que valer la hora de estadía para que este mantenimiento sea eficiente como:

$$\text{Valor mínimo de la hora de estadía} = \frac{\text{Costo de la hora de revisión}}{\epsilon_1} \quad (47)$$

Este costo de la hora de revisión es lo mínimo que debe valer la hora de paro para que este mantenimiento sea eficiente, o sea, si la hora de paro es igual o mayor que este valor, entonces el mantenimiento predictivo es eficiente.

Calculemos estos indicadores para el siguiente ejemplo.

EJEMPLO # 1:

Se quiere determinar la eficiencia del mantenimiento que consiste en la verificación del anclaje de un equipo. Los datos son los siguientes:

1. Tiempo anual de paro por avería: 1918 minutos.
2. Cantidad de averías: 137.
3. Acciones donde se detectan averías: 2.
4. Código de criticidad: 1.
5. Tiempo de una acción programada: 4 minutos.
6. Cantidad de intervenciones programadas al año: 104.
7. Costo de la hora de revisión: 1800 pesos.

Solución:

1- Determinación de la eficiencia de la prevención del fallo (ϵ_1).

- Tiempo medio de paro por avería = $(1918 / 137) = 14$ minutos.
- Total de horas de paro evitado = $14 \text{ minutos} * 2 * 1 = 28$ minutos.
- Total de horas de revisión = $4 \text{ minutos} * 104 = 416$ minutos.

Por tanto:

$$\epsilon_1 = (28 / 416) * 1000 = 67,3 \%$$

2- Determinación de la tasa de detección de anomalías (ϵ_2).

$$\epsilon_2 = (2 / 104) * 100 = 1,92 \%$$

3- Determinación de la prevención real del paro (ϵ_3).

$$\mathcal{E}_3 = (28 / 1918) * 100 = 1,45 \%$$

A partir del primer índice obtenemos el valor mínimo en pesos que debe valer la hora de pérdida por paro del equipo para que sea rentable la aplicación de esa acción de mantenimiento.

- Valor mínimo de la hora de parada = $(1800 / 67,3) = 26,74$ pesos.

Esto significa que esta acción sólo debe aplicarse en máquinas cuyo costo de la hora de paro sea superior a 26,74 pesos.

2.6- Selección del tipo de mantenimiento a aplicar en las máquinas según su categoría.

Existe una vinculación entre el accionar correctivo y el preventivo en relación con los resultados que se tienen en cuanto a las máquinas y equipos. Por una parte, con mayor actividad preventiva se reduce la necesidad del accionar correctivo, las paradas de las máquinas y las pérdidas por afectaciones a la producción y, por la otra, sucede lo contrario cuando predomina el accionar correctivo. Es sabido además que ambos tipos tienen un costo y, una de las exigencias actuales al mantenimiento es lograr que sus costos sean mínimos garantizando siempre la máxima disponibilidad, fiabilidad y seguridad de funcionamiento.

Una de las vías que pueden emplearse para la determinación de estos costos mínimos es la búsqueda de los llamados "puntos óptimos" para el accionar del mantenimiento (figura 8), pero este método presupone realizar el mantenimiento según una periodicidad establecida de antemano, sin tener en cuenta las particularidades de cada máquina en el proceso de producción, tratándolas a todas como "iguales". Por otra parte, en muchos casos no se posee la información necesaria para construir estas curvas por lo que se necesita realizar un estudio de fiabilidad, lo que significa disponer de un tiempo relativamente grande.

Por tal motivo, la solución más acertada en este caso radica en la llamada diferenciación de máquinas y su consecuente categorización, de acuerdo con lo cual se logra establecer el tipo de mantenimiento a seguir.

Los métodos de diferenciación de máquinas viene aplicándose en el mundo desde hace tiempo. En la década del 60 en los Estados Unidos algunas Empresas confeccionaban sus planes de mantenimiento atendiendo diferentes criterios de diferenciación. Por ejemplo, la Pittsburgh Plate Glass estableció 5 clases de máquinas teniendo en cuenta el porcentaje de influencia del paro de estas en el proceso productivo, clasificando desde las que su paro no afectaban la producción hasta las que lo afectaban un 100 %. Países Europeos han aplicado técnicas similares atendiendo a características tecnológicas, productivas, técnicas, económicas y operacionales.

El método que a continuación se expone ha sido desarrollado por especialistas de la dirección de mantenimiento del Ministerio de la Industria Sidero-Mecánica (SIME), el cual se publicó en la separata de Febrero de 1992.

Este método propone analizar (11) criterios agrupados en (3) aspectos relacionados con las máquinas, resultado del cual las máquinas se clasificarán en (3) categorías (A, B o C). Las máquinas categorizadas como (A) serán consideradas como máquinas Fundamentales, las (B) como Convencionales y las (C) como máquinas Auxiliares.

Desarrollo del método de diferenciación de las máquinas y equipos.

1- ASPECTOS SELECTIVOS:

1- Intercambiabilidad: Representa la posibilidad que tiene la máquina de ser sustituida por otra, siendo categorizadas como:

A: Máquinas Irreemplazables.(Su labor no puede ser sustituida por otras máquinas).

B: Máquinas Reemplazables.(Su labor se sustituye por 1 ó 2 máquinas).

C: Intercambiables.(Su labor se sustituye por varias máquinas).

2- Importancia Productiva: Representa la necesidad de la máquina para la producción.

A: Imprescindibles. (Cuando su parada afecta a más del 50% del proceso productivo).

B: Limitantes. (Cuando su parada afecta entre un 10 - 50% de la producción).

C: Convencionales. (Cuando su parada afecta a menos del 10% de la producción).

3- Régimen de Operación: Representa la participación de la máquina en el proceso productivo.

A: Régimen Continuo. (Las máquinas participan en líneas continuas).

B: Régimen Seriado. (Las máquinas son utilizadas para producir series de artículos).

C: Régimen Alternado. (Las máquinas tienen poca participación en el proceso productivo).

4- Nivel de Utilización: Representa la capacidad a que son utilizadas las máquinas.

A: Muy Utilizadas. (Cuando las máquinas se utilizan al máximo de su capacidad durante gran parte del tiempo de trabajo).

B: Utilización Media. (Cuando las máquinas son utilizadas, pero no al máximo de su capacidad).

C: Uso Esporádico. (Cuando las máquinas raras veces se utilizan al máximo de su capacidad).

El nivel de utilización de las máquinas es el más importante de todos los aspectos, pues determina la posibilidad real de que el accionar del mantenimiento no afecte la producción. Así, por ejemplo, tenemos que para las máquinas categorizadas como A (muy utilizadas), no va a existir una holgura entre el tiempo de trabajo (disposición técnica) y el mantenimiento (ver figura 3.27 a), por lo que si dicha máquina falla se detiene la producción. Para el caso de las máquinas B (utilización media) cualquier rotura puede resolverse en el huelgo libre que existe sin necesidad de afectar la producción (figura 3.27 b) y, para el caso de las máquinas C (uso esporádico) va a

existir una gran holgura para poder solucionar cualquier problema que se presente durante la utilización de ellas sin que se afecte el proceso productivo (figura 3.27 c).

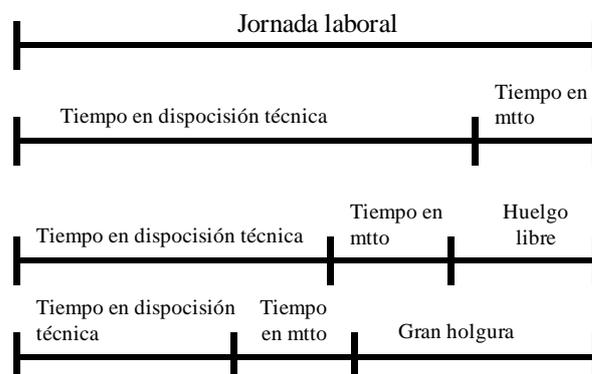


Fig. 28: Nivel de utilización de las máquinas.

Si al evaluar estos cuatro criterios queda bien definida la categoría de la máquina puede considerarse esta como la categoría definitiva de la misma, pero, si por el contrario, al evaluar los aspectos selectivos no se define aún la categoría, se pasa a evaluar los aspectos directivos.

2- ASPECTOS DIRECTIVOS.

5- Parámetro Principal: En este caso se escogerá un parámetro característico de las máquinas evaluadas, siempre y cuando influya en la producción.

Así, por ejemplo, para las máquinas de precisión (máquinas herramientas) puede considerarse lo siguiente:

A: Elevada Precisión. (Cuando la exactitud de la máquina permita tolerancias entre 0,01 y 0,05 mm).

B: Precisión Media. (Cuando la exactitud de la máquina permita tolerancias entre 0,05 y 0,10 mm).

C: Baja Precisión. (Cuando la máquina permita una tolerancia mayor que 0,10 mm).

6- Mantenibilidad: Representa la facilidad que brinda la máquina para realizarle operaciones de mantenimiento.

A: Alta Complejidad. (Cuando se hace difícil acceder a las diferentes zonas de la máquina para realizarle un mantenimiento).

B: Media Complejidad. (Cuando el acceso no es tan difícil en la totalidad de los elementos que componen la máquina).

C: Baja Complejidad. (Cuando la máquina es de fácil acceso).

7- Conservabilidad: Este aspecto representa la sensibilidad de la máquina al medio ambiente y determina las condiciones ambientales bajo las cuales debe operar la máquina, es decir, las condiciones del local.

- A: Condiciones Especiales. (Cuando las máquinas requieren que el local tenga condiciones especiales para así poder desempeñar correctamente su función, por ejemplo, determinadas condiciones de temperatura (aire acondicionado), de humedad relativa del aire, local cerrado, etc.).
- B: Protegida. (Cuando las máquinas requieren que el local posea condiciones normales, como por ejemplo, techo, paredes, etc.).
- C: Normal. (Cuando las máquinas pueden ser sometidas a condiciones severas, como altas temperaturas, elevada humedad relativa, estar sometidas a los efectos de la corrosión, etc.).

8- Automatización: Representa el grado de libertad que tiene la máquina para trabajar sin el hombre.

- A: Automática. (Cuando la máquina trabaja sin la presencia directa del hombre, por ejemplo, control numérico, robotizadas, computarizadas, etc.).
- B: Semiautomática. (Cuando una parte de las funciones las realizan automáticamente pero en otras el hombre tiene que intervenir).
- C: Mecánica. (Cuando la máquina opera manualmente en su totalidad).

Si al evaluar estos criterios directivos no se llega a un consenso acerca de la categoría de la máquina, entonces se pasan a evaluar los aspectos generales.

3- ASPECTOS GENERALES.

9- Valor de la Máquina: Representa el precio e incidencia en la gestión económica.

- A: Alto. (El valor de la máquina es elevado, o sea, máquinas caras).
- B: Promedio. (El valor de la máquina es moderado).
- C: Bajo. (La máquina es barata).

10- Factibilidad de aprovisionamiento: Representa cuán factible de proveer, desde el punto de vista técnico y material, la máquina en cuestión.

- A: Abastecimiento Malo. (Cuando el abastecimiento en piezas y materiales necesarios para la máquina es deficiente).
- B: Regular. (Cuando este abastecimiento alcanza valores promedios que satisfacen algunas necesidades pero no todas).
- C: Buena: (Cuando el abastecimiento en piezas y materiales es adecuado).

11- Seguridad Operacional: Representa la seguridad en el funcionamiento de la máquina, es decir, en que medida puede afectar al operario.

- A: Peligrosa. (Cuando la máquina no brinda seguridad alguna al trabajador).
- B: Influyente. (Cuando la máquina brinda cierta seguridad al trabajador, pero no todo lo que se requiere).

C: Poco Influyente. (Este tipo de máquina ofrece plena seguridad al trabajador y solo la negligencia humana puede provocar un accidente).

Al evaluar todos estos criterios debe quedar establecida la categoría de la máquina, es decir, si es una máquina A (fundamental), B (convencional) o C (auxiliar). En caso contrario se procederá a evaluar otros criterios que sean de interés hasta lograr la diferenciación de ellas.

Para mayor comodidad a la hora de realizar esta evaluación se recomienda organizar los resultados en forma de tabla, organizándose la misma según el objetivo de la diferenciación.

Una vez establecida la categoría de la máquina se procede a establecer el tipo de mantenimiento más adecuado a aplicarle, siguiendo las recomendaciones que a continuación se brindan.

POLÍTICA DE MANTENIMIENTO A SEGUIR EN CADA CATEGORÍA.

1- Para máquinas de categoría A (Fundamentales).

El objetivo del mantenimiento para estas máquinas es garantizar la máxima disponibilidad. Por tal motivo:

a) Mantenimiento Predictivo:

Es el tipo de mantenimiento por preferencia para este tipo de máquinas, pues de esta forma se logra prevenir el fallo. Deben utilizarse todas las técnicas avanzadas de diagnóstico. Esto motiva que se tengan que utilizar un equipamiento sofisticado y caro, elevar la calificación del personal y emplear grandes recursos.

b) Mantenimiento Preventivo:

De no poder aplicarse el mantenimiento predictivo este es el mantenimiento que debe prevalecer, abundante en acciones que eviten el surgimiento del fallo y con una periodicidad calculada por el método de probabilidad de trabajo sin fallos. Deben asimismo realizarse todas las acciones posibles con una frecuencia de ejecución relativamente alta y centrando sus actividades en inspecciones, revisiones, engrases, verificaciones geométricas, ajustes y reglajes.

c) Mantenimiento Correctivo:

Este tipo de mantenimiento debe ser evitado al máximo. De ocurrir un fallo imprevisto en este tipo de máquinas se le dará máxima prioridad para solucionarlo. Debe también llevarse un registro exacto sobre los fallos ocurridos, que permitan darle seguimiento y así disminuir el tiempo medio de reparación.

Concluyendo se puede plantear que estas máquinas tendrán preferencia por el mantenimiento predictivo o por el mantenimiento preventivo bien planificado y argumentado, para de esta forma disminuir al máximo las roturas imprevistas. Además, a estas máquinas se les debe realizar mejoras que posibiliten una mayor disponibilidad, fiabilidad y seguridad en su funcionamiento, logrando así aumentar el tiempo medio entre fallos.

2- Para máquinas de categoría B (Convencionales).

El objetivo del mantenimiento para este tipo de máquinas es garantizar la reducción de los costos de explotación sin que disminuya significativamente la disponibilidad de las mismas. Por tal razón:

a) Mantenimiento Predictivo:

Prácticamente se descarta por lo costoso que resulta, aunque pueden ejecutarse acciones baratas que tengan buena efectividad en la detección de averías.

b) Mantenimiento Preventivo:

Este tipo de mantenimiento es aplicable siempre y cuando las acciones a ejecutar estén justificadas por el método técnico-económico para establecer la periodicidad más adecuada. Este mantenimiento se ejecutará con una frecuencia e intensidad algo menor que para las máquinas de categoría A y sus actividades básicas estarán centradas en inspecciones, revisiones y engrases.

c) Mantenimiento Correctivo:

Para las máquinas de esta categoría existe más libertad en este accionar si lo comparamos con las máquinas de categoría A, admitiéndose los fallos que requieran correcciones, cuyos tiempos de solución estén dentro de la holgura de la máquina. La prioridad que se le dá a la acción correctiva es variable y depende de la criticidad de la máquina según el plan de producción, pero siempre menor que en las máquinas A. Algunas acciones que se controlaban en las máquinas de categoría A pueden dejar de hacerse en las B.

3- Para máquinas de categoría C (Auxiliares).

El objetivo del mantenimiento para estas máquinas es reducir, lo más posible, los costos de esta actividad. Por tal motivo:

a) Mantenimiento Predictivo:

No tiene razón de ser por lo caro que resulta organizar este tipo de mantenimiento, así como por la compra del equipamiento y la preparación del personal.

b) Mantenimiento Preventivo:

Estará caracterizado este mantenimiento por la realización de mínimas acciones, relacionadas básicamente con operaciones de engrases y con baja frecuencia de ejecución. La periodicidad del mantenimiento no se calcula.

c) Mantenimiento Correctivo:

Es el mantenimiento por excelencia para estas máquinas, pues existe una gran holgura para ejecutarlo sin que se afecte la producción. En caso de aparecer un fallo durante el funcionamiento de la máquina se le dará poca importancia.

Además de estas categorías existe una cuarta que puede catalogarse como (D), pues caracteriza a aquellas máquinas que se encuentran en estado de conservación. El objetivo del mantenimiento en este caso es conservar, e incluso elevar, el valor residual de dichas máquinas, aplicando acciones preventivas y garantizando la puesta en funcionamiento de estas 1 ó 2 veces al año.

Como se observa, la política de mantenimiento a nivel de máquina es muy general y, como es sabido, lo concreto en ellas son sus elementos y hacia ellos se dirige el accionar del mantenimiento, no global hacia la máquina. Por supuesto que para las máquinas de categoría (A) debe predominar el accionar predictivo o preventivo y para las clasificadas como (C) el correctivo.

Para valorar el tipo de mantenimiento a ejecutar en cada elemento se puede utilizar la técnica de los 10 criterios", método desarrollado por especialistas del ISPJAE bajo el título de "Decisión preliminar de la política de mantenimiento a nivel de elemento", el cual es muy efectivo cuando no se conoce la historia de la máquina y sus elementos componentes o no existen bancos de datos sobre el comportamiento en la explotación de ellos.

En un principio este método establece el tipo de accionar que se le debe brindar al elemento en cuestión, ya sea programado (sistema predictivo o preventivo) o no programado (sistema correctivo) a partir de evaluar la influencia de cada uno de los criterios recomendados en el accionar en cuestión, según la siguiente codificación:

- Cuando el criterio indica la estimulación del accionar se le otorga el código (+1).
- Cuando el criterio desestimula el accionar se le otorga el código (-1).
- En caso de existir indiferencia se otorga el código (0).

El tipo de accionar que más puntuación obtenga será el más indicado a aplicar para el elemento evaluado. Luego, teniendo en cuenta la categoría de la máquina según el método de diferenciación y las posibilidades reales de la Empresa, se procede a definir, en caso de que el accionar seleccionado sea el programado, que tipo de mantenimiento se va a ejecutar, si el predictivo o el preventivo.

Criterios y argumentos del método.

1- Posibilidad que tiene el elemento de ser diagnosticado.

Se analiza las posibilidades reales de que alguna técnica de diagnóstico pueda ser utilizada para conocer el estado técnico del elemento. Debe tenerse en cuenta la existencia de equipos de diagnóstico, así como una valoración económica de la actividad en general.

Siempre que el elemento analizado pueda ser diagnosticado se estimulará el accionar programado, asignándole el código (+1), y desestimulará el accionar correctivo, asignándole el código (-1) o viceversa.

2- Nivel del personal de mantenimiento.

Este aspecto se encuentra relacionado con la preparación técnica y profesional del personal que labora en el mantenimiento.

Siempre que este nivel sea elevado se estimulará el accionar programado (+1) y se desestimulará el accionar correctivo (-1) o viceversa.

3- Dependencia del fallo.

Aquí se analiza si el fallo ocasiona catástrofes, otros fallos importantes o pérdidas económicas.

Siempre que el fallo del elemento provoca el fallo del sistema o la máquina se estimulará el accionar programado (+1) y se desestimulará el accionar correctivo (-1) o viceversa.

4- Valor de la hora de estadía.

Este criterio es válido siempre que el fallo del elemento provoque la interrupción del funcionamiento de la máquina.

Si se cumple la anterior condición y si el valor de la hora de estadía es elevado entonces se estimula el accionar programado (+1) y se desestimula el accionar correctivo (-1) o viceversa.

5- Existencia de redundancia.

Este criterio considera la existencia o no de reserva de máquinas o elementos conectados en paralelo.

En cualquier caso de reserva el fallo del elemento no afecta la producción, por lo que se estimula el accionar correctivo (+1) y se desestimula el accionar programado (-1) o viceversa.

6- Posibilidad de intercambio del sistema o del elemento.

Si el elemento que falla pertenece a un sistema o conjunto que se atiende por intercambio de agregados (existencia de fondo circulante) se facilita la reparación y disminuye el tiempo y los costos del paro.

Siempre que exista fondo circulante se estimulará al accionar correctivo (+1) y se desestimulará el accionar programado (-1) o viceversa.

7- Características tecnológicas del arme, desarme y ajuste del elemento o mecanismo.

Existen elementos (mecanismos, sistemas, agregados) cuyo desarme y arme implican grandes afectaciones, desgastes intensos, peligros de rotura prematura, deformaciones, etc., como por ejemplo las uniones prensadas en frío, roscadas en base de aluminio, remachadas, soldadas, etc.

Siempre que el elemento que se analiza admite una gran cantidad de operaciones de arme y desarme se estimulará al accionar programado (+1) y se desestimulará al accionar correctivo (-1). Por el contrario, si las operaciones de arme y desarme son muy complejas (no admite realizarlas muchas veces) se estimulará al accionar correctivo (+1) y se desestimulará al accionar programado (-1).

8- Actividades sistemáticas y obligatorias de trabajos de lubricación y otros que estén establecidos.

En estos casos ya existe una preferencia, quizás obligada por el fabricante, para el accionar programado (preventivo), el cual conlleva al paro de la máquina. En estos casos se estimulará al accionar programado (+1) y se desestimulará al accionar correctivo (-1).

9- Tiempo medio de reparación del elemento.

Si el fallo del elemento implica el cambio de la pieza y la concepción es repararla y volverla a utilizar entonces el tiempo medio de reparación juega un papel muy importante.

Siempre que se cumpla lo anterior y, si el tiempo medio de reparación es muy elevado se estimulará el accionar programado (+1) y no el correctivo, pues al menos la reparación se prepara, es más eficiente y el paro se aprovecha para la ejecución de otras acciones. Lo contrario sucede si el tiempo medio de reparación es pequeño.

10- Si la acción del programado eleva la productividad y/o la calidad del producto.

Existen acciones programadas sobre elementos o sistemas que tienen gran influencia sobre la productividad y eficiencia de la máquina o equipo, así como sobre la calidad del producto que se elabora. Por ejemplo, los ajustes y reglajes de las piezas que soportan herramientas de corte, lubricaciones a transmisiones, a rodamientos, etc.

En este caso se debe definir primero si existe relación alguna entre la actividad de mantenimiento y la productividad del elemento. Si existe esta relación y si se eleva la productividad entonces se estimulará el accionar programado (+1) y se desestimulará el accionar correctivo (-1). Si existe esta relación pero no eleva la productividad entonces sucede lo contrario. De no existir relación entre el mantenimiento y la productividad puede considerarse indiferencia para ambos sistemas.

Analicemos un ejemplo de aplicación de la política de mantenimiento a nivel de elemento.

EJEMPLO # 2:

El fallo radica en la rotura de una manguera hidráulica de la combinada cañera KTP-2. Como datos adicionales pueden plantearse los siguientes:

- El nivel del personal de mantenimiento es bajo.
- Al romperse la manguera se derrama una cantidad considerable de aceite hidráulico.
- La hora de estadía tiene un alto valor.
- La manguera no se repara.
- No existe fondo circulante.
- Esta acción no se encuentra programada en el mantenimiento.

La siguiente tabla muestra los resultados de la evaluación de los distintos criterios propuestos por el método.

Tabla 3: Ejemplo de aplicación del método de los 10 criterios para definir la política de mantenimiento a nivel de elemento.

Nro	Criterios	Correctivo	Programado	Observaciones
1	Posibilidad de diagnóstico.	-1	+1	Puede diagnosticarse por la medición de la presión de aceite del sistema a través del manómetro del panel de instrumentos, por lo que estimula el accionar programado.
2	Nivel del personal.	+1	-1	Cuando el personal de mantenimiento tiene baja calificación se estimula el accionar correctivo.
3	Dependencia del fallo.	-1	+1	El fallo ocasiona pérdidas económicas, pues se pierde aceite hidráulico al ocurrir la rotura de la manguera, estimulándose el accionar programado.
4	Valor de la hora de estadía.	-1	+1	Cuando el valor de la hora de estadía es alto se estimula el accionar programado.
5	Existencia de redundancia.	-1	+1	No existe otra manguera conectada en paralelo, por lo que se estimula el accionar programado.

6	Posibilidad de intercambio.	+1	-1	Al existir fondo circulante se estimula el accionar correctivo.
7	Características tecnológicas del arme y desarme.	-1	+1	Este elemento admite una gran cantidad de operaciones de arme y desarme, por lo que se estimula el accionar programado.
8	Actividades sistemáticas.	+1	-1	Esta operación no se encuentra programada en ningún mantenimiento, por lo que estimula el accionar correctivo.
9	Tiempo medio de reparación.	0	0	La concepción es colocar una manguera nueva (no reparar la defectuosa), por lo que el tiempo medio de reparación no interesa en este caso, existiendo indiferencia al respecto.
10	Relación entre la acción del mantenimiento y el incremento de la productividad.	+1	-1	La acción de mantenimiento tiene relación con la productividad pero no la eleva, por lo que se estimula el accionar correctivo.
Total		-1	+1	

Según el resultado, todo indica que la manguera debe atenderse por el accionar programado, ya sea por el sistema predictivo (diagnosticando a partir de la medición de la presión de aceite en el sistema) o por preventivo (cambio programado según los resultados obtenidos de un estudio de fiabilidad), según las posibilidades reales que existan para cada caso.

Sin embargo, en ocasiones sucede que la diferencia entre ambos resultados es pequeña, como en este ejemplo, y por tanto, resulta difícil decidir cual de los dos sistemas aplicar, si se programa la actividad o si deja libre al elemento (correctivo). En estos casos la conclusión definitiva la ofrece el resultado de la diferenciación de la máquina. Así, por ejemplo, si la máquina es (A) se programa la actividad y, si fuera (B) o (C) se preferiría el correctivo. Cuando la diferencia entre ambos resultados es grande se asume el sistema que resulte de la evaluación de los 10 criterios, independientemente de la clasificación de la máquina.

2.7- Costos del mantenimiento.

A diferencia de otras acciones productivas, donde el objetivo final es el logro de un artículo o material terminado y se habla entonces del costo de producción de dicho artículo, en el campo del mantenimiento el objetivo final es situar al artículo (equipo, máquina o instalación) en condiciones tales que posibiliten su posterior utilización con un adecuado nivel de su estado técnico y, para lograr esto es necesario ejecutar un presupuesto determinado, siendo muy importante garantizar que este sea lo más racional posible. Asimismo es necesario que se tengan en cuenta todos los gastos que inciden directamente en esta actividad, es decir, no dejar de analizar ningún elemento que actúe sobre el costo total del mantenimiento.

El costo de una acción de mantenimiento tiene en cuenta el consumo de materiales, la fuerza de trabajo, la amortización de los medios básicos y los servicios comprados y otros gastos. De tal forma que:

$$C_{mant} = C_{mat} + C_{ft} + C_{am} + C_{og} \quad (\text{pesos/acción}) \quad (48)$$

donde:

C_{mant} : Costo de una acción de mantenimiento, pesos/acción.

C_{mat} : Costo por consumo de materiales, pesos/acción.

C_{ft} : Costo por la fuerza de trabajo, pesos/acción.

C_{am} : Costo de amortización de los medios básicos, pesos/acción.

C_{og} : Costo por servicios comprados y otros gastos, pesos/acción.

1- Costo por consumo de materiales (C_{mat}).

Para ejecutar un mantenimiento es necesario disponer de diferentes materiales como lubricantes, piezas de repuesto, combustibles, líquidos para limpieza, materiales auxiliares, etc., sin los cuales la calidad de dicho mantenimiento se afectaría necesariamente. Este costo se puede determinar como:

$$C_{mat} = \sum_{i=1}^n Qu_i * M_i \quad (\text{pesos / acción}) \quad (49)$$

donde:

Qu_i : Costo de la unidad de medida del material (i), pesos/unidad.

M_i : Cantidad del material (i) que se requiere para ejecutar la acción, unidades/acción.

n: Cantidad de diferentes materiales que se necesitan para ejecutar el mantenimiento.

2- Costo por fuerza de trabajo (C_{ft}).

La cantidad de obreros que intervienen en la actividad, su calificación, el tiempo invertido en la realización del mantenimiento y lo que devengan por este concepto son los aspectos que se tienen en cuenta para determinar este costo, según la siguiente expresión:

$$C_{ft} = \sum_{i=1}^n P_i * \bar{t}_i * Sh_i \quad (\text{pesos / acción}) \quad (50)$$

donde:

P_i : Cantidad de trabajadores de calificación (i) necesarios para ejecutar el mantenimiento.

\bar{t} : Tiempo medio que trabaja el obrero de calificación (i) en el mantenimiento, horas.

Sh_i : Salario horario del obrero de calificación (i), pesos/hora.

m: Tipos de calificaciones diferentes.

3- Costo por la amortización de los medios básicos (Cam).

Existen diferentes métodos para determinar el costo de amortización del equipamiento. El método en función del tiempo calendario o tasa fija presupone un deterioro uniforme del equipamiento a través del tiempo, es decir, establece que el equipamiento, se utilice o no, va a sufrir un deterioro tanto físico como moral, similar en todos los años de su utilización. En Cuba es una práctica asumir este valor como el 10 % del costo total, utilizándose con gran frecuencia para equipos costosos. Cuando exista la posibilidad que el equipamiento se vuelva obsoleto en un breve período de tiempo se puede recurrir a métodos de amortización acelerados, donde el equipamiento se deprecia más al principio de su vida útil que hacia el final. La determinación del costo de amortización según el trabajo real realizado o tasa en función del tiempo de trabajo se puede realizar utilizando la siguiente expresión:

$$Cam = \sum_{i=0}^{\tilde{n}} Eh_i * C_i * tm_i \quad (\text{pesos / acción}) \quad (51)$$

donde:

Eh_i : Tasa de amortización horaria del equipo (i), h^{-1} . Este valor representa la relación del valor del equipo entre el fondo de tiempo de vida útil en horas.

C_i : Valor nominal del equipo, pesos.

tm_i : Tiempo que se utiliza el equipo (i) en el mantenimiento, horas.

\tilde{n} : Cantidad de equipos diferentes que se utilizan en el mantenimiento.

4- Costo por servicios contratados y otros gastos (Cog).

En este costo se incluyen aquellos trabajos que, dentro de la actividad de mantenimiento, se le contraten a otras Empresas, así como los relacionados con el consumo de insumos (agua, vapor, electricidad, etc.), determinándose como:

$$Cog = \sum_{i=1}^n qu_i * m_i \quad (\text{pesos / acción}) \quad (52)$$

donde:

qu_i : Costo de la unidad de medida del insumo (i), pesos.

m_i : Cantidad del insumo (i) que se consume en el mantenimiento, unidades/acción.

n : Cantidad de diferentes insumos.

Estos costos pueden ser calculados a partir del modelo de taller "Reporte de mantenimiento y/o Reparación", utilizado en todas las Empresas de explotación. En el anexo A se muestra un ejemplo de dicho modelo. Además, a partir del mismo se pueden determinar indicadores que permiten evaluar la gestión de mantenimiento.

2.8- Índices para evaluar la gestión del mantenimiento.

El objetivo básico del mantenimiento es lograr la máxima fiabilidad y seguridad en el funcionamiento de las instalaciones con el mínimo costo posible. El mantenimiento tiene que garantizar que las máquinas trabajen el mayor tiempo posible de forma correcta y eficiente, estando esta actividad controlada dentro del entorno de calidad total para lograr un objetivo: la máxima productividad.

Existen diversas formas para evaluar la gestión de mantenimiento, siendo los indicadores técnico-económicos los más utilizados para realizar dicho análisis. El trabajo con estos índices permite evaluar el resultado final de esta actividad a partir de cifras, por lo que son fáciles de manipular y procesar, razones por las cuales constituyen una vía muy útil para el trabajo del personal técnico de mantenimiento y de dirección de la Empresa. La principal desventaja del trabajo con los índices radica en la sabida frialdad de los números que, por diferentes razones, a veces pueden enmascarar problemas, sobre todo cuando son de naturaleza subjetiva.

El área de mantenimiento debe recopilar la información necesaria utilizando el sistema de modelaje adecuado. Esto permitirá obtener índices que, analizados y manipulados correctamente por cada nivel de dirección, den suficientes criterios para evaluar y tomar decisiones sobre la gestión del mantenimiento, tanto técnica como organizativamente.

Los índices de control de la gestión de mantenimiento deben tener un carácter diferenciado en cuanto a su volumen y características, que dependerá de los niveles de dirección que los maneja. Así, por ejemplo, el jefe de mantenimiento debe analizar los índices globales y los específicos de cada equipo, el director de la Empresa analiza los índices generales de la unidad y los de los objetivos más importantes, analizando también la incidencia de estos en los costos de producción y, por último, el organismo superior analiza los indicadores más globales que permitan valorar la gestión del mantenimiento en la Empresa.

En algunas Empresas el trabajo con los índices que evalúan la gestión del mantenimiento resulta una tarea agobiante, debido a errores que se cometen, siendo los más usuales los siguientes:

1. La no adecuada selección de los índices, siendo en muchos casos excesivos y poco jerárquicos.
2. Cuando se trabaja con muchos indicadores se corre el riesgo de que algunos de ellos no sean claros y precisos, por lo que pueden provocar variadas interpretaciones.
3. La no adecuación de los sistemas de recopilación de los datos primarios a las necesidades de los índices.
4. Las múltiples deficiencias y dificultades que se presentan para obtener la información primaria.
5. La carencia de controles sistemáticos.
6. El retraso en la toma de decisiones.

Para eliminar estas deficiencias u otras que se pueden presentar el sistema de índices deberá satisfacer los siguientes requisitos:

1. La cantidad de índices debe ser mínima, pero suficientes para poder evaluar la gestión del mantenimiento.
2. Los índices deben ser fáciles de calcular y claros de entender.
3. Los índices deben ser certeros para conocer rápidamente cómo marcha el proceso y por qué.

De forma general, los índices de gestión del mantenimiento caracterizan a dos aspectos esenciales del mantenimiento, a saber: el funcionamiento de las instalaciones y los recursos empleados, dependiendo sus valores de las características de cada organización productiva (carácter y tipo de producción, tecnología empleada, etc.).

Los índices que evalúan la gestión del mantenimiento pueden clasificarse en:

- Indicadores de comportamiento del mantenimiento.
- Indicadores del estado técnico de los sistemas y equipos.

Los indicadores de comportamiento del mantenimiento se agrupan en dos tipos, a saber:

- Primarios: Son datos estadísticos simples, tales como: horas hombres, costo de materiales, etc.
- Secundarios: Son relaciones de dos o más indicadores primarios, tales como: horas hombre por unidad de producción, costo del mantenimiento por valor de los medios básicos, etc. A estos se les denomina índices.

A los efectos de análisis se emplean los índices de forma preferencial, aunque algunos indicadores primarios, por su importancia, son de gran utilidad.

Dentro de los indicadores de comportamiento del mantenimiento los costos merecen especial atención, dado su peso creciente en todas las ramas y sectores de la economía. El análisis de los costos es una herramienta indispensable e insustituible para medir la gestión de mantenimiento. Por ejemplo, en el sector industrial los costos de mantenimiento representan aproximadamente el 4,2 % de las ventas netas; el 5,5 % del costo de las mercancías vendidas; el 6,5 % del valor inmovilizado bruto; el 12,1 % del valor inmovilizado neto y el 67,3 % de las ganancias. En el sector del transporte los costos de mantenimiento pueden ser hasta un 30 % de los costos totales de explotación.

Por su parte los indicadores de estado técnico de los equipos y sistemas se utilizan ampliamente por los diferentes niveles de dirección y en especial por el personal de mantenimiento debido a que reflejan, de forma directa, la eficiencia del mantenimiento, pero no del área en particular sino de la actividad integral.

En la siguiente tabla se muestran algunos índices de gestión del mantenimiento que pueden ser empleados por el Departamento de Mantenimiento.

Tabla 4: Índices para evaluar la gestión del mantenimiento.

	Índices	Valores usuales
De Producción.	Disponibilidad técnica.	90-94 %
	Utilización.	85-90 %
	Rendimiento.	100-110 %
	Aprovechamiento.	≈ 85 %
Estructurales.	Costo del mantenimiento / Costo total de producción.	5-7 %
	Costo del mantenimiento / Valor de los medios básicos.	4-10 %
	Costo del mantenimiento contratado / Costo total del mantenimiento.	20-30 %
	Costo de supervisión / Costo del mantenimiento.	2-4 %
	Costo de la reparación general / Valor de los medios básicos.	0,3-2 %
De Recursos Humanos.	Técnicos de mantenimiento / Total de trabajadores de mantenimiento.	5-10 %
	Total de trabajadores de mantenimiento / Total de trabajadores de la Empresa.	20-27 %
	Trabajadores indirectos de mantenimiento / Total de trabajadores de mantenimiento.	14-30 %
	Ausentismo.	6-10 %
Del Trabajo de Mantenimiento.	Horas-hombre de trabajo planificado de mantenimiento / Horas-hombre total de mantenimiento.	60-70 %
	Horas-hombre de trabajos no planificados de mantenimiento / Horas-hombre total de mantenimiento.	30-40 %
	Horas programadas / Horas totales disponibles.	> 95 %
	Horas reales en trabajos planificados / Horas programadas.	125-140 %
Producción de piezas.	Utilización del taller de fabricación de piezas de repuesto.	90-100 %
	Horas-máquina / Kilogramos de piezas producidas.	0,2-0,3 hr/Kg
	Costo por peso de producción.	0,5-0,7
	Costo del taller de fabricación de piezas / Costo del taller de mantenimiento.	25-30 %
Costos Generales	Costo del mantenimiento planificado / Costo total de mantenimiento.	≈ 20 %
	Costo de la mano de obra de mantenimiento / Costo total de mantenimiento.	40-50 %
	Costo de materiales / Costo total de mantenimiento.	20-25 %

Como los índices de estado técnico reflejan directamente la eficiencia del mantenimiento a continuación se exponen algunas cuestiones importantes de ellos.

1- Coeficiente de disponibilidad técnica. (Kd).

La forma más simple de enunciar este indicador es planteando que es la fracción de tiempo total que se emplea en la producción, es decir:

$$Kd = \frac{T_1}{T_1 + T_p} \quad (\%) \quad (53)$$

donde:

Tt: Tiempo de trabajo, horas

Ttp: Tiempo total de paro, en horas, correspondiendo a la suma del tiempo de mantenimiento planificado y del mantenimiento correctivo.

De igual forma podemos expresarlo teniendo en cuenta la fiabilidad funcional (influenciada por el mantenimiento preventivo, modificaciones, reservas disponibles y operaciones erróneas); la Mantenibilidad (influenciada por el diseño, herramientas y medios técnicos) y por la fiabilidad operacional (influenciada por la organización, los talleres, la documentación técnica, el entrenamiento y el suministro de piezas y materiales), de la siguiente manera:

$$Kd = \frac{MTBF}{MTBF + MDT} \quad (\%) \quad (54)$$

donde:

MTBF: Tiempo medio entre fallos, horas.

MDT: Tiempo medio de parada por mantenimiento, horas.

ó

$$Kd = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR + MWT} \quad (\%) \quad (55)$$

donde:

MTTR: Tiempo medio para reparar, horas.

MWT: Tiempo medio de espera para reparar, horas.

La disponibilidad técnica, según lo visto hasta aquí, constituye a través del análisis de sus valores reales en determinada etapa, la condición necesaria pero no suficiente para la evaluación técnica de la gestión de mantenimiento. Esto se explica porque no existe una comparación con una condición deseada, que permita establecer, en cada caso, cuán distante está la disponibilidad real obtenida de la que, según el objetivo de producción establecido, se requería tener. Por tanto, se hace necesario introducir el concepto de disponibilidad requerida (Kdr), que no es más que la fracción de requerimiento necesario para el cumplimiento de los objetivos de producción fijados por la Empresa de acuerdo con la demanda, tipo de planta (servicio ininterrumpido, régimen de producción variable, etc.), estimado de paradas programadas, inspecciones generales, etc. Entonces:

$$Kdr = \frac{\text{Objetivo de producción anual}}{\text{Capacidad instalada}} * 100 \quad (\%) \quad (56)$$

De igual forma se puede plantear que:

$$Kdr = \frac{MTBF}{MTBF + MDT_{m\acute{a}x}} * 100 \quad (\%) \quad (57)$$

donde:

MDTmáx.: Máximo tiempo promediado permisible para lograr el valor deseado de disponibilidad requerida.

Relacionando el tiempo medio de parada por mantenimiento (MDT) con el tiempo máximo permisible (MDTmáx.) obtendremos un índice de gran utilidad denominado índice de confiabilidad (K), determinándose como:

$$K = \frac{MDT}{MDTmáx} \quad (58)$$

Despejando estos términos en las expresiones (54) y (57) y sustituyendo en la (58) obtenemos:

$$K = \frac{Kdr (1 - Kd)}{Kd (1 - Kdr)} \quad (59)$$

El valor de (K) obtenido por esta vía, para cualquier período de explotación, indicará el nivel de confiabilidad de acuerdo con los siguientes valores.

Tabla 5: Niveles de confiabilidad.

K	Nivel de confiabilidad
> 0,9	Malo
0,7-0,9	Aceptable
0,5-0,7	Bueno
0,3-0,5	Muy bueno
0,1-0,3	Excelente

2- Coeficiente de utilización. (Kut).

Este coeficiente puede determinarse como:

$$Kut = \frac{\text{Tiempo de trabajo}}{\text{Tiempo posible de trabajo}} * 100 \quad (\%) \quad (60)$$

El tiempo de trabajo se obtiene de los reportes de producción del período analizado. Por su parte, el tiempo posible de trabajo se determina como:

$$t_{pt} = t_{tr} + t_p + t_c + t_{pt} + t_{pc} \quad (\text{horas}) \quad (61)$$

donde:

tpt: Tiempo posible de trabajo, horas.

ttr: Tiempo de trabajo real, horas.

tp: Tiempo del mantenimiento preventivo, horas.

tc: Tiempo del mantenimiento correctivo, horas.

tpt: Tiempo de paros tecnológicos, horas.

tpc: Tiempo perdido por otras causas, horas.

3- Rendimiento. (R).

El rendimiento puede calcularse como:

$$R = \frac{\text{Producción real anual}}{\text{Plan de producción anual}} * 100 \quad (\%) \quad (62)$$

4- Aprovechamiento. (A).

Este indicador relaciona los tres analizados anteriormente, determinándose como:

$$A = Kd_{real} * Kut_{real} * R_{real} * 10^{-4} \quad (\%) \quad (63)$$

En virtud de la alta responsabilidad, tanto técnica como económica, que tiene el mantenimiento en cualquier sector donde esté presente, se impone la implementación de métodos eficaces para su evaluación, de forma que permita localizar con precisión y agilidad los focos de problemas y, en correspondencia con ellos, emprender las acciones correctivas pertinentes.

Asimismo, por la importancia que tiene el análisis de los costos no cabe duda que debe existir un sistema que contenga procedimientos escritos normalizados, con los modelos y registros adecuados, niveles de autorización y establecimiento de prioridades. Estos registros deben permitir la identificación de los costos por área y categoría de equipos. Los objetivos a alcanzar en materia de costos de mantenimiento deben ser claramente establecidos para un período determinado (quinquenio, año, trimestre, etc.) mediante un sistema de presupuesto y pronóstico. Además, resulta de gran interés práctico la comparación de los índices reales con los planificados y el empleo de índices para el análisis de los costos y sus desviaciones.

De forma general se recomienda el siguiente esquema evaluativo para la gestión de mantenimiento:

- De acuerdo con el tipo de proceso, la complejidad y el valor de los equipos y sistemas objetos del mantenimiento, se deben seleccionar los indicadores de comportamiento del mantenimiento a evaluar. Se sugiere una frecuencia mensual para el cálculo y análisis de los mismos.
- A partir del número de equipos instalados por cada tipo y su envergadura, elegir los indicadores de estado técnico a utilizar, calculándose y analizándose mensualmente.
- Considerando las características antes enunciadas y las posibilidades de fuerza especializada y otros intereses de la Empresa, determinar como realizar evaluaciones a la actividad de mantenimiento, si se hacen de forma periódica a manera de profilaxis o sólo cuando el resultado de los indicadores analizados así lo aconseje.

CAPÍTULO III: TENDENCIAS MODERNAS DEL MANTENIMIENTO.

3.1- Introducción.

En los últimos años las Empresas han ido introduciendo nuevos conceptos sobre la fabricación y la gestión del mantenimiento para poder responder a las necesidades que demanda el mercado, es decir, flexibilidad, fiabilidad y seguridad en el funcionamiento de los equipos, máquinas, sistemas e instalaciones. Para poder lograr estos objetivos se han modificado las organizaciones de las Empresas y las estructuras de los departamentos.

Con el paso de los años el Departamento de Mantenimiento ha ido cambiando de objetivos, introduciendo nuevas tecnologías y ha tenido misiones diferentes, ya que se ha pasado de reparar, a mantener, prevenir, predecir y finalmente mejorar.

No todas las Empresas son iguales, por lo que resulta difícil generalizar un patrón de mantenimiento válido para ellas. Lo que sí está claro es que todas deben tener bien definida una política encaminada hacia la calidad total. Nuevos conceptos y técnicas se están implementando aceleradamente en muchas Empresas para lograr esto. Nombres como JIT (Just in Time), TPM (Total Productive Maintenance), TQC (Total Quality Control), RCM (Reliability Centred Maintenance), Lean Production, Calidad Total, Teoría de los 6 ceros, Mejora Continua, etc., se aplican cada vez más al área de mantenimiento.

Es objetivo de este capítulo exponer algunos conceptos, criterios y discusiones sobre algunas de estas tendencias que hoy se manifiestan en la actividad del mantenimiento a nivel mundial.

3.2- Estrategia del mantenimiento.

En las últimas dos décadas la evolución del mantenimiento, descrita en el capítulo anterior, se ha acelerado considerablemente, con el consiguiente aumento de la importancia de esta actividad dentro de las Empresas.

Como respuesta, han ido surgiendo distintas formas para mejorar la eficiencia y la eficacia del mantenimiento por la doble vía de la innovación tecnológica y de las nuevas formas de organización, siendo el mantenimiento uno de los campos en los que resulta más evidente las relaciones entre ambas vías de progreso.

Hace ya tiempo que casi todo lo que se publica al respecto está dominado por el argumento del cambio. Se exhorta a adaptarse a cambios en organización, diseño, tecnología, etc., prácticamente en todos los aspectos de la actividad laboral. Una característica impactante de este fenómeno es la cantidad de cambios que han ocurrido simultáneamente y la extensión de los mismos, que no solo implican cambios radicales de dirección, muchas veces totalmente opuestos a como se hacían las cosas en el pasado, sino además enfrentarnos con conceptos totalmente novedosos.

Todos los reportes establecen que, al menos existen quince áreas (ASPECTOS) claves de cambio, las cuales constituyen un modelo completamente nuevo, teniendo ellas el suficiente alcance como para merecer la mayor atención en la mayoría de las organizaciones. A continuación se resumen estas quince razones, analizadas desde dos posiciones, la primera (antigua) sintetiza el modo en que se hacían las cosas (o cómo se hacen todavía en algunas Empresas), y la segunda (moderna) cómo se hacen ahora (o cómo deberían hacerse), con el objetivo básico de dar una visión rápida de cuáles son los cambios.

ASPECTO # 1.

Antigua: El mantenimiento se ocupa de la preservación de los equipos.

Moderna: El mantenimiento se ocupa de la preservación de las funciones de los equipos.

La mayoría de los ingenieros sienten alguna afinidad con los objetos, ya sean mecánicos, eléctricos o estructurales. Esto conlleva a dar satisfacción cuando están en buenas condiciones y disgustos cuando se encuentran en mal estado. Estos reflejos siempre fueron los rectores del mantenimiento preventivo y ha inducido a muchas personas a creer que el mantenimiento tiene como objetivo preservar la confiabilidad inherente o la capacidad de diseño de cualquier artículo. De hecho esto no es así.

Todo equipo es puesto en servicio porque alguien quiere que haga algo. De esto surge que cuando mantenemos un equipo, el estado en el cual deseamos conservarlo debe ser aquel en el cual continúe haciendo lo que quienes lo utilizan desean que haga. Esto implica que debemos prestar más atención en mantener lo que el equipo hace, más que en lo que el equipo es. Es evidente que para lograr esto se debe tener una visión clara de las funciones y parámetros de funcionamiento de cada equipo.

Por ejemplo, una bomba para agua, con una capacidad nominal de 400 litros/minuto, bombea el líquido a un tanque del cual se consumen 300 litros/minuto. En este caso la función primaria de la bomba es "suministrar agua al tanque a no menos de 300 litros/minuto". Cualquier programa de mantenimiento para esta bomba debe asegurar que no baje de los 300 litros/minuto. Por tanto, para asegurar que el tanque no se vacíe, dicho programa no puede perseguir que la bomba continúe siendo capaz de suministrar 400 litros/minuto. Ahora bien, si esta bomba se cambia para otro tanque, en el cual el consumo es de 350 litros/minuto, la función primaria de ella cambia y, por tanto, el programa de mantenimiento también, pues ahora tiene que satisfacer una mayor expectativa.

Las funciones y expectativas no solo están relacionadas con el volumen de producción, se relacionan también con la calidad del producto, el servicio al cliente, economía y eficiencia de operación, control, protección, cumplimiento de las normas del medio ambiente, integralidad estructural e incluso el aspecto físico del equipo.

ASPECTO # 2.**Antigua: El mantenimiento de rutina es para prevenir fallos.****Moderna: El mantenimiento de rutina es para evitar, reducir o eliminar las consecuencias de los fallos.**

Una planta industrial media puede arrojar de cinco a diez mil modos de fallos posibles y cada uno de estos afecta, de alguna forma, a la organización, a la calidad de los productos, al servicio a los clientes, a la seguridad y al medio ambiente, pero los efectos son diferentes. Todos estos fallos costarán tiempo y dinero para su solución. Estas consecuencias tienen fuerte influencia sobre el énfasis con que trataremos de prevenir el fallo. En caso de que el fallo tenga consecuencias severas, entonces estaremos dispuestos a tomar cualquier medida para tratar de prevenirlo. Sin embargo, si tiene poco o ningún efecto, tal vez entonces decidamos no tomar ninguna acción preventiva. Las consecuencias de los fallos son mucho más importantes que sus características técnicas.

Por ejemplo, un fallo que puede afectar al trabajo de la bomba del ejemplo anterior es el agarrotamiento de un rodamiento debido al deterioro por el uso normal. El reemplazo del rodamiento demora cuatro horas. El tanque tiene capacidad para 90 000 litros (momento en que se detiene el trabajo de la bomba) y el nivel más bajo permitido es de 45 000 litros (momento en que se enciende la bomba). Si el fallo no anticipado del rodamiento sólo se hace evidente a los operarios cuando el nivel del tanque corresponde al bajo nivel, el tanque sólo garantizaría 2,5 horas de suministro de agua y, por consiguiente se vaciará y permanecerá vacío por 1,5 horas, mientras se reemplaza el rodamiento.

Una solución aplicable a esta circunstancia sería el monitoreo de los niveles de vibración. Si es detectado el fallo incipiente, la primera prioridad de los operarios sería llenar el tanque antes de que el rodamiento se agarrote. Con esto, obtendrán cinco horas para hacer una reparación que demora cuatro. Esto a su vez permite evitar las consecuencias de que el tanque se quede vacío, así como también los posibles daños secundarios que pueda sufrir la bomba.

Este ejemplo demuestra que el principal motivo para realizar una tarea de mantenimiento es evitar, reducir o eliminar las consecuencias de un fallo. Una revisión formal de consecuencias de fallos concentra la atención en las tareas de mantenimiento que tiene el mayor impacto en el funcionamiento de la organización y reduce la atención sobre aquellas que tienen baja o ninguna influencia. Esto contribuye a asegurar que cualquiera que sea el costo del mantenimiento, éste sea aplicado donde traerá los mayores beneficios.

ASPECTO # 3.

Antigua: El principal objetivo del mantenimiento es el de garantizar la mayor disponibilidad al mínimo costo.

Moderna: El mantenimiento afecta todos los aspectos de la efectividad de la Empresa, riesgos, seguridad, integridad del medio ambiente, uso eficiente de la energía, calidad del producto y servicio al cliente. No solamente a la disponibilidad y al costo.

Los tiempos de parada de las máquinas siempre han afectado la capacidad productiva de la Empresa limitando los volúmenes de producción. Los costos del mantenimiento han ido en aumento creciente durante los últimos tiempos. La importancia de estos dos aspectos de la administración (tiempos de parada y costos de mantenimiento) hace que muchos jefes de mantenimiento sigan considerándolos como los únicos objetivos significativos de mantenimiento. Sin embargo, esto ha dejado de ser cierto, la función de mantenimiento hoy tiene un espectro más amplio de objetivos adicionales.

El mayor nivel de automatización implica que más y más fallos afecten nuestra habilidad de alcanzar y mantener los niveles de calidad requeridos. Además, este mayor nivel de automatización hace que aumente la cantidad de fallos que tienen serias consecuencias sobre la seguridad o el medio ambiente. Al mismo tiempo que crece la dependencia de los activos físicos, crece también su costo, costo de operarlos y costo de tenerlos.

Este desarrollo hace que el mantenimiento actual desempeñe un papel más creciente hacia los objetivos de preservar todos los aspectos de la salud física, financiera y competitiva de la Empresa.

ASPECTO # 4.

Antigua: La mayoría de los equipos son más propensos a fallar cuando envejecen.

Moderna: La mayoría de los fallos no son más probables cuando el equipo envejece.

Siempre se ha sugerido que la mejor forma de optimizar el funcionamiento de los equipos es mediante su restauración o reposición a intervalos fijos, basada en la teoría de que existe una relación entre el tiempo en que el equipo está en servicio y la probabilidad de que falle. Esto establece que los equipos trabajarán en buen estado un tiempo determinado, a partir del cual fallarán necesariamente.

El pensamiento clásico sostiene que el tiempo de vida de un equipo puede establecerse a partir de los registros históricos sobre los fallos del mismo, permitiendo esto ejecutar un conjunto de acciones preventivas. Tales acciones se realizan poco antes de que dicho equipo pueda fallar. Esta relación entre edad y fallo puede considerarse válido para ciertos tipos de equipos, pero no para todos.

Sin embargo, en general los equipos son hoy día mucho más complejos de lo que eran años atrás. Esto ha llevado a cambios asombrosos en los patrones de fallo, como se muestra en la siguiente figura.

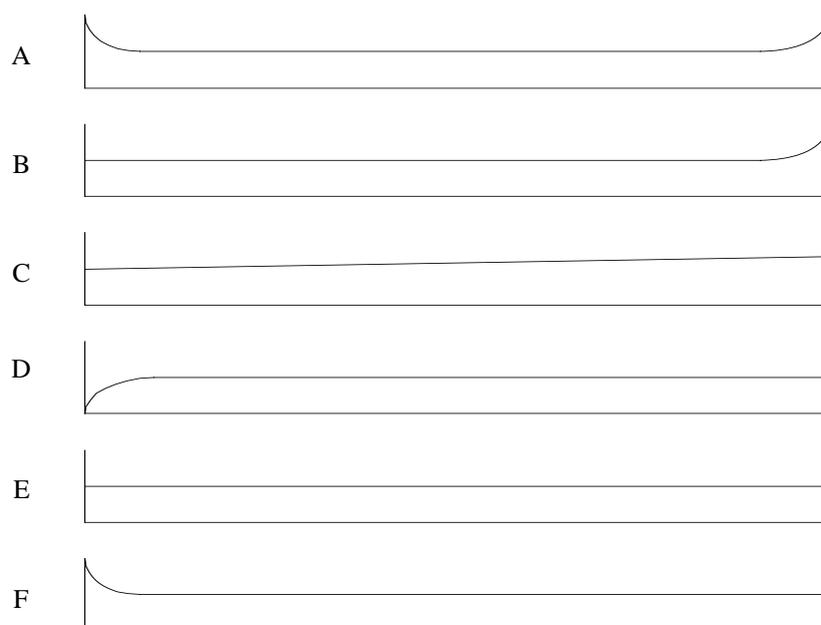


Fig 28: Patrones de fallo.

En muchos equipos mecánicos y eléctricos el comportamiento de la probabilidad de ocurrencia del fallo en función su edad se comporta según una de estas variantes. La variante A es la bien conocida "curva de bañera", donde se definen tres zonas durante la utilización del equipo (asentamiento, explotación normal y fallos intensivos). La variante B muestra un comportamiento estable de la probabilidad de ocurrencia del fallo durante casi toda la vida útil del equipo hasta un valor de labor en el cual comienza a aumentar. La variante C muestra una probabilidad lentamente creciente de ocurrencia del fallo sin una edad específica del incremento del desgaste. En la variante D se aprecia una baja probabilidad inicial de ocurrencia del fallo y luego un incremento a nivel constante. En la variante E se aprecia que la probabilidad de ocurrencia del fallo es independiente a la edad del equipo por mantenerse constante durante todo el período de explotación. Por último, en la variante F se empieza con un alto valor de esta probabilidad para luego decaer a una probabilidad baja y constante o ligeramente creciente del fallo.

Estas conclusiones contradicen la creencia de que siempre existe una relación entre la fiabilidad y la edad del equipo; creencia que llevó a la idea de que cuanto más frecuente se restaurara un equipo, menor sería su probabilidad de fallo. Por tanto, salvo que exista un modo de fallo dominante que esté relacionado con la edad del equipo, las restauraciones o reemplazos a intervalos fijos hacen poco o nada en favor de la fiabilidad de los equipos complejos.

Muchos profesionales del mantenimiento están conscientes de estas situaciones y comienzan a preocuparse por la realidad de la aleatoriedad. El hecho de que la curva de bañera aparezca aún en textos sobre mantenimiento es testimonio de la fe, casi mística, que algunas personas mantienen con relación a la correlación que existe entre edad y fallo. Esta creencia tiene dos grandes inconvenientes en la práctica: por una parte, conduce a creer que aunque no se tenga evidencia cierta de que existe un modo de fallo relacionado con la edad, de todos modos es prudente restaurar un equipo

de tanto en tanto "por si acaso" como si tal fallo existiese. En consecuencia con esto se induce la muerte infantil del equipo, produciendo justamente los fallos que se pretenden prevenir, según se muestra en la siguiente figura.

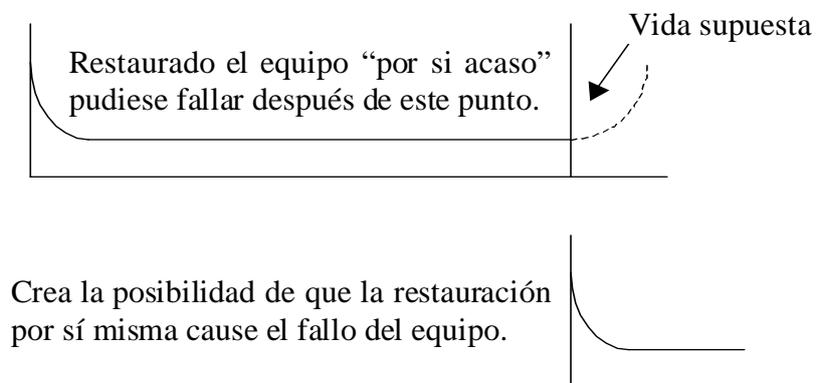


Fig 29: Consecuencias de la restauración "por si acaso".

Por otra parte, los creyentes en la bañera se autoconvencen de que es más seguro suponer que todo tiene vida útil y en consecuencia restaurar los equipos en base a esta vida supuesta que aceptar que pueda fallar aleatoriamente. Después de implantar un sistema preventivo, basado en esto, sostienen que ningún fallo debiera ocurrir en el período comprendido entre mantenimientos consecutivos, y que cualquiera que ocurriese no puede ser atribuido a la falta de mantenimiento. La posibilidad de que este mantenimiento pueda ser la causa de un fallo no se les ocurre a estas personas. Peor aún, se niegan a aceptar que ante la ausencia de cualquier evidencia en contra, es más conservador desarrollar estrategias de mantenimiento que suponen que cualquier fallo puede ocurrir en cualquier momento y no suponer que solamente ocurrirá después de cierto período de tiempo en servicio.

ASPECTO # 5.

Antigua: Para desarrollar un programa de mantenimiento exitoso es necesario disponer de buenos datos estadísticos sobre la ocurrencia de los fallos.

Moderna: Las decisiones sobre el control de fallos de los equipos casi siempre tendrán que ser tomadas con datos inadecuados sobre la ocurrencia de los fallos.

Todavía hoy se mantiene la creencia de que se pueden formular políticas eficaces de mantenimiento si se dispone de un extenso historial de información sobre fallos. En el mundo se han creado e instalado muchos sistemas computarizados para tales fines. También ha inducido a poner mucho énfasis en los patrones de fallo analizados en el aspecto anterior. Desde el punto de vista del mantenimiento esto está cargado de dificultades prácticas y de contradicciones, resumidas en los siguientes aspectos:

a) Dimensión de la muestra y evolución del equipamiento.

Por lo general, en las Empresas Industriales existen uno o dos equipos de cada tipo y tienden a ser puestos en funcionamiento en forma secuencial y no simultáneamente. Esto significa que el tamaño de la muestra estadística suele no ser representativo cuando queremos realizar un estudio de fiabilidad. Además tales equipos se encuentran en constante evolución y modificación, motivado como respuesta a nuevos requisitos operacionales o para intentar eliminar los fallos que producen serias consecuencias o son demasiados costosos para prevenirlos. Quiere esto decir que el período de tiempo durante el cual cualquier equipo permanece con una misma configuración es relativamente pequeño.

En tales circunstancias los registros históricos no tienen mucha validez, ya que la base de datos es muy pequeña y está constantemente cambiando. Tal vez la gran excepción son las Empresas que poseen gran cantidad de equipos idénticos utilizados en similares condiciones de explotación.

b) Complejidad.

La cantidad de equipos y la diversidad de ellos, en la mayoría de las Empresas, significa que es casi imposible desarrollar una descripción analítica completa de las características de fiabilidad de todos ellos, ni siquiera de los equipos importantes. Esto se complica aún más por el hecho de que muchos fallos funcionales pueden tener muchas causas. En consecuencia, mientras es relativamente fácil registrar estadísticamente los fallos funcionales, sería una enorme tarea aislar y describir los patrones de fallo reales que se aplican a cada modo de fallo.

c) Información sobre los fallos.

Cuando la política de información no es coherente, aparecen más problemas. Por ejemplo, en un área de la Empresa un equipo puede ser sacado de servicio porque está fallando, mientras que en otra área solo se le retira cuando ha fallado. También surgen diferencias cuando difieren las expectativas de funcionamiento. Del ejemplo analizado en el aspecto 1, la bomba en cuestión ha fallado cuando es incapaz de suministrar 300 litros/minuto en un contexto, pero 350 litros/minuto en otro. Esto demuestra que lo que puede ser considerado como un fallo en un área, puede no serlo en otra, resultado del cual aparecerán dos bases de datos totalmente diferentes para dos equipos aparentemente idénticos.

Por tanto, lo que más distorsiona toda la cuestión del historial técnico es el hecho de que si estamos registrando datos sobre fallos, debe ser porque no los estamos previniendo. Las consecuencias de esto están resumidas por Resnikoff en el siguiente planteamiento:

"La obtención de la información que los diseñadores de políticas de mantenimiento consideran más necesaria (información referida a fallos críticos) en principio es inaceptable y pone en evidencia las deficiencias del programa de mantenimiento. Se sabe que existen fallos críticos que pueden ocasionar (y en algunos casos necesariamente ocasionan) la muerte. Ningún porcentaje de muerte es aceptable como precio para la obtención de la información sobre los fallos dirigida a establecer

políticas de mantenimiento. Por lo tanto, el diseñador de políticas de mantenimiento enfrenta el problema de fijar una política de mantenimiento para la cual la expectativa de pérdida de vida sea menor que la de la vida esperada del equipo”.

Todo esto coloca al personal técnico de mantenimiento frente a la contradicción más flagrante con respecto a la prevención de los fallos con consecuencias graves y la información histórica de dichos fallos: un mantenimiento preventivo eficaz que impide obtener los datos históricos que se creen necesitar para decidir qué mantenimiento preventivo se debe aplicar para que sea eficaz. Por otra parte, aquellos fallos con consecuencias poco importantes suelen ser tolerados, precisamente porque no importan mucho. Como resultado es fácil obtener datos estadísticos sobre los mismos, teniendo un material para realizar un análisis estadístico representativo. Sin embargo, como estos fallos importan poco, es muy probable que las intervenciones de mantenimiento a intervalos fijos resulten poco eficaces, es decir, si bien para estos casos la obtención y análisis de estadísticas históricas es válido por su precisión, también será probable que constituya una pérdida de tiempo.

Los profesionales del mantenimiento deben cambiar su política al respecto: dejar de contar fallos para anticiparse o prevenir fallos, que es lo que importa.

ASPECTO # 6.

Antigua: Existen tres tipos básicos de mantenimiento: Predictivo, Preventivo, Correctivo.

Moderna: Existen cuatro tipos básicos de mantenimiento: Predictivo, Preventivo, Correctivo, Detectivo.

Comúnmente se conocen y se aplican tres sistemas de mantenimiento: predictivo, preventivo y correctivo. El mantenimiento predictivo implica constatar si algo está fallando. El preventivo implica normalmente restaurar o sustituir equipos o piezas a intervalos fijos. El correctivo significa reparar cuando el equipo ha fallado. Sin embargo, existe toda una familia de tareas de mantenimiento que no está incluida en ninguno de los tipos de mantenimiento anteriores. Por ejemplo, cuando se acciona una alarma contra incendios de cuando en cuando, no estamos verificando si está fallando, tampoco la estamos reparando ni reemplazando elementos, simplemente estamos verificando si funciona.

Los trabajos destinados para verificar si algo funciona bien se conocen con el nombre de "verificación funcional" o "tareas de búsqueda de fallos". Por coherencia y, para que rimen con los demás sistemas, se le llama mantenimiento detectivo, porque se utilizan para conocer si algo ha fallado. Este tipo de mantenimiento se aplica solamente para detectar fallos ocultos o no evidentes, afectando estos fallos a los dispositivos de protección.

Si aplicamos técnicas científicas a cualquier sistema industrial moderno y complejo vemos que aproximadamente el 40% de los modos de fallo pertenecen a la categoría de fallos ocultos. Más aún, aproximadamente el 80% de estos modos de fallo requieren "búsquedas de fallos". Quiere esto decir que casi la tercera parte de las tareas generadas por un programa de mantenimiento completo y correctamente aplicado serán detectadas. Esto no quiere decir que el sistema predictivo no deba ser utilizado. Donde

es bueno el predictivo debemos utilizarlo, pero recordando desarrollar otras estrategias.

En muchas Empresas la mayoría de los planes de mantenimiento tradicionales solamente atienden a la tercera parte de los dispositivos de protección y generalmente se hace de forma inadecuada. La falta de atención a este tipo de equipamiento significa que ellos reciben poco o ningún tipo de mantenimiento, siendo esta situación impermisible.

Si la industria toma en serio los temas de seguridad e integridad ambiental, entonces el mantenimiento detectivo debe recibir primera prioridad en términos de urgencia.

ASPECTO # 7

Antigua: La frecuencia con que se realiza el mantenimiento predictivo debe basarse en la frecuencia de aparición del fallo y/o a la criticidad del equipo.

Moderna: La frecuencia con que se realiza el mantenimiento predictivo debe basarse en la duración del período de desarrollo del fallo (también conocido como tiempo de demora hasta el fallo o intervalo P-F).

Cuando se discute con qué frecuencia debe realizarse el mantenimiento predictivo muchas veces se oye decir lo siguiente: No falla con frecuencia, por lo tanto no es necesario revisarlo con tanta frecuencia, o Debemos revisar los elementos críticos con una frecuencia mayor que los elementos menos críticos. Ambos planteamientos están equivocados.

La frecuencia con que se ejecuta el mantenimiento predictivo no tiene nada que ver con la frecuencia del fallo ni con la criticidad del equipo. La frecuencia de cualquier forma de mantenimiento predictivo se basa en el hecho de que la mayoría de los fallos no ocurren de forma repentina, sino gradual. En muchos casos es posible detectar que el fallo ha comenzado a ocurrir durante los estadios finales del deterioro. La siguiente figura muestra este proceso.

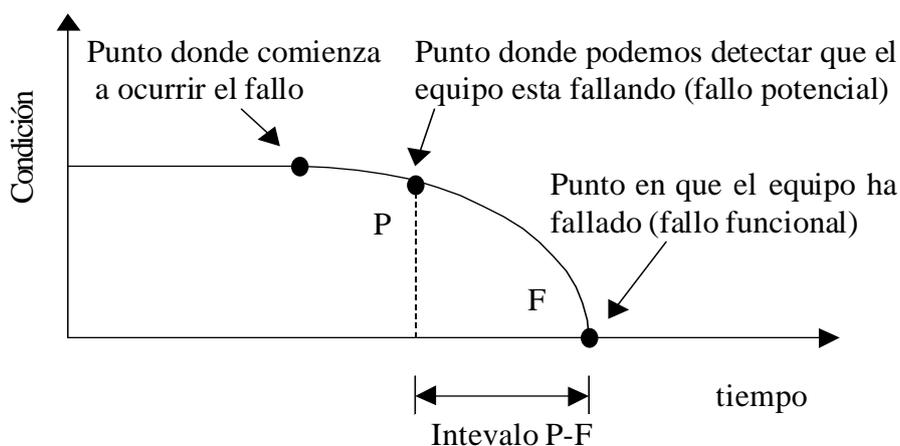


Fig 30: Curva P-F.

Se le denomina "Curva P-F" porque muestra como un fallo comienza y prosigue el deterioro hasta un punto en el cual puede ser detectado (punto de fallo potencial "P"). A partir de aquí, si no se detecta y no se toman las medidas adecuadas, continúa el deterioro, a veces a un ritmo acelerado, hasta alcanzar el punto de fallo funcional "F". El tiempo transcurrido entre el momento en que aparece el fallo potencial y el momento en el cual se transforma en fallo funcional se conoce como intervalo P-F.

El intervalo P-F rige la frecuencia con que debe realizarse el mantenimiento predictivo. La periodicidad de ejecución de este mantenimiento debe ser sensiblemente menor que dicho intervalo si queremos detectar el fallo potencial antes de que se convierta en fallo funcional. Este intervalo puede ser medido en cualquier unidad relacionada con la utilización del equipo (tiempo de uso, unidades producidas, número de paradas y arranque, etc.), siendo la forma más frecuente según el tiempo de trabajo transcurrido.

El tiempo necesario para responder a cualquier fallo potencial que se descubra influye también sobre la periodicidad del mantenimiento predictivo. En general, esta respuesta implica una o todas las siguientes acciones:

1. Actuar para evitar las consecuencias del fallo.
2. Planificar una acción correctiva que pueda ser ejecutada sin interrumpir la producción o de otras tareas de mantenimiento.
3. Planificar los recursos necesarios para corregir el fallo.

El tiempo necesario para tales respuestas es también variable. Pueden ser horas (hasta el fin de un ciclo de trabajo o hasta el final del turno de trabajo), minutos (para evacuar personas de un edificio que se está derrumbando) o aún segundos (para detener una máquina o un proceso que se está saliendo de control), hasta semanas o meses (hasta una parada general).

En la mayoría de los casos se define la periodicidad del mantenimiento predictivo como la mitad del intervalo P-F. Esto asegura que la tarea de revisión encontrará el fallo antes de que ocurra el fallo funcional, dando la posibilidad de contar con la mitad de dicho intervalo para tomar alguna medida al respecto. En algunos casos es necesario establecer la periodicidad del predictivo como una fracción diferente del intervalo P-F.

Si el intervalo P-F es demasiado corto para que la revisión resulte práctica en ese intervalo, o si el intervalo P-F es demasiado corto para permitir cualquier medida una vez encontrado el fallo potencial, el mantenimiento predictivo no es apto para ese modo de fallo.

ASPECTO # 8.

Antigua: En caso de ser técnicamente factible aplicar tanto el mantenimiento preventivo como el predictivo, generalmente el preventivo es más económico y efectivo que el predictivo.

Moderna: En caso de ser técnicamente factible aplicar el mantenimiento preventivo como el predictivo, generalmente el predictivo es más económico y efectivo que el preventivo.

Hoy día este aspecto es bien entendido por la mayoría de los especialistas en mantenimiento, sin embargo, aún quedan quienes piensan lo contrario. Demostremos esto mediante un ejemplo.

En muchos países está establecido que la profundidad mínima legalmente aceptable para mantener en la explotación a los neumáticos de un automóvil es de 2 mm. Cuando se alcanza este valor dichos neumáticos deben ser recapados o cambiados. En la práctica se ha podido comprobar la correlación que existe entre la edad y el fallo debido al desgaste natural de la banda de rodamiento. En la siguiente figura se muestran los datos de un fallo de este tipo para un parque de vehículos similares.

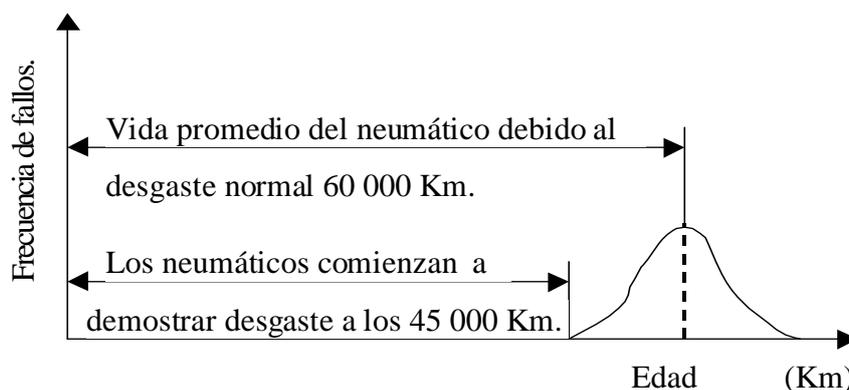


Fig 31: Vida promedio de los neumáticos.

Como se observa, la mayoría de los neumáticos tienen una vida útil entre los 45 000 y los 75 000 km. Si se adoptase una política de recaparlos todos a intervalos fijos (mantenimiento preventivo) en base a estos datos estadísticos, dichos neumáticos serían recapados a los 45 000 km. Significa esto que muchos neumáticos serán recapados antes de lo necesario, los que pueden llegar a los 75 000 km. se les acortaría la vida en 30 000 km.

Por otra parte, es posible definir una condición de fallo potencial de los neumáticos en función de la profundidad del dibujo, pues verificar esta es una operación rápida y fácil. Por tanto, es sencillo revisar todos los neumáticos, por ejemplo, cada 3 000 km. y programar su recapado solamente cuando lo requieran. Esto permitirá obtener un promedio de uso de 60 000 km. sin correr riesgos, en vez de los 45 000 km. que se lograría si se efectúa el mantenimiento preventivo antes descrito, representando un aumento de la vida útil del 33 %.

Este ejemplo demuestra que el mantenimiento predictivo es mucho más eficaz que el preventivo, considerándose siempre el primero debido a:

1. Casi siempre puede ser ejecutado sin mover al equipo y generalmente durante su operación normal, es decir, rara vez se interrumpe la producción. Además suele ser fácil de organizar.
2. El mantenimiento predictivo identifica las condiciones de aparición de los fallos potenciales, lo cual permite definir claramente las acciones correctivas antes de iniciarlas. Esto permite reducir el volumen de los trabajos de reparación a ejecutar y posibilita realizarlos en el menor tiempo posible.
3. Al identificar la falla de los equipos en el punto de fallo potencial se logra el máximo aprovechamiento de la vida útil de los mismos.
4. La cantidad de reemplazos que se realizan por fallos potenciales es ligeramente superior a la que ocurriría por fallos funcionales, de tal forma que el costo total de la reparación y de repuestos sería mínimo.

ASPECTO # 9.

Antigua: Los incidentes serios (accidentes catastróficos) que implican los fallos múltiples generalmente son el resultado de la "mala suerte", y por tanto son impredecibles.

Moderna: La probabilidad de un fallo múltiple es, en buena medida, una variable predecible, especialmente en los sistemas protegidos.

En el pasado los grandes accidentes industriales solían ser considerados como un riesgo adicional, pensándose que era demasiado costoso analizar los sistemas con suficientes detalles como para controlar los riesgos con alguna credibilidad.

Especialistas en fiabilidad han desarrollado numerosas herramientas para determinar las probabilidades acumuladas de fallos y los niveles globales de riesgo que afectan a los sistemas más complejos. Sin embargo, la tendencia a considerar la probabilidad de fallo como fija ha impuesto cierta limitación a la aplicación de estas técnicas, reafirmando la creencia de que la única forma de modificar la probabilidad de fallos múltiples asociadas con tales fallos es modificando el sistema, tal vez agregando más protección o reemplazando los componentes existentes por otros más confiables. De hecho, ahora se ha puesto en evidencia que es factible modificar la probabilidad de fallos hasta alcanzar valores razonables.

La probabilidad aceptable para cualquier fallo múltiple depende de sus consecuencias. En algunos casos los niveles de aceptabilidad están dados por normas o disposiciones legales, pero en la gran mayoría de los casos, la determinación debe ser efectuada por quienes utilizan el equipo.

No obstante a esto, se debe tomar una decisión con relación al nivel de riesgo aceptable antes de decidir cómo debe diseñarse, operarse y mantenerse a los sistemas protegidos. De hecho, convencer a la dirección de que se trata de una variable manejable, y que por lo tanto ellos deben analizarla es uno de los mayores desafíos que hoy deben enfrentar los profesionales del mantenimiento.

ASPECTO # 10.

Antigua: La forma más rápida y segura de mejorar el comportamiento de un equipo que no es confiable es mejorando su diseño.

Moderna: Casi siempre es más eficaz tratar de mejorar el comportamiento de un equipo mejorando la forma en que es operado y mantenido que revisando el diseño. Esto último es posible sólo si tal solución no logra el comportamiento deseado.

Muchos problemas que se presentan durante la explotación de los equipos pudieron haberse evitado durante el diseño del mismo. Los diseñadores de equipos no solo deben considerar qué debe hacerse para crear equipos que funcionen, sino diseñarse para que continúen funcionando. Muchos creen que la mejor manera de mejorar el comportamiento de los equipos es volver a la mesa de dibujo y rediseñar el mismo, sin detenerse a pensar si la solución de los problemas radica en aplicar mejores técnicas de mantenimiento. En la práctica el mantenimiento debe ser considerado antes que el rediseño por las siguientes razones:

1. La mayoría de las modificaciones llevan demasiado tiempo (de meses a años) desde el inicio hasta la entrega funcionando, dependiendo del costo y la complejidad del nuevo diseño.
2. Al intentar obtener un funcionamiento deseado de los equipos tal y como están configurados contribuye a priorizar esta alternativa por encima del rediseño.
3. No hay garantía de que el nuevo diseño resolverá completamente el problema.

Lo antes expuesto no quiere decir que nunca debemos rediseñar equipos en funcionamiento. A veces se presentan casos en que las prestaciones deseadas del equipo exceden su fiabilidad inherente. En tales casos ningún mantenimiento podrá lograr que el equipo se comporte como deseamos.

ASPECTO # 11.

Antigua: Para la mayoría de los equipos pueden desarrollarse políticas iguales de mantenimiento.

Moderna: Las políticas iguales de mantenimiento solo deben aplicarse a equipos idénticos cuyo contexto operacional, funciones y parámetros característicos de funcionamiento también sean idénticos.

La mayoría de los planes de mantenimiento tradicionales aplican políticas genéricas para todos los equipos. Sin embargo, la formulación científica de las técnicas de mantenimiento demuestra que la aplicación de un sistema de mantenimiento similar para todos los equipos es uno de los motivos principales por los cuales tantos programas de mantenimiento son ineficientes.

A continuación se exponen los aspectos básicos que influyen en los planes de mantenimiento genéricos, y por qué estos deben ser tratados con gran cautela:

1- Función del equipo.

Un equipo puede tener una función en una ubicación y una expectativa diferente en otra. Parámetros de prestación diferentes necesariamente requieren de políticas

de mantenimiento también diferentes, especialmente cuando se utilizan equipos similares en condiciones de operación diferentes. La siguiente figura muestra lo antes planteado.

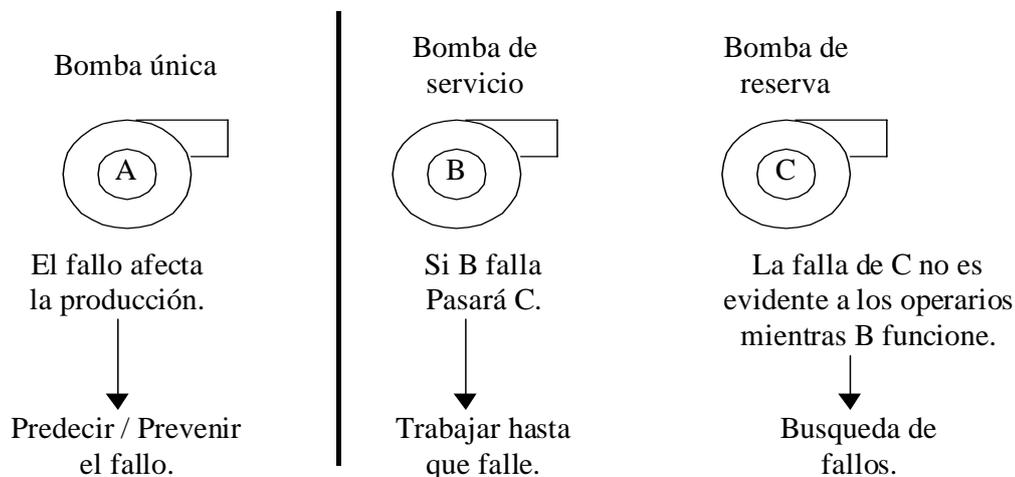


Fig32: Búsqueda de la estrategia de mantenimiento según la prestación del equipo.

2- Modo de fallo.

Cuando se utilizan equipos similares en condiciones de operación diferentes (alta humedad o mucho polvo), o bien en la ejecución de tareas diferentes (cortar un metal algo más duro que lo normal o el trasiego de un líquido más abrasivo) los modos de fallo variarán drásticamente. Esto implica que también las estrategias de mantenimiento tendrán que variar.

3- Consecuencias de los fallos.

Cuando las consecuencias de los fallos son diferentes las políticas de mantenimiento serán diferentes.

Según el ejemplo mostrado en la figura (32) la bomba (A) es una bomba única, es decir no tiene reserva. En tal caso, si ella falla el proceso se afectará tarde o temprano. Por tal motivo, será necesario realizar esfuerzos para anticiparse al fallo o prevenirlo. La medida del esfuerzo dependerá de la magnitud en que se afecta la producción, así como de la seriedad y frecuencia de los fallos. En cambio, si falla la bomba (B) (similar a la A) la acción se centrará simplemente en su cambio por la bomba (C), por lo que la única consecuencia para la bomba (B) es que tendrá que ser separada del proceso productivo para su reparación. Es una práctica común que en estos casos se deje trabajar el equipo hasta que falle, pues tiene reserva. Por otra parte, si la bomba (C) falla mientras la (B) aún está funcionando (por ejemplo si alguien le quitó una pieza para utilizarla en otro equipo), lo más probable es que los operarios de dichas bombas ni siquiera sepan que la bomba (C) ha fallado hasta que falle la bomba (B) también. En estos casos una estrategia sensata es hacer funcionar el equipo de reserva de cuando en cuando para detectar si ha fallado.

Esto demuestra cómo tres equipos similares necesitan tres estrategias de mantenimiento totalmente diferentes, ya que las consecuencias de los fallos son también diferentes en cada caso.

4- Ejecución de los trabajos de mantenimiento.

El personal que labora en el mantenimiento raramente poseen idénticas habilidades. Esto implica que algunas personas que trabajan en el mantenimiento de un equipo pueden preferir la utilización de un sistema dado (por ejemplo, predictivo para anticiparse a los fallos), mientras que otro grupo, trabajando con un equipo idéntico, puedan sentirse más cómodos utilizando otro sistema (por ejemplo el preventivo con la incorporación de algunas técnicas del diagnóstico). De hecho muchas Empresas han comenzado a experimentar la no imposición de un sistema único de mantenimiento, argumentando que "conviene más que el personal que tiene que ejecutar el mantenimiento se sienta más cómodo en ejecutarlo, que imponer a todos una política similar".

Como conclusión de todo esto se puede plantear que debe tomarse especial cuidado en asegurar que el contexto operacional, las funciones y los parámetros de funcionamiento deseados, sean virtualmente idénticos, antes de aplicarle a un grupo de equipos una política de mantenimiento similar.

ASPECTO # 12.

Antigua: Las políticas de mantenimiento deben ser elaboradas por los directores y jefes de mantenimiento y los planes de mantenimiento por especialistas calificados o por especialistas externos.

Moderna: Las políticas de mantenimiento deben ser establecidas por las personas que están más cerca de los equipos. La responsabilidad de la Dirección es brindar las herramientas necesarias que permitan tomar las decisiones correctas y asegurar que estas decisiones sean sensatas y defendibles.

Muchos departamentos de mantenimiento aplican la máxima antigua para establecer la política de mantenimiento a seguir. Comúnmente este Departamento centra los programas de mantenimiento y dedican enormes esfuerzos y gran cantidad de energía para estos fines. Cuando esto sucede los programas de mantenimiento establecidos no son lo más eficaces posibles por los motivos siguientes:

1- Validez técnica.

El personal que establece los programas de mantenimiento por lo general no está en contacto con las máquinas y equipos. En consecuencia con esto, tienen un conocimiento incompleto e inadecuado respecto a las funciones, modos, efectos y consecuencias de los fallos de los elementos para los cuales está establecido dicho programa, provocando el establecimiento de programas idénticos de mantenimiento. La consecuencia de esto es que las personas responsabilizadas en poner en práctica

los programas de mantenimiento, realizados por un departamento fuera de la realidad lo encontraban incorrecto o irrelevante.

2- Pertenencia.

Por lo general, los operarios de mantenimiento ven a los programas como una papelería burocrática poco bienvenida. Muchos inician los programas y luego los detienen y, lo que es más peligroso, algunos ni siquiera los miran. El motivo principal de esta falta de interés es la no participación en la planeación de los programas de mantenimiento.

La única forma de eliminar la no validez técnica y la falta de participación es incorporar al proceso de estrategias de mantenimiento al personal que trabajan con las máquinas y equipos. Ellos son los que realmente saben cómo funcionan los equipos, qué es lo que falla, cuánto importa la falla y qué tiene que hacerse para repararlo. La mejor forma de disponer de sus conocimientos es hacerlos participar permanentemente en las reuniones para definir estrategias de mantenimiento, haciendo falta para esto capacitarlos al respecto.

Si esto se hace correctamente no solo se obtendrán programas de mantenimiento de validez técnica muy superior a lo que jamás se había logrado, sino que también se logra un nivel alto de aceptación y participación. Como consecuencia de esto, el personal de mantenimiento creará en los programas de mantenimiento.

Por otra parte, es sabio evitar la contratación de personas externas a la Empresa para establecer estrategias de mantenimiento. En la mayoría de los casos la total ignorancia de estas personas sobre el comportamiento en la explotación de las máquinas y equipos solo conseguirá que se establezcan formularios que servirán de poco o nada.

ASPECTO # 13.

Antigua: El Departamento de Mantenimiento puede desarrollar un programa de mantenimiento exitoso y perdurable por su cuenta.

Moderna: Un programa de mantenimiento sólo puede ser exitoso y perdurable si es desarrollado por "Mantenimiento" junto con "Producción", trabajando siempre juntos.

Para poder desarrollar las estrategias de mantenimiento es necesario involucrar a todas las personas implicadas en esta actividad, jefes, operarios y personal de mantenimiento.

Es una práctica común que "Mantenimiento" trate de asegurar que los equipos continúen funcionando de acuerdo con los parámetros establecidos por "Producción". Para poder establecer estrategias adecuadas de mantenimiento "Mantenimiento" tiene que comenzar preguntando a "Producción" qué es lo que quieren, y por tanto "Producción" tiene que tener bien definido qué es lo que quiere que cada equipo

realice. Ambos departamentos deben verificar que el equipo sea capaz de cumplir con sus requerimientos.

"Mantenimiento" debe integrarse más a "Producción" y viceversa. El personal de producción puede contribuir enormemente en la formulación de nuevas estrategias de mantenimiento. Al mismo tiempo aprenden sobre modos de fallo causados por error humano, y por consiguiente, qué deben hacer para dejar de romper sus máquinas. También desempeñan un papel clave en la evaluación de las consecuencias del fallo. Finalmente, la participación en este proceso ayuda a "Producción" a comprender claramente por qué es necesario brindarle mantenimiento a los equipos y por qué se necesita que los propios operarios ejecuten determinadas tareas de mantenimiento.

Por tanto, desde el punto de vista técnico, se hace evidente que en la mayoría de las Empresas es prácticamente imposible establecer una estrategia de mantenimiento válida y perdurable sin implicar a "Producción". Esta es la esencia del Total Quality Control. Lograr la participación de todos los factores en todas las etapas del proceso garantizará que ambos departamentos, Producción y Mantenimiento, comiencen a funcionar, por primera vez, como un verdadero equipo.

ASPECTO # 14.

Antigua: Los fabricantes y proveedores de equipos están en las mejores condiciones para desarrollar los programas de mantenimiento a los equipos.

Moderna: Los fabricantes y proveedores de equipos solamente pueden desempeñar un papel limitado, aunque importante, en el desarrollo de programas de mantenimiento.

La compra tradicional de equipos incluye el pedido al proveedor del programa de mantenimiento. Fuera de otras consideraciones, esto presupone que el fabricante sabe todo lo que tiene que saber para desarrollar un programa de mantenimiento adecuado para sus equipos.

La realidad es que el fabricante no posee mejor información que los programadores tradicionales de mantenimiento con relación al contexto operacional de los equipos, parámetros de funcionamiento, modos, efectos y consecuencias de los fallos, habilidad de quienes lo operan y mantienen, etc. Por otra parte, los programas de mantenimiento desarrollados por el fabricante son genéricos, es decir, similar para todos los equipos sin tener en cuenta las condiciones de operación. Además, el fabricante tiene otros objetivos cuando especifica algún programa de mantenimiento, uno de los cuales es el de vender repuestos. Todo esto, unido al desconocimiento de las condiciones de operación específicas del equipo, implica que los programas de mantenimiento suministrados por el fabricante presenten una notable tendencia al sobremantenimiento. Esto no quiere decir que los fabricantes de equipos despistan intencionalmente cuando recomiendan sus programas. De hecho,

hacen lo mejor posible para lograr esto con la información que tienen disponible. Los equivocados son los explotadores por solicitar dicha información.

Algunas Empresas resuelven este problema adoptando un enfoque totalmente diferente para el desarrollo del mantenimiento de máquinas, equipos e instalaciones. Estas solicitan al fabricante la participación de técnicos competentes para trabajar junto a las personas que finalmente tendrán que operar y mantener a los equipos para desarrollar programas de mantenimiento que resulten satisfactorios. De tal suerte, el usuario adquiere la mejor información disponible que el fabricante puede suministrar, mientras desarrolla un programa de mantenimiento adecuado a sus necesidades específicas, relacionado con las condiciones reales de explotación de los equipos. El fabricante perderá un poco en la venta inicial de repuestos, pero a la larga ganará todos los beneficios asociados con las mejoras en el desempeño de sus máquinas y menores costos de explotación.

ASPECTO # 15.

Antigua: Es posible encontrar de entrada una solución rápida para los problemas de la eficacia del mantenimiento.

Moderna: Los problemas de mantenimiento obtienen su solución en dos etapas:

- **Cambiando la forma en que las personas piensan.**
- **Logrando que apliquen esa nueva forma de pensar a la solución de los problemas técnicos.**

Si nos detenemos a revisar el alcance de los cambios que implican adoptar los nuevos conceptos de los aspectos analizados anteriormente se pone en evidencia cuánto tienen que cambiar las Empresas tradicionales para adoptar las máximas modernas.

La mayoría de las Empresas pueden introducir estos cambios en poco tiempo si utilizan herramientas poderosas y bien estructuradas, las cuales están disponibles para formular modernas estrategias de mantenimiento. La inversión necesaria para realizar estos cambios puede recuperarse en poco tiempo. Lamentablemente, algunas Empresas perseveran en la obsesión de lograr resultados inmediatos, considerando que los cambios son demasiado lentos. Muchos factores conspiran contra la implantación de estos cambios, y entonces el resultado es buscar "atajos", la solución más peligrosa de todas porque por una parte la búsqueda del "atajo" lleva tiempo, tiempo destinado a inventar lo que está inventado y no en comenzar con la tarea de mejorar el funcionamiento de los equipos, y por otra parte porque los "atajos" generalmente hacen que no se noten los cambios o que tales cambios no ocurran del todo.

De hecho, las Empresas que buscan un programa eficaz y perdurable de mantenimiento deben tener presente que "mejora" es un camino, no un "destino". En el campo del mantenimiento de equipos esto significa que debemos renunciar a la búsqueda de la solución mágica que elimine todos nuestros problemas de una sola vez. El éxito estará mucho mejor asegurado si comenzamos a eliminar los problemas uno a uno.

3.3- Calidad Total.

Los conceptos o interpretaciones del concepto de calidad están dados por diferentes subjetividades en función de las preferencias de las personas, siendo los más relevantes los siguientes:

- Aptitud o adecuación para el uso.
- Un producto o servicio es de calidad cuando satisface las necesidades o expectativas del cliente en función de parámetros, tales como:
 - ◆ Seguridad del producto al cliente.
 - ◆ Fiabilidad o capacidad que tiene el producto para cumplir sus funciones.
 - ◆ Servicio.
 - ◆ Es el conjunto de características de un producto, proceso o servicio que le confiere su aptitud para satisfacer las necesidades del cliente.
 - ◆ Es lo que el cliente está dispuesto a pagar en función de lo que obtiene y valora.

El concepto de calidad ha evolucionado con el tiempo, definiéndose cuatro etapas fundamentales como se muestra a continuación:

Tiempo histórico	Características	Responsabilidad	Enfoque
Hasta la Revolución Industrial	Inspección.	Departamento de Control de la Calidad.	La calidad de inspecciona. Es un problema a ser resuelto.
Décadas 30-40	Control estadístico de la calidad.	Departamento de Control e Ingeniería	La calidad se controla. Es un problema a ser resuelto.
Décadas 50-70	Aseguramiento de la calidad.	Todos los departamentos y áreas de la Empresa con la participación de la alta dirección.	La calidad se construye desde dentro. Es un problema a ser resuelto pero se enfrenta de forma práctica.
Después de 1980	Gestión de la calidad.	Todas las personas de la Empresa con la alta dirección como líder.	La calidad se administra. Es la posibilidad de satisfacer las expectativas del cliente.

Fig. 33: Etapas principales del movimiento por la calidad.

El concepto de calidad total es un concepto diferente y mucho más amplio que el de calidad, en realidad es una nueva filosofía de la Empresa.

Las características fundamentales de esta nueva filosofía de empresa pueden resumirse en los siguientes aspectos:

1. La calidad no se controla.
2. No basta controlar la calidad.
3. El control tradicional no mejora la calidad.
4. La calidad hay que diseñarla, fabricarla.
5. Anteponer el concepto de detección al de prevención.
6. Efectuar el autocontrol.

7. Calidad total es un concepto global de la Empresa, en donde cada departamento asume que es cliente y proveedor de los servicios, productos, informaciones, etc.
8. Cada trabajador debe autocontrolarse y conocer sus resultados. Debe tener información de lo que está haciendo, lo que debe hacerse y las acciones a ejecutar para modificar lo que está haciendo (si no es lo mejor).
9. La calidad es un valor compartido por toda la Empresa.
10. Existe flexibilidad a todos los niveles.

Una Empresa presta un servicio de calidad total cuando en todas sus fases (producción, investigación, comercial, finanzas, logística, etc.) satisface las necesidades del cliente.

Para poder implementar la calidad total en una Empresa deben cumplirse los siguientes principios:

1. La calidad requiere un proceso de aplicación sistemática en toda la Empresa.
2. La calidad necesita de la participación individual y del trabajo en equipo.
3. La calidad concierne a todos los departamentos y servicios de la Empresa.
4. La calidad debe ser definida en función de las necesidades del cliente.
5. La calidad y el costo constituyen una suma y no la diferencia. Para producir más barato se debe mejorar la calidad.
6. La calidad requiere de una gestión basada en nuevas tecnologías.
7. La calidad depende de todos.
8. La calidad es la forma más rentable de mejorar la productividad.
9. La calidad exige una gestión rigurosa y eficaz como cualquier otra área de la Empresa.
10. La calidad exige una política clara de gestión orientada al cliente, en base a los puntos antes mencionados.

En una Empresa con filosofía de calidad total es imprescindible que exista el máximo acercamiento posible entre los intereses del individuo y los de la Empresa. La identificación y entrega de los trabajadores debe ser una característica típica en el trabajo de estas Empresas.

Para trabajar en un sistema de calidad total el estilo de dirección debe ser muy importante, ya que el nuevo enfoque de la dirección consiste en valorar la cooperación y deplorar la competencia destructiva dentro de la organización para insistir en el reconocimiento y la aceptación de los intereses y metas comunes.

En la siguiente figura se muestran cuales son los factores a tener en cuenta en las Empresas que trabajan en un sistema de calidad total.

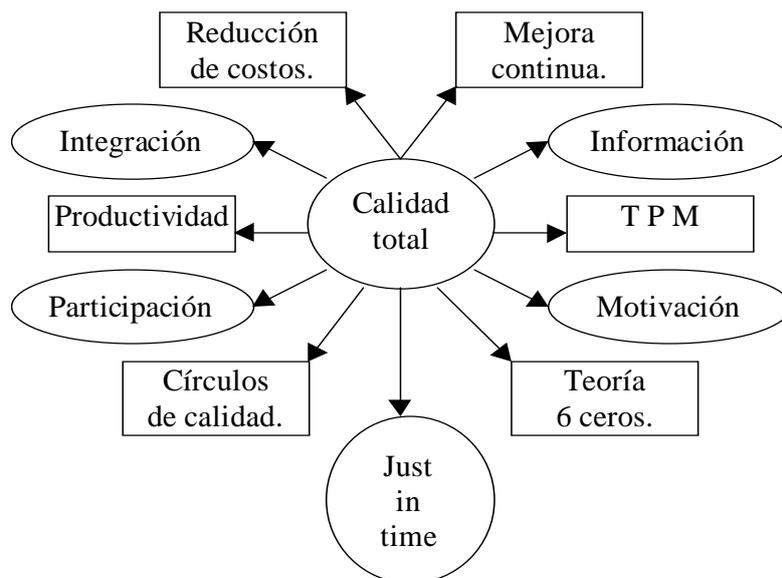


Fig 34: Árbol de la filosofía de calidad total.

El elemento básico dentro del árbol de calidad total lo constituyen las técnicas de mejoramiento Kaizen. Estas técnicas tienen por objetivo desarrollar en la Empresa el concepto de innovación y mejora permanente para lograr la calidad total, las que deben desarrollarse todas simultáneamente, resumiéndose en los siguientes enunciados:

- Teoría de los seis ceros (cero papeles, cero stocks, cero retrasos, cero averías, cero sorpresas, cero defectos).
- Círculos de calidad.
- TPM (mantenimiento productivo total).
- Disciplina en el lugar de trabajo.
- Mejora de la productividad.
- Automatización.
- Orientación al cliente.
- Just in time.

En un sistema de calidad total deben darse todas y cada una de las partes del árbol de calidad total, ya que de lo contrario no estaremos en un sistema de calidad total.

La calidad total es un sistema que no se alcanza nunca plenamente ya que es un sistema sin límites. Por tal motivo siempre se hablará de niveles relativos de calidad total, bastará que el nivel de una Empresa sea más elevado que el de otra para que la primera sea más competitiva.

Por tanto, para que en una Empresa se trabaje por la calidad total deberán cumplirse los siguientes aspectos:

1. Compromiso de la alta dirección y que este sea definido y permanente.
2. Preocupación constante hacia los recursos humanos de la Empresa, expresada a través de la motivación y la preparación.

3. Estilo de dirección participativo, estableciendo las condiciones necesarias para que de todos los niveles surjan ideas.
4. Mentalización de todos los trabajadores de que "la calidad no se controla, se fabrica", y que lo que se hace es "calidad".
5. La estrategia no es corregir rápidamente sino trabajar preventiva y predictivamente.
6. El proceso de calidad total requiere de un cambio mental en todas las áreas de la Empresa.
7. Este cambio consiste en que el personal comprenda que hay que trabajar en un entorno de mejora permanente.

Una de las formas más sencillas para comenzar a implementar un sistema de calidad total en las Empresas es mediante los llamados círculos de calidad. A continuación se exponen las características más significativas de los mismos.

El Círculo de Calidad es un grupo que componen cierto número de trabajadores que realizan un trabajo similar, que se reúnen voluntaria y regularmente en tiempo de trabajo, con un mando como líder, aprendiendo a identificar y analizar problemas y recomendando soluciones a sus jefes y, donde sea posible, implementando soluciones.

Las características comunes de los círculos de calidad son:

1. Participación voluntaria.
2. Participación de todos.
3. Los miembros se ayudan a perfeccionarse.
4. Los proyectos son del círculo, no del individuo.
5. Fomenta la creatividad.
6. Los proyectos están relacionados con el trabajo de los miembros.
7. La dirección les presta apoyo.
8. Sensibiliza a todos en el mejoramiento de la calidad.
9. Utilización de técnicas sencillas.
10. Es un grupo democrático.

Una de las bases en las que se sustentan los círculos de calidad es: "Quien conoce mejor su trabajo es el que lo hace", por lo que las personas que componen al círculo de calidad deben conocer, mejor que nadie, la labor que realizan y estar directamente implicados en todos los problemas que se presentan en el área. Los círculos de calidad tienen como objetivos los siguientes:

1. Contribuir al mejoramiento y desarrollo de la Empresa.
2. Interesar a los trabajadores en el mantenimiento de la buena calidad de sus tareas.
3. Fomentar la creatividad y la responsabilidad, desarrollando las potencialidades personales de cada miembro del grupo.
4. Mejorar las comunicaciones y las relaciones personales dentro del grupo de trabajo y de la Empresa, así como el ambiente general de trabajo.
5. Respetar la dimensión humana.
6. Proporcionar un método ordenado para reunir los recursos humanos y materiales.
7. Las metas fundamentales son: - Mejorar la calidad. - Mejorar las condiciones de trabajo.
8. Elevar la eficiencia en la organización.

Durante las horas normales de trabajo todo se mantiene igual, con una excepción: el cerebro está despierto: buscando, investigando, pensando. Existe motivación. El personal que forman estos grupos deben estar preparados para identificar y analizar los problemas vinculados con sus tareas y una vez concretado el problema, realizado su análisis y formulada la solución, presentan su propuesta a la dirección. El esquema general para la solución de los problemas se muestra en la siguiente figura.

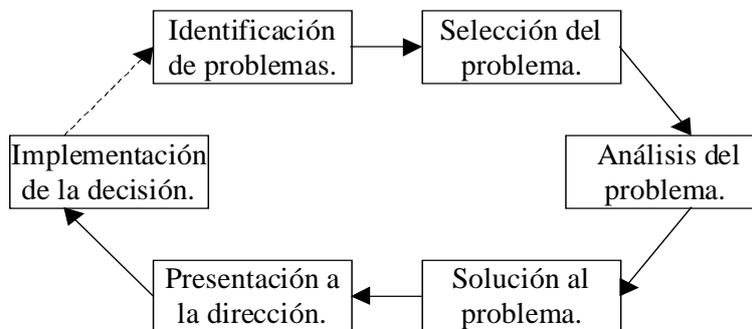


Fig 35: Proceso para la solución de problemas.

Los círculos de calidad son un vehículo para el perfeccionamiento de la gestión empresarial, los cuales tienen los siguientes efectos:

1. Satisfacción creativa de la persona al convertirse en agente de su trabajo y no en engranaje de la maquinaria.
2. Una mejora de la calidad de su trabajo (calidad, rendimiento, costos, servicios, etc.).
3. Permite el trabajo en equipos.

Los elementos necesarios para que un círculo de calidad se pueda poner en funcionamiento son los siguientes:

- Aceptación por la alta dirección. Una vez conocido el alcance de la implantación de los círculos de calidad, exista una aceptación real por parte de la alta dirección con todo lo que esto puede llevar consigo.
- Comité de iniciativas. Este es el soporte de toda acción, planifica, da continuidad, realiza pruebas, administra, etc.
- El facilitador. Este debe ser una persona que reúna características muy especiales, experiencia y habilidad en la tarea que realiza. La labor del facilitador es la de estimular la creación de estos círculos, formar y apoyar a los líderes, efectuar los contactos necesarios con todos los departamentos de la Empresa, convocar a reuniones, evaluar resultados, etc.
- Líder del círculo. Es la persona que dirige al círculo y su función más importante es la de desarrollar la participación continua de los integrantes del círculo de calidad. Asimismo animará a los integrantes del círculo para la solución de los problemas.
- Miembros del grupo. Estos son un grupo de personas, en número comprendido entre cuatro y diez, que voluntariamente se acogen al círculo. Por lo general lo forman personas de una misma área, aunque pueden formarse con personas de varios departamentos si queremos que se trabaje de forma integral en toda la Empresa.

Los pasos básicos a dar para la formación de los círculos de calidad en las Empresas son los siguientes:

1. Presentación.
2. Aceptación del sistema.
3. Presentación a todos los jefes y mandos.
4. Selección del facilitador.
5. Elección del departamento, servicio o área donde empezar.
6. Formación del líder.
7. Solicitud de voluntarios.
8. Formación de los miembros del grupo.
9. Reuniones.

Analicemos de forma general estos aspectos.

Con relación al primer aspecto se debe hacer una presentación de lo que son los círculos de calidad, cómo se forman, cómo funcionan, qué beneficios traerán para la Empresa, etc. No se deben implementar los círculos de calidad porque son una cosa bonita. El círculo de calidad es formación y desarrollo del personal y suponen una nueva forma de tratar al personal. No deben esperarse grandes reducciones de los costos (aunque puede que sí se produzcan), y si cambios en el ambiente de la Empresa y en la actitud de las personas. Estos círculos son el vehículo propicio para educar y formar.

Es fundamental explicar claramente a los jefes y mandos técnicos qué son, cómo funcionan y qué implicaciones tienen los círculos de calidad en la Empresa. Hoy todos los problemas de la Empresa se resuelven por especialistas, ingenieros, economistas, técnicos, etc. y el operario se limita a aceptar directivas y a trabajar de acuerdo a lo ordenado. Hay que hacer ver que existirán problemas que serán necesariamente resueltos por especialistas, pero existirán otros que los resolverán los círculos de calidad. Para esto es necesario que cada nivel de dirección tenga una jerarquía bien ordenada de problemas. Además se necesita una buena coordinación entre los departamentos técnicos y los círculos de calidad, que permita que los problemas se estudien en común.

Es muy importante seleccionar el lugar (o los lugares) por donde empezar a implementar los círculos de calidad. Tiene que estar claro que cada dirección de área es responsable de sus propios círculos de calidad u que no es tema extraño y añadido.

La formación del personal que conforman los círculos de calidad es un aspecto básico para el buen desempeño de los mismos. Deben aplicarse técnicas de dirección modernas (reuniones para la estimulación de nuevas ideas, acopio de datos, análisis de datos, diagrama de Pareto, análisis causa-efecto, diagrama de flujo, hojas de control, estratificación, histogramas, gráficos de desarrollo y control de procesos, técnicas de evaluación y técnicas de presentación). Esta labor debe ser realizada por el líder del grupo con el apoyo del facilitador y materiales didácticos preparados para tales fines.

3.4- Tendencias modernas del mantenimiento.

3.4.1- Mantenimiento según estado.

El mantenimiento según estado basado en el monitoreo de las vibraciones se ha venido aplicando con éxito en las industrias de procesos continuos desde 1970. La industria petrolífera y química han adoptado rápidamente esta variante de mantenimiento predictivo, logrando grandes ahorros debido a la mayor disponibilidad de las máquinas y al correspondiente aumento de la producción. Desde entonces el mantenimiento según estado se ha extendido a otras industrias.

Ejemplos sobre las ventajas que representa esta forma organizativa de mantenimiento son múltiples. Una planta química redujo de 247 a 14 el número de operaciones de revisión/repación en un año, y casi todas las realizadas se pudieron planificar. Asimismo, una refinería redujo en un 75 % los costos del mantenimiento de sus motores eléctricos por introducir este sistema organizativo. Una fábrica papelera amortizó en un mes y medio el costo de la instrumentación para implementar el sistema de monitoreo continuo con un ahorro de 250 000 dólares. Estos ejemplos demuestran, por sí solos, las ventajas que tiene implantar un mantenimiento eficaz basado en el monitoreo continuo del nivel de vibraciones.

Una máquina ideal no produciría vibraciones ya que toda la energía se emplearía en el trabajo a realizar. En la práctica, las vibraciones aparecen como consecuencia de la transmisión normal de fuerzas cíclicas por los mecanismos. Los elementos de la máquina reaccionan entre sí y por toda la estructura se disipa la energía en forma de vibraciones.

Un buen diseño producirá bajos niveles de vibraciones, pero en la medida que la máquina se vaya desgastando, se asienten sus cimentaciones y se deformen sus componentes, aparecerán sutiles cambios en las propiedades dinámicas de la misma. Los ejes se desalinean, las piezas se desgastan, los rotores se desequilibran y los juegos aumentan. Todo esto hace que aumente la energía de la vibración que, al repartirse por toda la máquina, excita las resonancias y produce cargas dinámicas adicionales sobre los cojinetes. El círculo causa-efecto se cierra y la máquina avanza hacia su rotura final.

En el pasado, los ingenieros de planta podían reconocer por simple palpación y escucha si una máquina marchaba normalmente o si se avecinaba alguna avería. Hoy, por dos razones al menos, no se puede seguir confiando en esa habilidad. Han pasado los días del personal, que con un paño grasiento y una engrasadora de pistón en la mano atendían a sus máquinas. La relación personal entre el hombre y la máquina es hoy inviable económicamente, y ni siquiera se necesita porque se confía que las máquinas vayan por sí solas con sólo atención ocasional del personal de mantenimiento. En segundo lugar, la mayoría de la maquinaria moderna gira a tal velocidad que la frecuencia de las vibraciones significativas es casi siempre muy alta, siendo necesario el uso de instrumentos para detectarlas y medirlas.

Por tanto, las vibraciones son consecuencias de la transmisión de fuerzas por la máquina que provocan su desgaste y aceleran su rotura. Los elementos de las máquinas que soportan estas fuerzas, como los cojinetes, suelen ser accesibles desde el exterior,

y así, en esos puntos se pueden medir las vibraciones resultantes de las fuerzas de excitación.

Mientras las fuerzas de excitación se mantengan constante, o varíen sólo dentro de ciertos límites, el nivel de las vibraciones se mantendrá también constante, o variará muy poco. Además, en la mayor parte de las máquinas las vibraciones presentan un nivel típico y sus espectros de frecuencia son de una forma característica cuando la máquina está en buen estado. Este espectro, que consiste en un gráfico de la amplitud de las vibraciones en función de la frecuencia (ver figura 4.9), es el patrón de vibración de la máquina y se obtiene analizando en frecuencia la señal vibratoria.

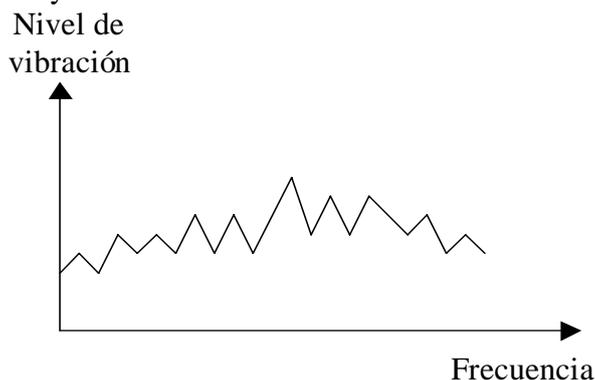


Fig 36: Espectro de frecuencia.

Cuando comienza a surgir una avería, cambian los procesos dinámicos de la máquina y cambian también algunas de las fuerzas que actúan sobre sus piezas, lo que a su vez afecta a los niveles y a la forma del espectro de las vibraciones. El hecho de que las señales vibratorias lleven tanta información sobre el estado técnico de la máquina constituye la base del empleo de la medida y el análisis de las vibraciones como indicador del estado de la máquina y de la necesidad de brindarle algún trabajo de reparación.

En aquellos casos donde se emplean máquinas no muy caras o que tienen reserva, se suelen utilizar hasta que surge la avería, por lo que un análisis de vibraciones no sería de utilidad, ya que no se derivan ventajas económicas ni de seguridad al conocer cuando se producirán las averías. En otros casos, existen máquinas importantes que no tienen reserva y se usan hasta la avería. Entonces, es de vital importancia conocer qué va mal y cuando es probable que se produzca la rotura. Esta información puede obtenerse analizando las tendencias de los espectros de vibración obtenidos con mediciones regulares. El conocimiento del problema permitirá pedir con tiempo las piezas necesarias y evitar así los stocks de repuesto. Además, el personal de mantenimiento se prepara mejor y será capaz de realizar mejores reparaciones en menor tiempo.

Cuando la maquinaria básica no está duplicada, o cuando las paradas imprevistas pueden provocar grandes pérdidas, es común encontrar implementado el mantenimiento preventivo. La experiencia práctica ha demostrado que en muchos casos esta forma organizativa del mantenimiento es antieconómica. El régimen de averías de muchas máquinas no se mejora sustituyendo de forma regular las piezas desgastadas, al contrario, con frecuencia se reduce la fiabilidad de las máquinas recién revisadas debido a la interferencia humana.

De todo esto se deduce que la única forma de conocer realmente cuando la máquina fallará es mediante el conocimiento de su verdadero estado técnico, esta es la esencia del monitoreo continuo.

El Mantenimiento Según Estado, también conocido como método individual, considera a cada máquina por separado, donde se sustituyen las revisiones periódicas por medidas periódicas. Esto posibilita seguir en detalle el desarrollo del estado de funcionamiento de cada máquina en concreto. Las vibraciones mecánicas son excelentes indicadores del estado técnico de las máquinas, razón por la cual el Monitoreo Según Estado emplea como referencia las medidas de las vibraciones.

El principio básico del mantenimiento según estado es que la reparación sólo es necesaria cuando las mediciones así lo indican. Esto coincide con el criterio de que es imprudente interferir en el trabajo de una máquina que funciona bien. Con la medición de los niveles de vibraciones se puede detectar el nacimiento de irregularidades en el funcionamiento de las máquinas y seguir su desarrollo. Además, estas mediciones se pueden extrapolar para predecir cuando se alcanzarán los niveles inaceptables de vibraciones y cuando se debe revisar la máquina.

Balance económico del Mantenimiento Según Estado.

Al implementar un sistema de mantenimiento según estado los costos, en un inicio, se incrementan por:

1. Estudios iniciales, selección de los puntos de monitoreo y el establecimiento de las normativas (límites permisibles).
2. Selección y compra del equipamiento.
3. Preparación del personal para realizar las mediciones.
4. Preparación de los técnicos en interpretación.

Sin embargo, los beneficios que se logran inclinan la balanza hacia este tipo de mantenimiento, siendo los más notorios los siguientes:

1. Aumenta el tiempo medio entre revisiones.
2. Aumenta la productividad.
3. Se reducen los gastos de mantenimiento.
4. Virtual eliminación de las averías inesperadas (hay una mejor fiabilidad y, por tanto, mayor productividad).
5. Eliminación de las averías inducidas.
6. Reducción de los gastos en repuestos.
7. Reducción de los stocks de repuestos.
8. Reducción de las paradas.
9. Menor tiempo de las reparaciones.

Variantes organizativas del Mantenimiento Según Estado.

Este tipo de mantenimiento puede ser organizado según las siguientes variantes:

- Monitoreo manual.
- Monitoreo basado en ordenador.
- Sistema de monitoreo permanente.

El monitoreo manual es el sistema más sencillo para realizar este tipo de análisis, empleándose como medios de medición vibrómetros de bolsillo que miden el nivel de vibración global en una gama específica de frecuencias. Los valores obtenidos se comparan con las normas, o con los valores de referencia establecidos para cada máquina. Esta variante es muy efectiva para aquellos que deseen iniciarse y ganar experiencia en la medición de los niveles de vibraciones, utilizándose siempre vibrómetros de mano de elevada calidad. Este sistema es recomendado cuando se tienen pocos puntos de medición, valorándose el estado técnico de cada máquina in situ sobre un mínimo de datos. Para el caso concreto de cojinetes con elementos rodantes, y cuando no predominan las vibraciones procedentes de otras fuentes, se puede obtener una alarma temprana de su deterioro. Cuando se empiezan a formar pequeños defectos en los rodamientos se emiten picos de vibraciones de alta frecuencia que se pueden medir con el detector de pico del vibrómetro, detectándose los fallos en la etapa inicial de su aparición.

Una variante dentro de este sistema, cuando se quiere iniciar en este campo con una pequeña inversión y cuando la cantidad de puntos a monitorear no es muy grande, lo es la combinación de un analizador de vibraciones y un registrador de nivel, ambos portátiles y alimentados por baterías. Este conjunto es muy versátil y realiza, in situ, espectogramas de frecuencia de banda estrecha en cada punto de monitoreo. Esta variante es muy fácil de implementar siempre y cuando se hayan definido los parámetros a medir y requiere de poco tiempo para el análisis. Se hace necesario poseer los espectros de referencias (patrones) en hojas transparentes. Los espectros sucesivos se colocan bajo estas hojas de referencia, apreciándose las diferencias de forma inmediata. En algunas Empresas se realizan las mediciones en banda ancha a intervalos regulares, y emplean el analizador de frecuencia sólo cuando se aprecian cambios significativos del nivel de las vibraciones.

En el sistema de monitoreo basado en ordenador la toma de datos es rutinaria: el operador provisto de un registrador magnético toma una muestra de la señal vibratoria en cada punto de medición. Cada carrete de cinta puede almacenar la información de muchos puntos. Las señales grabadas se reproducen en el laboratorio sobre un analizador de frecuencia de alta resolución. Los espectros resultantes se comparan con los de referencia utilizando un pequeño ordenador acoplado al analizador. Esta variante aprovecha la rapidez y polivalencia de los equipos de laboratorio y ofrece mejor capacidad de detección y menor costo por medición realizada.

Todas las variantes descritas se basan en realizar mediciones periódicas a las máquinas. Existe otra técnica, el monitoreo permanente de las vibraciones, que en muchos casos suele ser imprescindible. Como su nombre lo indica, este tipo de monitoreo se aplica de forma continua a una máquina concreta, quedando en todo

momento controlada. El monitoreo permanente se usa, sobre todo, para tener un aviso inmediato de todo cambio brusco que se pueda producir en la maquinaria cara y sin reserva, cuyo funcionamiento continuo es vital para la producción. Los fallos se detectan inmediatamente, disparándose señales de alerta en la sala de control para que se tomen las medidas necesarias antes que se produzca una rotura grave. Estos sistemas son muy utilizados en centrales eléctricas e industria petroquímica, fundamentalmente en turbinas, bombas de agua de alimentar y compresores. A los sistemas de monitoreo continuo se les exige un alto grado de fiabilidad, gran estabilidad a largo plazo y buena inmunidad a las condiciones ambientales adversas y a las irregularidades que pueden dar lugar a falsas alarmas. En la siguiente figura se muestra un esquema de este tipo de sistema.

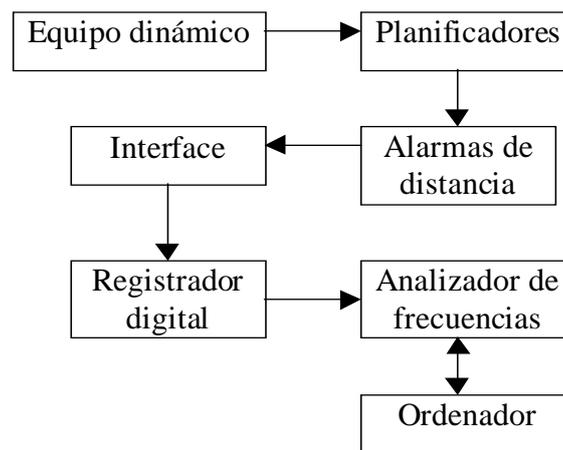


Fig 37: Sistema de monitoreo permanente.

Organización de un programa de mantenimiento según estado.

En general, al introducir el sistema, las medidas periódicas necesarias se pueden confiar al personal anterior de mantenimiento, ya que su experiencia con las máquinas les ayudará a diagnosticar los fallos y a detectar instintivamente otros defectos.

Es muy importante formar al personal en los objetivos del monitoreo según estado y cómo se puede racionalizar el mantenimiento. Como norma suelen bastar algunas charlas al respecto. La experiencia demuestra que la identificación del personal con el proyecto actúa de motivación para obtener los resultados deseados.

El número de hombres-hora necesarios para implementar un sistema de monitoreo según estado depende de la instrumentación utilizada (variante organizativa) y, por supuesto, del número de puntos a monitorear. Un programa piloto, con menos de 50 puntos a medir y a analizar por mes, suele ser el mismo ingeniero quien realiza todas las operaciones. Cuando solo se hacen las mediciones y valoraciones en banda ancha, o de factor de cresta, una persona puede manejar hasta 1500 puntos por mes, y dos llegar a 4000. Con un análisis in situ en todos los puntos, una persona puede manejar varios cientos de puntos por mes.

Cuando aumenta el número de puntos a monitorear, comienza a ser atractivo el sistema de comparación de espectros por ordenador. Una o más personas registran las vibraciones y pasan las cintas al sistema de análisis automático. El sistema imprime los informes, los que pasan al especialista para que aplique el programa de diagnóstico e indique la avería.

Lo primero que debe hacerse para implantar este sistema es seleccionar las máquinas a monitorear. Cada máquina se considera individualmente para decidir los puntos que ofrecerán mediciones representativas. Posteriormente se pasa a establecer los puntos de medición, preparándose para la colocación de los transductores de vibraciones (acelerómetros) y se identifican, cada uno de ellos, con un número. Se recomienda utilizar medios de fijación permanentes en forma de soportes roscados sobre la misma máquina, o montar placas roscadas que se pegan a la misma.

La secuencia en que se debe monitorear cada punto de medición debe estar especificada en la carta de medición, al igual que las condiciones en que la máquina debe estar trabajando. Esto es muy importante ya que las mediciones posteriores solo señalarán tendencias si se realizan en las mismas condiciones de trabajo. De igual forma se deben normalizar, para cada máquina, la posición de los mandos de la instrumentación de medición.

La frecuencia de las mediciones periódicas viene dada por el tiempo medio de trabajo entre fallos de la máquina. Se debe programar un mínimo de seis mediciones en este período para disponer de una razonable capacidad de predicción. Para el caso de máquinas nuevas, cuando no se disponga de orientación alguna, se debe realizar un control más frecuente hasta que se normalice.

En una ficha principal se deben recoger, para cada máquina, todos los detalles de interés sobre sus características dinámicas, tales como la velocidad de los ejes, las dimensiones de los cojinetes, el número de elementos rotativos, etc. Esto permite realizar diagramas de diagnóstico, en los que el espectro patrón de la máquina se puede referir a piezas específicas de la misma.

Por último, vale la pena resaltar que el éxito de este sistema no depende necesariamente de una fuerte inversión inicial para adquirir sofisticados equipos. Lo mejor es comenzar con medidores y analizadores económicos aplicados a un grupo de máquinas representativas. En la medida que se adquiera experiencia se extenderá el sistema y se hará necesario el empleo de instrumentos de medición más potentes y sofisticados. Se recomienda adquirir equipos de buena calidad desde el principio.

ANÁLISIS DE VIBRACIONES E INTERPRETACIÓN DE DATOS

El análisis de vibraciones, la termografía, el análisis de lubricantes, entre otras son técnicas de mantenimiento predictivo que permiten hallar las causas de posibles fallos anticipándose a la avería. Para la implantación de un mantenimiento predictivo resulta imprescindible la realización de un programa y una organización que aseguren el seguimiento constante y riguroso de los elementos que componen la empresa.

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Los pasos en que se basa el programa de mantenimiento predictivo se pueden explicar de la siguiente forma. El programa de mantenimiento predictivo sigue una secuencia lógica desde que se detecta un problema, se estudia, se encuentra su causa, y finalmente se decide la posibilidad de corregirlo en el momento oportuno con la máxima eficiencia. Los pasos de que consta son tres:

- **Detección:** Reconocimiento del problema.
- **Análisis:** Localización de la causa del problema.
- **Corrección:** Encontrar el momento y forma de solucionar el problema.

Como se ha dicho, la detección consiste en encontrar un problema en la maquinaria. Para ello es necesario un seguimiento constante y riguroso del nivel de vibraciones de una máquina. El intervalo entre mediciones depende de cada equipo y puede variar desde dos meses a una medición continua, según el tipo e importancia en el proceso. Los puntos elegidos para tomar vibraciones son aquellos donde puede ser posible encontrar un defecto que afecte al buen funcionamiento de la maquinaria, serán lugares en los que se alojen rodamientos, ventiladores, engranajes o uniones entre ejes. En los puntos a medir se tomarán valores de velocidad, aceleración o desplazamiento, en función de la situación del punto y de las características de la máquina. El aparato utilizado será un colector de datos junto con un programa informático que almacene los valores recogidos en las revisiones rutinarias sobre los elementos de la fábrica. A partir de un histórico de datos de los puntos de cada máquina es posible detectar un problema cuando la tendencia de valores aumenta o se modifica notablemente.

El siguiente paso es analizar el problema detectado, una vez que se ha encontrado éste, se identifican sus posibles causas. Este estudio es complicado, depende en cada caso del punto donde aparece el defecto, la posición y el entorno de la máquina. No existen rasgos que caractericen de una forma inequívoca una causa de exceso de vibración, si no que la experiencia, el sentido común y el conocimiento de cada máquina son puntos esenciales.

Por último, el paso a seguir es la corrección del fallo detectado y analizado, así, una vez encontrado un problema y analizado sus causas, es necesario estudiar las acciones a realizar para solucionarlo, a la vez que buscar el momento adecuado para su reparación, intentando que esta sea lo más eficiente posible y que afecte de forma mínima el proceso de producción, aprovechando para ello una parada o una situación en la que la carga de trabajo para la máquina sea menor que en otras.

ORGANIZACIÓN DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO.

Un estricto y constante seguimiento de las vibraciones de las máquinas proporciona un aviso previo a un fallo que puede obligar a su paro repentino, con lo que esto puede conllevar desde el punto de vista de producción.

A la vez, este tipo de mantenimiento puede disminuir costes en los cambios de

elementos programados y que todavía pueden continuar trabajando por más tiempo. Es por tanto una forma de mejorar la eficiencia de un mantenimiento preventivo.

En la organización del mantenimiento predictivo son importantes los siguientes nueve pasos:

1. Reconocimiento de la planta.

En primer lugar, antes de la implantación del mantenimiento predictivo es preciso decidir la necesidad y eficacia en una empresa. Esta decisión estará en función del tipo de máquinas, de la cantidad y de su importancia en el proceso.

2. Selección de las máquinas.

Dentro de una fábrica se hará un estudio de vibraciones de acuerdo a un calendario establecido de aquellos equipos que forman parte del proceso de producción de una forma esencial, es decir, de aquellos cuyo fallo provocaría pérdidas importantes desde el punto de vista de producción, por pérdidas económicas, dificultad y cantidad de tiempo en volver a arrancar. De igual modo, se seguirá de forma constante la parte de la maquinaria que por su tamaño o valor económico, productivo sean importantes para la empresa.

3. Elección de técnicas óptimas para verificar.

Forma de efectuar la verificación, decidir qué, cómo, cuándo, dónde se han de realizar las mediciones.

4. Implantación del predictivo.

El programa de implantación del predictivo debe contener:

- Máquinas a estudiar.
- Sistema de medición, toma de datos y análisis de los mismos.
- Datos para comparar.
- Conocimiento del tipo de mantenimiento y de los medios para tomar datos.

5. Fijación y revisión de datos y límites de condición aceptable.

Para fijar un límite según valores que pueden llamarse normales es esencial contar con un histórico de datos obtenido en repetidas mediciones. Un valor medio de los datos obtenidos dará el nivel de vibración aceptable de cada uno de los puntos medidos. Los límites que marcan que un valor sea aceptable serán fijados según este histórico de datos y de la experiencia. Al principio, cuando no se tiene un conjunto de valores que permitan estimar si una vibración está dentro de los límites que marcan su normalidad, la aceptación de un valor se hará mediante las instrucciones del fabricante y con las gráficas de severidad.

6. Mediciones de referencia.

Siempre se tendrá una medida de referencia con la que se compararán cada una que se tome para ver si está entre los límites de aceptabilidad.

7. Recopilación, registro y análisis de las tendencias.

Aquí se tratará de detectar un posible defecto en la máquina.

8. Análisis de la condición de la máquina.

En este paso se confirmará si existe realmente un fallo y se determinarán sus causas y la evolución que pueden sufrir.

9. Corrección de fallos.

VIBRACIONES. Definición y características

Para empezar se puede dar una definición y características de la vibración. La vibración es el movimiento de vaivén de una máquina o elemento de ella en cualquier dirección del espacio desde su posición de equilibrio. Generalmente, la causa de la vibración reside en problemas mecánicos como son: desequilibrio de elementos rotativos; desalineación en acoplamientos; engranajes desgastados o dañados; rodamientos deteriorados; fuerzas aerodinámicas o hidráulicas, y problemas eléctricos. Estas causas como se puede suponer son fuerzas que cambian de dirección o de intensidad, estas fuerzas son debidas al movimiento rotativo de las piezas de la máquina, aunque cada uno de los problemas se detecta estudiando las características de vibración.

Las características más importantes son: frecuencia, desplazamiento, velocidad, aceleración, *spike energy* (energía de impulsos).

La frecuencia es una característica simple y significativa en este análisis. Se define como el número de ciclos completos en un período de tiempo. La unidad característica es cpm (ciclos por minuto). Existe una relación importante entre frecuencia y velocidad angular de los elementos rotativos. La correspondencia entre cpm y rpm (ciclos por minuto-revoluciones por minuto) identificará el problema y la pieza responsable de la vibración. Esta relación es debida a que las fuerzas cambian de dirección y amplitud de acuerdo a la velocidad de giro. Los diferentes problemas son detectados por las frecuencias iguales a la velocidad de giro o bien múltiplos suyos. Cada tipo de problema muestra una frecuencia de vibración distinta.

La amplitud de la vibración indica la importancia, gravedad del problema, esta característica da una idea de la condición de la máquina. Se podrá medir la amplitud de desplazamiento, velocidad o aceleración. La velocidad de vibración tiene en cuenta el desplazamiento y la frecuencia, es por tanto un indicador directo de la severidad de vibración. La severidad de vibración es indicada de una forma más precisa midiendo la velocidad, aceleración o desplazamiento según el intervalo de frecuencias entre la que tiene lugar, así para bajas frecuencias, por debajo de 600 cpm, se toman medidas de desplazamiento. En el intervalo entre 600 y 60.000 cpm, se mide velocidad, y para altas frecuencia, mayores a 60.000 cpm, se toman aceleraciones.

La velocidad es otra característica importante en la vibración, gráficamente se puede ver en la siguiente figura.

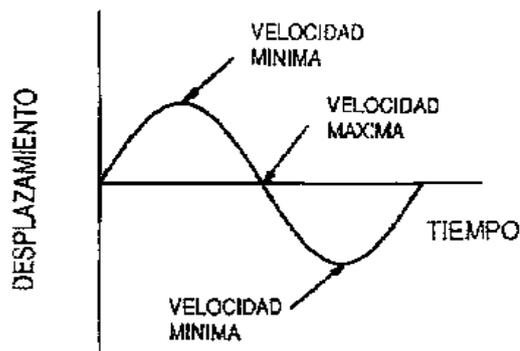


Fig. 38: Gráfica de la velocidad de un objeto que vibra.

Se mide la velocidad de pico mayor de todo el recorrido que realiza el elemento al vibrar. La unidad es mm/s. El cambio de esta característica trae consigo un cambio de aceleración. La velocidad tiene una relación directa con la severidad de vibración, por este motivo es el parámetro que siempre se mide. Las vibraciones que tienen lugar entre 600 y 60.000 cpm se analizan teniendo en cuenta el valor de la velocidad.

La aceleración está relacionada con la fuerza que provoca la vibración, algunas de ellas se producen a altas frecuencias, aunque velocidad y desplazamiento sean pequeños. En la siguiente figura se puede ver la aceleración de vibración.

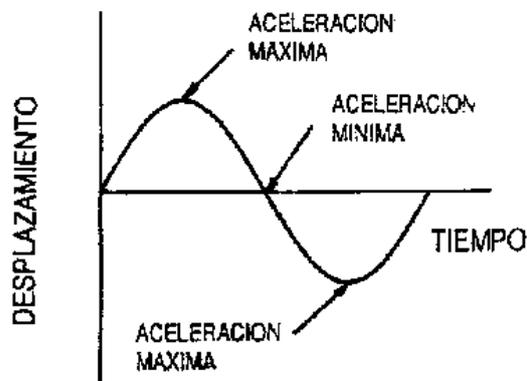


Fig. 39: Gráfica de la aceleración de un objeto que vibra.

La energía de impulsos proporciona información importante a la hora de analizar vibraciones. Este parámetro mide los impulsos de energía de vibración de breve duración y, por lo tanto, de alta frecuencia. Pueden ser impulsos debidos a:

- Defectos en la superficie de elementos de rodamientos o engranajes.
- Rozamiento, impacto y contacto metal-metal en máquinas rotativas.
- Fugas de vapor o de aire a alta presión.
- Cavitación debido a la turbulencia en fluidos.

Sin este parámetro es muy difícil detectar engranajes o rodamientos defectuosos. Con esta medida se encuentran rápidamente las vibraciones a altas frecuencias provocadas por estos defectos.

Severidad de vibración.

Un punto importante a la hora de hablar de vibraciones es conocer la severidad de vibración, ella indica la gravedad que puede tener un defecto. La amplitud de la vibración expresa la gravedad del problema, pero es difícil establecer valores límites de la vibración que detecten un fallo.

La finalidad del análisis de vibraciones es encontrar un aviso con suficiente tiempo para poder analizar causas y forma de resolver el problema ocasionando el paro mínimo posible en la máquina.

Una vez obtenido un histórico de datos para cada elemento de las máquinas que se estudian, el valor medio refleja la normalidad en su funcionamiento. Desviaciones continuas o excesivas indicarán un posible fallo que será identificado después, teniendo en cuenta la frecuencia a la que se producen las mayores vibraciones. Cuando no se posee histórico de datos para una máquina, puede analizarse la severidad de vibración teniendo en cuenta las siguientes gráficas.

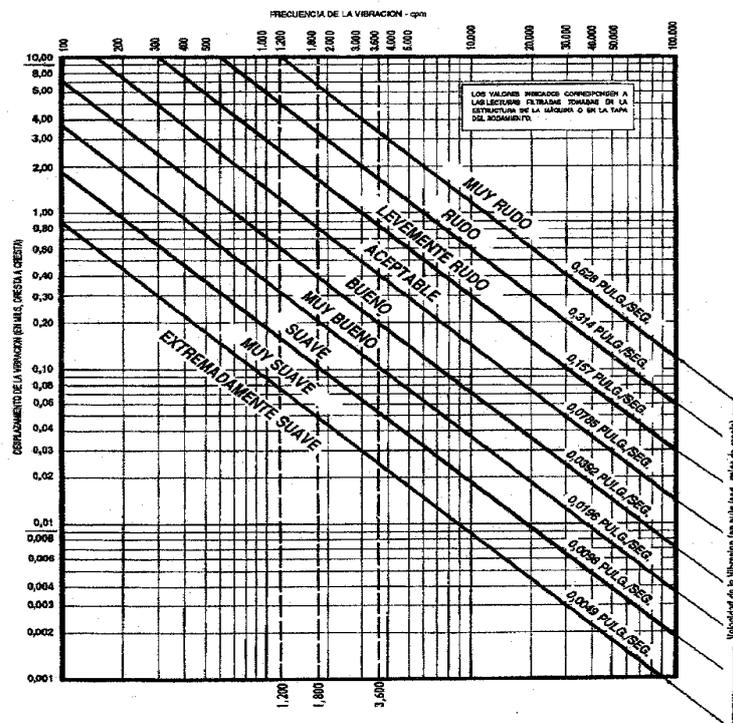


Fig 40: Gráfica de la severidad de la velocidad y el desplazamiento.

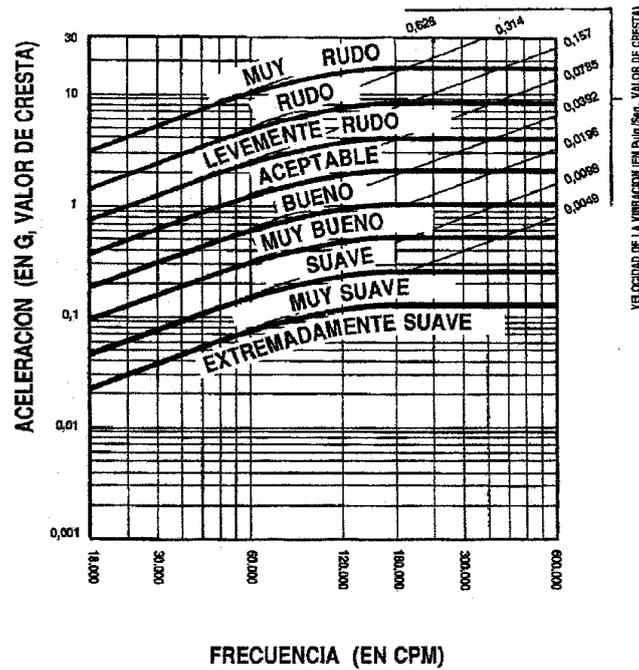


Fig. 41: Gráfica de la severidad de la velocidad de aceleración.

Análisis

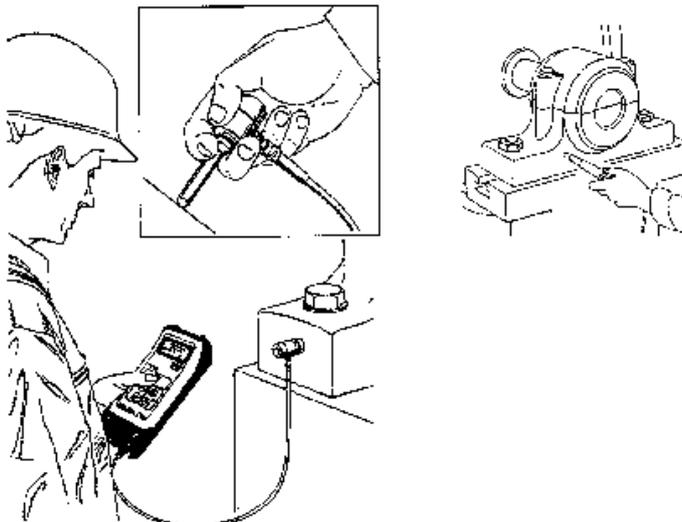


Fig. 42: Toma de datos con transductor.

La esencia del estudio de vibraciones es realizar el análisis de las mismas. El análisis de datos consta de dos etapas: adquisición e interpretación de los datos obtenidos al medir la vibración de la máquina. El fin a alcanzar es determinar las condiciones mecánicas del equipo y detectar posibles fallos específicos, mecánicos o funcionales.

La adquisición de datos es el primer y principal paso a dar para hacer un análisis de vibraciones. Los datos a tomar, desplazamiento, velocidad o aceleración dependerán de la velocidad de la máquina, de acuerdo con su relación equivalente de frecuencia ($\text{rpm}=\text{cpm}$). Así, para bajas rpm, (bajos cpm), se tomarán datos de desplazamientos.

Para velocidades que estén dentro del orden de 600 y 60.000 rpm, se medirán velocidades. Y para los que sean de orden superior, los datos a tomar serán aceleraciones.

Pasos a seguir en la adquisición de datos:

1. Determinación de las características de diseño y funcionamiento de la máquina, como son: velocidad de rotación de la máquina, tipo de rodamiento, engranaje y condiciones del entorno en que esté situada como es el tipo de apoyo, acoplamientos, ruido, etc. También habrá que tener en cuenta las condiciones de funcionamiento como velocidad y cargas entre otras que normalmente afectarán a las mediciones de vibración.
2. Determinación de la finalidad de la vibración que podrá incluir: Medidas de rutina para detectar en un momento determinado un posible fallo y determinar las causas que lo originan. Medidas para crear un histórico de datos y con él obtener un valor de base, sobre el que estará el valor de vibración que deba tener la máquina cuando sus condiciones de trabajo sean normales.

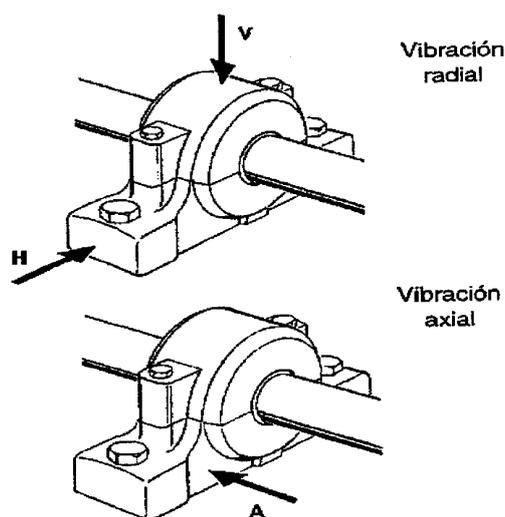


Fig. 43: Sentido de la toma de datos.

Toma de datos antes y después de una reparación, la medida de antes pondrá de manifiesto el problema, elemento defectuoso y será más eficaz así su reparación. Después de la reparación se tomarán medidas que indiquen la evolución del elemento sustituido o la corrección del defecto existente.

3. Selección de los parámetros de medición: desplazamiento, velocidad, aceleración, *spike energy*. Ellos determinarán el transductor a utilizar.
4. Determinación de posición y dirección de las medidas con los transductores, la vibración se tomará generalmente en rodamientos de la máquina o puntos donde sea más probable un fallo por acoplamiento, equilibrio, puntos donde se transmitan las fuerzas vibratorias. Los tres sentidos principales en una medición son horizontal, vertical y axial. Sentidos radiales son horizontal y vertical, y se toman con eje del transductor a 90° respecto al eje de rotación, como se observa en la figura 43.

5. Selección del instrumento de medición y transductores.
6. Determinación del tipo específico de datos requeridos para la interpretación de las medidas realizadas. Así se ahorrará tiempo a la hora de realizar las medidas y se obtendrá de estas, información más útil en el análisis. Los datos obtenidos pueden ser: valores de magnitud total, espectro de frecuencias amplitud-frecuencia que indica el tipo de problema existente, amplitud-tiempo para vibraciones transitorias rápidas o vibraciones muy lentas, spike energy en rodamientos, engranajes y problemas de cavitación (fig. 44).

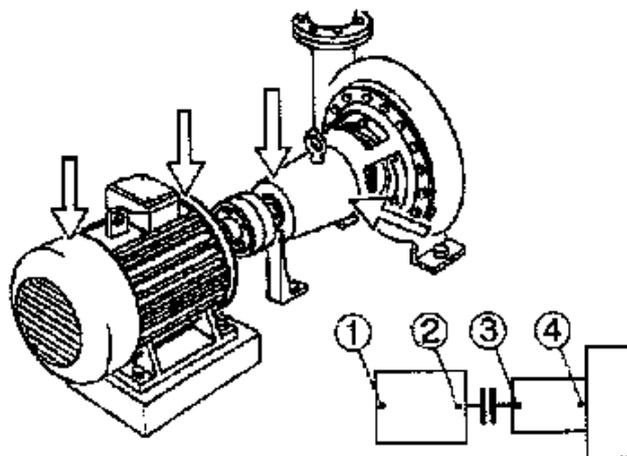


Fig. 44: Puntos de toma de datos del motor y la bomba.

7. Toma de datos. Paso esencial en el análisis, precisa de atención y fiabilidad de las medidas tomadas.

A la hora de la adquisición de datos es importante tener en cuenta:

- Secuencias de medición, tomar datos correctos y lo más rápido posible, evitan tiempo perdido.
- Lugar de toma de datos siempre será el mismo, con el transductor unido de una forma firme, para la veracidad de los datos.
- Seguimiento de la máquina, es decir, mantener un contacto con los operarios que trabajan con ella y los de mantenimiento, ellos serán las personas que conocen de cerca la máquina.
- Controlar el entorno exterior de la máquina, aspecto, ruido, etc.
- Atender tendencias inesperadas. Estar preparado para tomar mas datos, medidas cuando pueda haber signos de algún problema.
- Mantener sólo datos coherentes, tomados con precisión.
- Comparar con máquinas similares y en igual forma de trabajo.

Por tanto, se puede decir que la toma de datos es un paso esencial para un buen análisis de vibraciones. Para una buena interpretación de los datos es necesario tener unos datos fiables que hayan sido tomados de una forma metódica y precisa. Así podrá hacerse un diagnóstico de algún problema lo más exacto posible.

Identificación de causas de vibraciones. Interpretación de datos.

Una vez obtenidos de una forma metódica y precisa los datos de vibraciones de una máquina donde se ha detectado un problema, es necesario identificar cual ha sido su causa y así buscar la forma y momento de reparación más eficiente, es decir, que elimine el fallo y su coste económico sea el mínimo posible. Un defecto puede localizarse al comparar las amplitudes de las vibraciones tomadas. Normalmente una máquina que funciona correctamente tiene valores que suelen seguir una línea con tendencia ligeramente ascendente o constante. Cuando en algún momento los valores aumentan o la tendencia asciende de una forma inesperada, se puede pensar en la presencia de algún problema.

Generalmente los valores de amplitud que se comparan son los de velocidad, una vez observado que esta ha aumentado de una forma inesperada, es importante comparar los valores de la energía de impulsos (g), estos valores indicarán la gravedad del problema. Así un fallo puede detectarse al encontrar una tendencia de velocidad ascendente de forma imprevista y unos valores del parámetro g altos. También es posible que existiendo un problema haya valores de *spike energy* altos y de repente disminuyan y poco a poco aumenten, esto puede dar lugar a un fallo total, donde la máquina deje de funcionar. Valores altos de *spike energy* pueden ser indicadores en la mayor parte de los casos de problemas de rodamientos, acoplamientos y en los casos más extraños de problemas hidráulicos.

Generalmente la máxima amplitud de vibración se da en los puntos donde se localiza el problema, aunque muchas veces la vibración es transmitida a otros puntos de la máquina aunque en ellos no se encuentre el problema. El análisis de las gráficas puede indicar el tipo de defecto existente, pero muy pocas veces aparecen problemas únicos y por tanto espectros donde se refleje un defecto claramente. La experiencia y el conocimiento de la máquina son dos factores fundamentales a la hora de identificar la causa que produce una vibración importante.

Es esencial una vez corregido el problema seguir la evolución de la reparación, de esta forma se conocerá si realmente existía el defecto, si estaba situado en el punto con máxima vibración y lo que es más importante, seguir la evolución tras la reparación y asegurarse que el problema ha desaparecido.

El estudio de los datos de vibraciones, de sus espectros es la base para encontrar las causas y la forma de corregir el defecto que ellas indican. Sólo es importante prestar especial atención a las vibraciones que vayan acompañadas de otros efectos como ruido, pérdida de aceite o cualquier fallo, o bien los valores de amplitudes que sean excesivos comparados con otros en funcionamiento correcto, en esos casos se analizará la forma de los espectros que identificarán las causas de los problemas. Los problemas mecánicos más comunes en las máquinas que producen vibraciones son desequilibrio entre ejes, falta de alineación de acoplamientos, defectos en rodamientos y engranajes y problemas eléctricos. A continuación se pueden ver la forma de identificar estos problemas analizando los datos y espectros de vibraciones.

Desequilibrio.

Esta es una de las causas más probable de que exista vibración en las máquinas, en casi todos los elementos es fácil encontrar un pico en el gráfico de amplitud frente a frecuencia, que denote un pequeño desequilibrio.

Como se puede ver en el siguiente gráfico hay un pico en una frecuencia que coincide con la velocidad de giro.

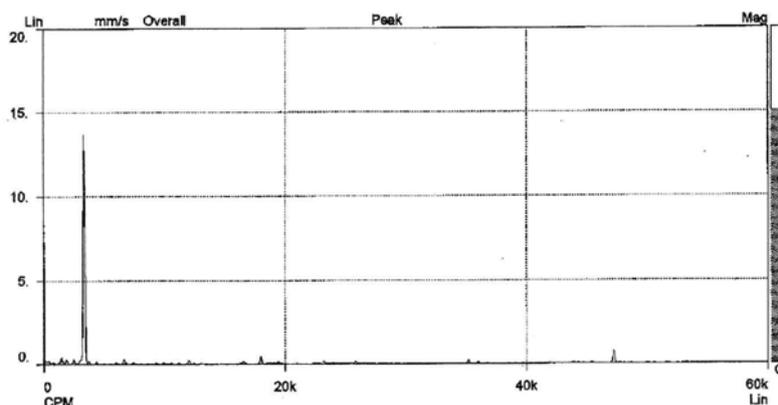


Fig. 45: Espectro de velocidad de un problema de desequilibrio.

Para conocer la cantidad de desequilibrio hay que encontrar la amplitud de la vibración en la frecuencia igual a $1 \times \text{rpm}$. La amplitud es proporcional a la cantidad de desequilibrio. Normalmente, la amplitud de vibración es mayor en sentido radial (horizontal y vertical) en las máquinas con ejes horizontales, aunque la forma de la gráfica sea igual en los tres sentidos.

Como se ha dicho antes, para analizar datos de vibraciones son tan importantes la experiencia y el conocimiento de la máquina como los datos tomados en ella. Cuando aparece un pico en frecuencia igual a $1 \times \text{rpm}$. El desequilibrio no es la única causa posible, la desalineación también puede producir picos a esta frecuencia. Al aparecer vibraciones en esta frecuencia como otras causas posibles están los engranajes o poleas excéntricas, falta de alineamiento o eje torcido si hay alta vibración axial, bandas en mal estado (si coincide con sus rpm), resonancia o problemas eléctricos, en estos casos además del pico a frecuencia de $1 \times \text{rpm}$ habrá vibraciones en otras frecuencias.

Desalineación

Es un problema muy común debido a la dificultad que supone alinear dos ejes y sus rodamientos de forma que no se originen fuerzas que produzcan vibraciones. La forma de vibración de un eje torcido es similar a la de una mala alineación angular. Para reconocer una vibración debida a una desalineación en la gráfica se pueden ver picos a frecuencias iguales a la velocidad de giro del eje, de dos o tres veces esta velocidad en situaciones donde este problema sea grave. Un ejemplo del espectro de este problema se observa en la figura 46, la forma de la gráfica será similar en las tres direcciones, variando únicamente la amplitud. Igual que en todos los casos, la amplitud es proporcional a la gravedad del defecto, aquí de desalineación. Este fallo puede presentar alta vibración en sentido axial además de radial. Así siempre que exista una

alta vibración en axial y radial, y si la axial es mayor que la mitad de la radial puede existir un problema de desalineación o ejes torcidos.

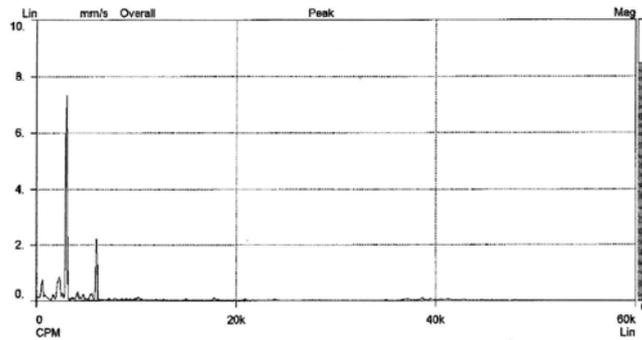


Fig. 46: Desequilibrio.

En la figura 47 se pueden ver los tres tipos básicos de desalineación, en paralelo, angular y una combinación de ambos. La falta de alineación en paralelo, figura 47, produce sobre todo vibración en dirección radial con frecuencia igual al doble de la velocidad de giro del eje. La falta de alineación angular, representada en la figura 48, da vibración en dirección axial en los dos ejes a una frecuencia igual a 1 x rpm.

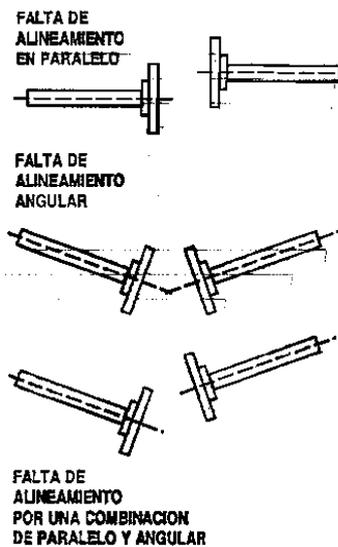


Fig. 47: Tipos de falta de alineación

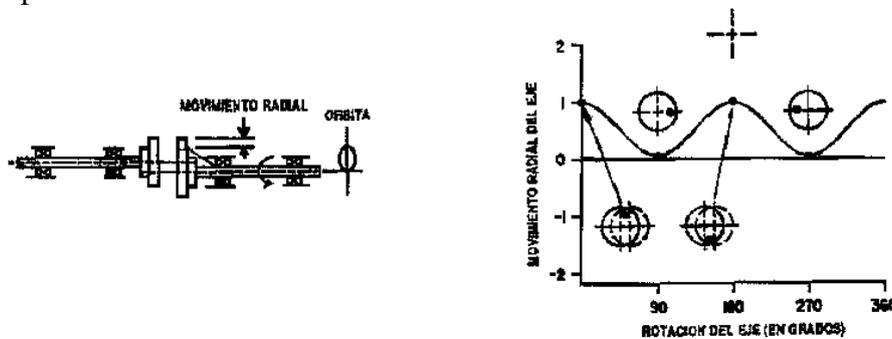


Fig. 48: Falta de alineación en paralelo.

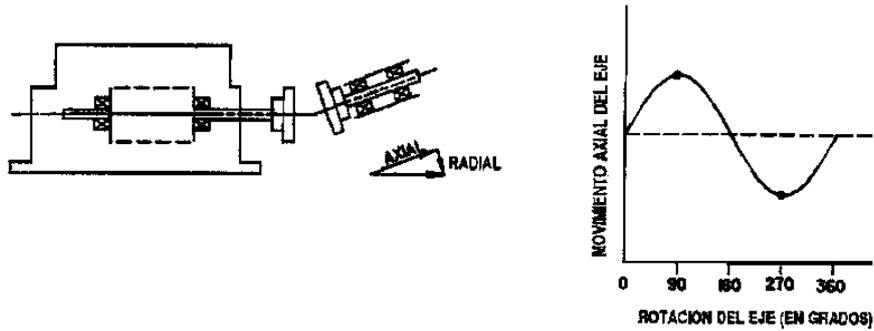


Fig. 49: Falta de alineación angular.

La falta de alineación angular da la vibración en dirección axial en los dos ejes a una frecuencia igual a $1 \times \text{rpm}$. Las condiciones de una desalineación no siempre llevan consigo un acoplamiento. Una desalineación entre eje y su rodamiento es un ejemplo usual de este defecto y que sólo se elimina corrigiendo la colocación del rodamiento. Un casquillo mal alineado con su eje no crea vibración importante, a menos que además exista un problema de desequilibrio, este defecto sería el que produciría una falta de alineación.

Engranajes

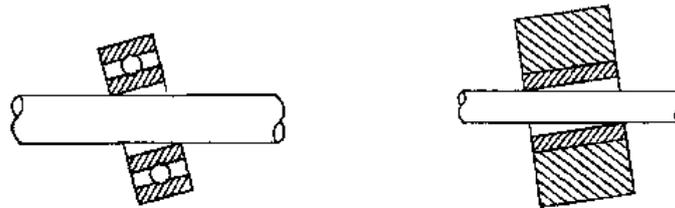


Fig. 50: Rodamiento y casquillo mal alineados respecto al eje.

Este defecto se puede observar al encontrar picos a frecuencias que coinciden con múltiplos enteros de la velocidad de giro del engranaje que falla, además existirá vibración de amplitud menor de forma simétrica a la frecuencia del engranaje. En la figura 51 se pueden observar picos de valor importante a frecuencias que son múltiplos de la velocidad de giro de un piñón, de forma simétrica a estos picos existen otros de valor muy pequeño y separados una distancia igual a la velocidad de giro.

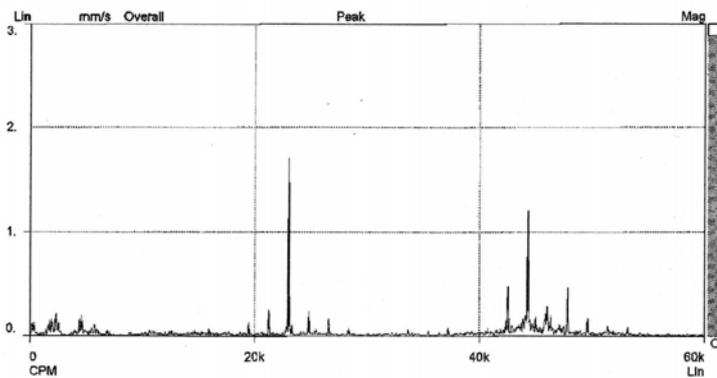


Fig. 51. Espectro de velocidad de un problema de engranaje.

Los problemas de engrane que dan esta vibración son: desgaste excesivo de los dientes, inexactitud de los dientes, fallos de lubricación, elementos extraños entre dientes. Las vibraciones causadas por defectos de engranajes pueden ser detectadas en varios puntos de las máquinas. Esta es una característica que diferencia una gráfica causada por un engranaje con poca carga y la vibración producida por un rodamiento, ya que el diagrama de amplitud frente a frecuencia puede dar lugar a confusión cuando la carga del piñón es baja. Tanto el fallo de engranaje como el de un rodamiento, llevan consigo también la aparición de ruido.

Problemas eléctricos

La vibración es creada por fuerzas desiguales que pueden ser causadas por la forma interna de elemento. Es complicado reconocer gráficamente este problema, ya que no tiene características que indiquen de forma sencilla que esta es la causa de vibración. El espectro puede llevar a errores por ser similar a la del desequilibrio, solo que aquí al desconectar la corriente el problema desaparecerá. Se detectarán picos mayores a distancias iguales a cuatro veces la velocidad de giro si los polos son cuatro, distinguiendo la vibración separada una frecuencia coincidente con la velocidad de giro. En la figura 52 se ve el espectro que da este tipo de problema.

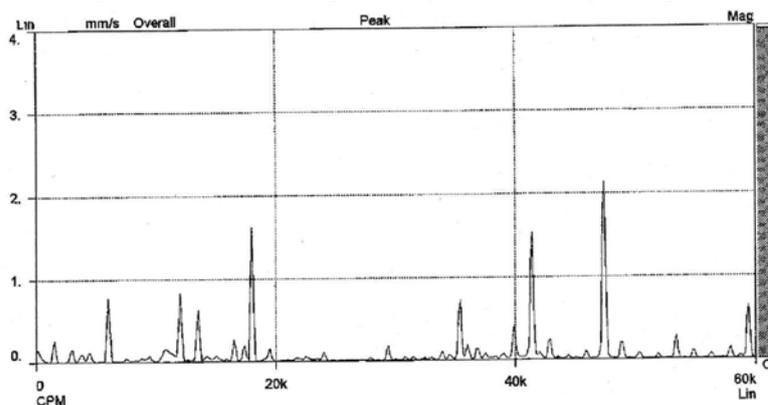


Fig. 52. Espectro de velocidad de un problema eléctrico.

Rodamientos.

Fallos en elementos del rodamiento dan vibración a unas frecuencias altas no relacionadas con la velocidad de rotación y de amplitud también aleatoria. A continuación, en las figuras 53 y 54 se pueden observar los espectros de velocidad y aceleración, respectivamente, de un rodamiento de bolas defectuoso. Es relativamente fácil reconocer este fallo a ver la gráfica de amplitud-frecuencia, ya que se caracteriza por tener muchos picos juntos a altas frecuencias y de amplitud variable que dependerá de la gravedad del problema. La frecuencia a la que se produce la máxima amplitud puede dar una idea del elemento defectuoso del rodamiento. Los defectos en elementos rodantes, pistas de rodamiento o jaula de retención generan fuerzas que se transmiten al alojamiento y estructura que les rodea.

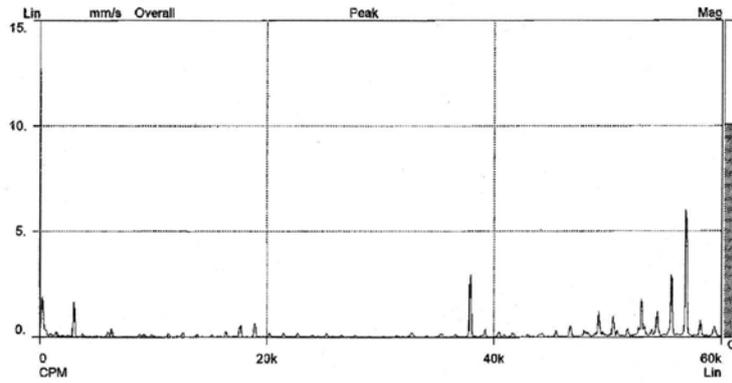


Fig. 53: Espectro de velocidad de un rodamiento defectuoso.

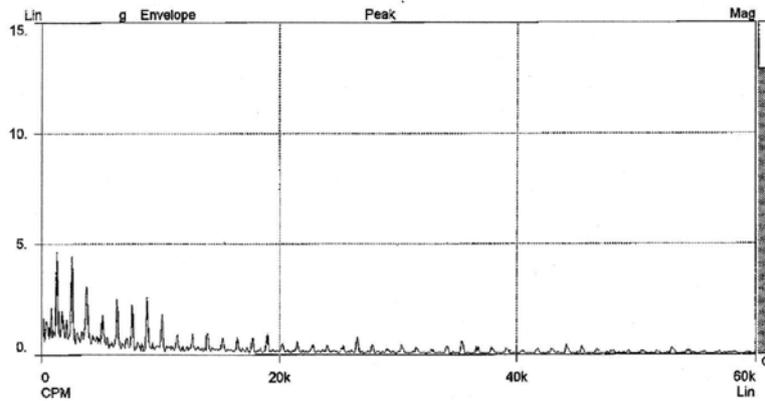


Fig. 54: Espectro del parámetro g de un rodamiento defectuoso.

Para detectar que tipo de fallo existe se ha de obtener la frecuencia a la que la amplitud es mayor y comparar con las calculadas según las fórmulas dadas en la figura 55. Cuando esta es la causa de la vibración es importantísimo conocer el valor de *spike energy*, con este parámetro se puede intuir la gravedad del problema. La gráfica que representa g-frecuencia indica que la vibración del rodamiento a alta frecuencia es inestable y generada al azar.

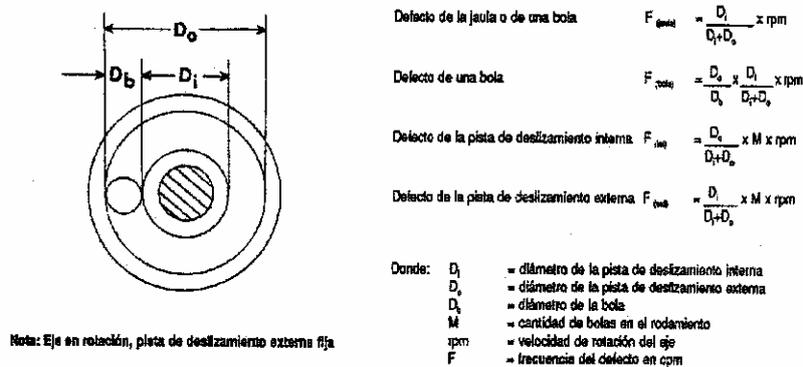


Fig. 55: Expresiones de cálculo.

El fallo de un rodamiento se detecta sólo en la medida realizada en él, es decir, no se transmitirá al resto de los puntos de la máquina. Exteriormente el rodamiento defectuoso se notará por el exceso de ruido. Los rodamientos son elementos importantes en la máquina y cuyo fallo puede dar problemas más graves, por eso es necesario tener un especial cuidado con ellos. Pueden fallar por errores en el montaje, lubricación inadecuada, defectos internos en la fabricación, corriente eléctrica, desalineación, rodamiento no preparado para la carga que soporta. Estas son las causas más comunes de fallo. Por tanto, el análisis de vibraciones es una técnica, que aunque no exacta, es capaz de encontrar fallos en máquinas, anticipándose a la avería. Las ventajas de realizar este tipo de mantenimiento son la desaparición de fallos repentinos en los equipos estudiados, conocimiento del estado de la máquina en cada momento. Así se disminuyen los costes económicos por reparaciones imprevistas, paro en el proceso de producción, cambios de elementos que todavía pueden seguir funcionando, aumento de la eficiencia y disminución de costes de una parada, además de todo esto, ayuda a mejorar el mantenimiento preventivo a realizar en la fábrica. Detrás de todo esto las ventajas que ofrece este estudio son sobre todo de tipo económico, de seguridad frente a averías repentinas.

3.4.2- Mantenimiento centrado en la fiabilidad.

En los últimos años se está haciendo una integración de los enfoques y técnicas del mantenimiento, siendo una de las más interesantes el llamado Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad (RCM: Reliability Centred Maintenance), el cual es utilizado para determinar las necesidades de mantenimiento de un equipo según las condiciones concretas de operación.

Esta forma de organización de la actividad de mantenimiento se basa en realizar un análisis de los Modos de Fallo, sus Efectos y su Gravedad (FMECA: Failure Modes, Effects and Criticality Analysis), como resultado del cual quedan establecidos los siguientes aspectos:

1. Las funciones reales de los equipos, sus posibles fallos y sus causas.
2. Un análisis de los efectos de dichos fallos.
3. Una clasificación de sus consecuencias en el contexto de trabajo de cada equipo, considerando:
 - Las de los fallos ocultos que no se manifiestan directamente en el exterior.
 - Las que afectan a la seguridad o al medio ambiente.
 - Las que perturban las operaciones.
 - Las que, no siendo de ninguno de los tipos anteriores, no implican más gastos que los directos por reparaciones (elementos puramente decorativos, etc.).
 - Elección de la modalidad de mantenimiento más apropiada para cada tipo de fallo de cada equipo (correctivo, preventivo, predictivo, en cualquiera de sus modalidades).
 - Si no es posible resolver satisfactoriamente algún problema crítico mediante las actividades de mantenimiento se hace necesario identificar las modificaciones que convendrán introducir en el rediseño del proceso, sistema o equipo, partiendo siempre de los resultados ya obtenidos.

El mantenimiento centrado en la fiabilidad representa una herramienta de integración de doble sentido, ya que:

1. Aglutina en un proceso unificado varios aspectos técnicos importantes, como son:

- El estudio del comportamiento de los equipos y de las condiciones concretas de funcionamiento.
- La definición y elección de las políticas de mantenimiento más apropiadas para dichas condiciones.
- El "retorno de experiencia", que sirve de retroalimentación para un proceso de mejora a medio y largo plazo de los sistemas y equipos de producción.

2. Implica una amplia colaboración del personal de diversas áreas, como diseño, mantenimiento, producción.

En esencia, esta variante de mantenimiento se basa en realizar estudios de fiabilidad a los elementos, agregados, sistemas y equipos más críticos de la Empresa y, luego, utilizar los resultados obtenidos para perfeccionar tanto la actividad de mantenimiento como el diseño de los mismos. Un ejemplo de la aplicación de la fiabilidad al mantenimiento se muestra a continuación.

El estudio fue realizado a un motor de avión (JT8d-17A), determinando los indicadores fundamentales de su fiabilidad y luego, con los resultados obtenidos, se procedió a planificar la actividad de mantenimiento preventivo. Para el estudio este motor se dividió en seis subsistemas (básico, combustible, ignición, aire, lubricación y propulsión), determinándose el tiempo medio de fallos de cada una de las piezas críticas por fiabilidad. Las características de los fallos se ajustan a la ley de distribución Weibull, probándose con el criterio de Kolmogorov-Smirnov. Realizando un análisis de fiabilidad estructural se determinó la fiabilidad de los subsistemas ($R(t)_{sub.}$) para las 30, 60, 90 y 120 horas de vuelo, obteniéndose los siguientes resultados.

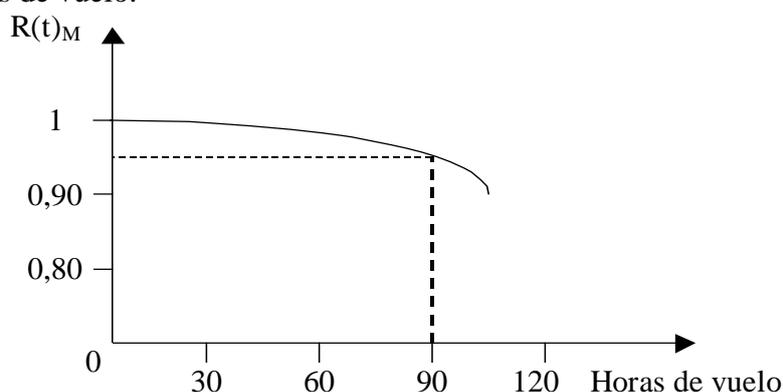
$R(t)$	$R_{(30)}$	$R_{(60)}$	$R_{(90)}$	$R_{(120)}$
Básico	0.9968	0.9914	0.9845	0.9746
Combustible	0.9169	0.8701	0.8319	0.7986
Ignición	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
Aire	0.9794	0.9593	0.9397	0.9204
Lubricación	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
Propulsión	0.9966	0.9932	0.9897	0.9861

De igual forma, realizando un análisis de fiabilidad estructural, se determinó la fiabilidad del motor ($R(t)_m$), el valor de esperado ($E(t)$) y la desviación estándar ($\sigma(t)$), cuyos resultados se muestran a continuación.

Horas de vuelo	30	60	90	120
$R(t)_m$	0.9954	0.9908	0.9555	0.9205
$E(t)$	214,58	49,98	21,46	11,63
$\sigma(t)$	215	50,48	21,96	12,11

Durante el ciclo de vida de cualquier equipo se ejecutan determinados tipos de mantenimiento hasta llegar a la reparación general. Los mantenimientos planificados

mejoran la fiabilidad general hasta un valor dado, mientras que la reparación general le devuelve a dicho equipo su valor nominal de capacidad de trabajo (como si el equipo fuera nuevo). Determinar cuando y cuantas acciones de mantenimiento preventivo tendrán que ejecutarse entre dos reparaciones generales es el objetivo de la planeación del mantenimiento. Para el caso de este motor se estableció que el valor mínimo aceptable de fiabilidad es de 0.9555. La siguiente figura muestra cómo establecer la periodicidad del mantenimiento preventivo a partir de los resultados del estudio de fiabilidad (recurso gamma). En este caso esta periodicidad se estableció cada 90 horas de vuelo.



La cantidad aproximada de mantenimientos preventivos puede calcularse utilizando los valores de $(E(t))$ y de $(\sigma(t))$ para la periodicidad establecida $(E(t)+3(\sigma(t)))$, de tal forma que: $(21,46+3*21.96)=87,34\approx 88$. El tiempo total entre dos reparaciones generales se puede determinar como $(88*90)=7920\approx 8000$ horas de vuelo.

Como conclusión se puede plantear que la planeación o el perfeccionamiento del mantenimiento preventivo aplicando la fiabilidad es un método práctico y sencillo, el cual puede ser utilizado en cualquier tipo de máquina o equipo. En todos los casos los procedimientos a seguir son simples.

3.4.3- Justo a tiempo.

Hace algún tiempo se viene extendiendo en muchos sectores de la producción el "Justo a tiempo" (JIT: Just in time), también llamada "Producción ajustada" (lean production), cuyas características básicas son:

1. La reducción drástica de todos los stocks, en particular los de artículos en curso de producción y los de productos terminados.
2. La mejora de la calidad del servicio, suprimiendo los retrasos y gastos innecesarios.

Naturalmente, en estas condiciones no pueden tolerarse en los equipos fallos imprevistos que retrasen la producción y, por lo tanto, las entregas, puesto que la principal característica de la producción justo a tiempo es, precisamente, que ya no se cuenta con stocks de productos terminados a los que se pueden recurrir para cumplir los compromisos con los clientes cuando se retrase la producción.

Por otra parte, conviene destacar que la política basada en el aseguramiento de la calidad mediante controles tradicionales conducen a un elevado número de rechazos y, además de ser muy costosa implica también, lo mismo que los fallos de los equipos, demoras en los procesos productivos para dar tiempo a reparar o hacer nuevo el producto que se ha rechazado por presentar algún defecto. Por lo tanto, dicha política de calidad resulta incompatible con la producción justo a tiempo, para la cual es necesario trabajar con cero defectos.

Por estas razones es frecuente caracterizar la producción justo a tiempo por una serie de "ceros de la producción", relacionados entre sí y que representan las aspiraciones que, evidentemente, no pueden cumplirse en su totalidad, pero a las cuales se considera deseable aproximarse lo más posible. Estos "ceros de la producción" pueden resumirse en los siguientes: cero stocks, cero retrasos, cero averías, cero defectos y cero despilfarro de trabajo, materiales, energía, etc.

Vale destacar que, si bien la producción justo a tiempo representó en su día una importante ventaja para las empresas pioneras en aplicarlo, en muchos sectores su generalización se ha convertido actualmente en un requisito para poder competir, ya que las rezagadas en su aplicación quedan en desventaja con respecto a sus competidoras que sí lo tienen implementado. La disponibilidad en los equipos resulta el elemento clave para la competitividad.

Dos formas para mejorar la disponibilidad de los equipos, máquinas e instalaciones.

Es conocido que el mantenimiento propiamente dicho no entra a jugar el papel que le corresponde hasta que el equipo, máquina o instalación no entre a operar, puesto que es su funcionamiento el que provoca los fallos de los que se ocupa el mantenimiento y, por lo tanto, mientras no se inicie dicho funcionamiento no puede haber ni fallos que reparar ni riesgos de fallos futuros que prevenir. Lo anterior no contradice el hecho muy frecuente de que, antes de comenzar a funcionar, un sistema esté ya afectado por fallos previos de diseño, fabricación o montaje. En efecto, la naturaleza y las consecuencias de estos fallos previos no coinciden con las de los fallos provocados por el funcionamiento del equipo y, quienes tendrán que subsanarlos no son los que en el futuro se encargarán del mantenimiento, sino los responsables del diseño y de la construcción de dicho equipo y, por lo tanto, de los fallos previos. Si no se corrigen a tiempo, una vez iniciado el funcionamiento del equipo, los fallos previos acabarán perturbándolo relativamente pronto, debido a la mortalidad infantil de los equipos con defectos de diseño, fabricación, montaje o instalación.

Por otra parte, el hecho de que un problema no se plantee hasta un momento determinado no significa que la mejor forma de abordarlo consista en no prestarle atención hasta el momento mismo de enfrentarnos con él, esperando hasta entonces para ver cómo se puede salir del mismo.

Por lo tanto, aunque los fallos producidos por el funcionamiento de un sistema no puedan surgir hasta que éste empiece a funcionar, será a la vez posible y conveniente preocuparse de antemano por la eliminación de dichos fallos y de sus efectos negativos. De hecho, existen varias formas de abordar este problema, tanto en la fase de diseño del equipo, máquina o instalación, como en la de construcción.

Además, si el intento de mejora se emprende efectivamente desde el principio del ciclo de vida y se plantea como proceso coordinado y con una perspectiva amplia, las demás formas que existen para mejorar la disponibilidad pueden contribuir enormemente a elevar la eficiencia y la eficacia del proceso.

Las dos formas básicas que existen para mejorar la disponibilidad de los equipos son:

- Diseño para fiabilidad.
- Diseño para mantenibilidad.

Se entiende por Diseño para Fiabilidad al diseño del sistema de forma tal que se reduzca su tendencia a fallar. El objetivo básico del diseño de un equipo es que este sea de buena calidad, es decir, capaz de cumplir eficaz y eficientemente su misión.

Por otra parte, es fundamental lograr, mediante el diseño adecuado del equipo, que su capacidad de cumplir su misión no se limite a un tiempo excesivamente corto después de la puesta en marcha inicial, sino que resulte relativamente grande, prolongándose lo suficiente para que se alcancen valores razonables de:

- El tiempo transcurrido entre la puesta en funcionamiento inicial del equipo y el instante en que sufre por primera vez un fallo, es decir, el tiempo medio hasta el fallo (MTTF: Mean Time To Failure).
- El tiempo medio entre fallos (MTBF: Mean Time Between Failure), transcurrido desde que termina la solución de un fallo y se vuelve a poner en funcionamiento el equipo hasta el fallo siguiente.

Vale recordar que, según los casos, el MTTF y el MTBF pueden tener el mismo valor o, por el contrario, valores diferentes. Por ejemplo, el valor del MTBF será menor que el MTTF para un equipo que tarde menos en fallar cuando ya ha sufrido alguna avería que cuando estaba completamente nuevo y se puso en marcha por primera vez.

En conclusión, no sólo hay que hacer un diseño de calidad sino también un diseño para fiabilidad, siendo precisamente ésta la finalidad fundamental para la cual se ha desarrollado la Teoría de la Fiabilidad.

La mayoría de los fallos de un sistema tienen de hecho su origen en los fallos locales de uno o de varios de los elementos que lo componen, por lo que existen varias posibilidades de diseñar el sistema reduciendo su tendencia a fallar, partiendo de las siguientes condiciones:

Con elementos más robustos, aumentando su fiabilidad y reduciendo lo más posible su sensibilidad a los factores incontrolables, responsables estos de los fallos accidentales. Es importante destacar que esta forma de mejorar, desde la fase de diseño, el comportamiento futuro del sistema resulta especialmente interesante, ya que una vez llegados a la fase de explotación, nos encontramos prácticamente indefensos ante este tipo de fallos accidentales, no tenemos apenas posibilidades de evitarlos ni de reducir su tasa de aparición mediante acciones preventivas de mantenimiento, salvo en el caso de que, en realidad, no sean puramente accidentales y, por algún fenómeno de desgaste o similar, la probabilidad de que se produzca y aumente con el tiempo.

Por medio de redundancias de elementos o subconjuntos que, incrementando la fiabilidad general, permiten lograr sistemas más robustos. Cabe aclarar que las redundancias no reducen los fallos de los elementos, pero sí los del conjunto, al impedir la propagación inmediata de los fallos locales al sistema, retrasándola o atenuándola hasta que fallen todos los elementos redundantes. El mismo principio de redundancia de elementos primarios para posponer el fallo puede aplicarse a unidades de nivel más elevado en el sistema.

A pesar de esto, estas dos posibilidades: el sobredimensionamiento y la redundancia, poseen los siguientes inconvenientes:

1. Tienden a incrementar las dimensiones y el peso del sistema cuya fiabilidad se pretende mejorar, lo que puede ser una desventaja muy importante en aquellos casos donde es esencial lograr sistemas fiables pero también lo más ligeros y compactos posibles, como por ejemplo para el caso del transporte automotor, submarinos, aviones, astronaves, equipos electrónicos, etc.
2. Suelen implicar aumentos, a veces considerables, del costo de adquisición del sistema.
3. Una variante inmediata, que puede resultar interesante y que está siendo una práctica cada vez mayor, consiste en utilizar, en utilizar, en lugar de una sola unidad, dos o más de menor capacidad unitaria que representen en conjunto una capacidad total semejante o algo superior. Por ejemplo, puede ser preferible emplear dos motores en una embarcación en lugar de uno solo, dos generadores en una central eléctrica que alimenta una zona aislada y no conectada a la red de suministro, etc. De esta forma:
 - Se evita que en caso de fallo de una sola unidad se interrumpa totalmente el servicio, aunque naturalmente, dicho servicio quedará degradado hasta que se vuelva a poner en funcionamiento la unidad averiada.
 - Se reduce la probabilidad de la interrupción total del servicio, que exigiría el fallo simultáneo de todas las unidades dispuestas para trabajar en paralelo.
 - El costo adicional puede no representar un inconveniente tan grave como en el caso de la redundancia. El uso de una sola unidad de mayor capacidad unitaria puede conducir a un incremento del costo de operación y mantenimiento en comparación con el uso de dos unidades más pequeñas para que, mediante la redundancia así obtenida, resulte más segura la prestación del servicio.

El Diseño para Mantenibilidad es aquel que garantiza que se reduzcan los costos y los tiempos perdidos en la realización de las acciones de mantenimiento que sigan siendo necesarias.

Evidentemente, es imposible evitar totalmente los fallos, aunque logremos hacerlos menos frecuentes o, lo que resulta equivalente, aumentar la duración media (MTBF), de los intervalos entre fallos consecutivos durante los cuales el sistema funciona con normalidad.

Por tanto, otra vía para mejorar el funcionamiento de un sistema consistirá en reducir las consecuencias negativas de los fallos, entre las cuales figura el tiempo que se tarda en repararlos o realizar operaciones de mantenimiento preventivo para evitarlos.

Para el estudio de la Mantenibilidad es necesario definir la variable aleatoria "Tiempo para Reparar" o "Tiempo Transcurrido en la Reparación" (TTR: Time To Repair) que, para cada tipo de fallo tomará un valor determinado. Es fácil apreciar la semejanza entre este tiempo (TTR) y el tiempo transcurrido hasta el fallo (TTF). El valor medio de esta variable aleatoria será la "Media del Tiempo que se Tarda en la Reparación" (MTTR: Mean Time To Repair), que a su vez es semejante a la "Media del Tiempo Transcurrido entre Fallos (MTTF: Mean Time To Failure).

Por lo que, un equipo puede considerarse más fiable cuanto mayor sea su MTTF y más "mantenible" cuanto menor sea su MTTR. Puede apreciarse que, como en el caso de la fiabilidad, la mantenibilidad depende fundamentalmente del diseño del sistema y resulta sumamente difícil de modificar en un sistema en funcionamiento.

Cuando se decide proceder a un diseño para mantenibilidad puede ser útil estudiar en que medida son aplicables al caso concreto considerando las siguientes vías de acción:

1. Aumentar la facilidad de diagnóstico, estableciendo sistemas que faciliten la detección de los fallos o, mejor aún, que la realicen semiautomática o automáticamente, y que descendan dentro de la estructura del sistema considerado hasta niveles lo más bajos posible, procurando incluir además puntos donde puedan concentrarse las observaciones y las pruebas, como se hace en las salas de control de centrales eléctricas o plantas químicas, en los cuadros de instrumentos de vehículos, etc. En efecto, no suele ser posible percibir directamente los fallos en los elementos en los cuales se originan la mayoría de los fallos de unidades de niveles superiores. Por lo tanto, cuando se manifiesta un fallo en una unidad compleja, suele ser preciso un proceso de diagnóstico que puede ser costoso y requerir de mucho tiempo, siendo entonces conveniente hacerlo innecesario o por lo menos acortarlo.
2. Estructurar el sistema pensando en aumentar la "sustituibilidad" o facilidad de sustitución de las partes, por ejemplo, haciendo módulos independientes y muy fácilmente separables del conjunto desde todos los puntos de vista: mecánico, eléctrico, electrónico, etc. De esta forma el tiempo de inutilización del sistema puede minimizarse cambiando rápidamente un módulo averiado por otro igual y reparando después el módulo averiado mientras el sistema sigue funcionando normalmente con el de repuesto.
3. Llevar lo más lejos posible la normalización de los elementos, subconjuntos y unidades del sistema, y de las herramientas, instrumentos de ensayo, etc., utilizados en el mantenimiento.
4. Estudiar y simplificar los métodos de realización de las actividades de mantenimiento para hacerlos lo más eficaces y eficientes posible. No debemos olvidar que, en numerosas actividades industriales altamente automatizadas, el trabajo humano dedicado al mantenimiento supera al de producción, por lo que puede ser interesante aplicar también al mantenimiento las técnicas de estudio y mejora de métodos y tiempos.
5. Tener en cuenta las condiciones ambientales de temperatura, humedad, contaminación, vibraciones, etc., a las que se verán sometidos los distintos

sistemas y equipos no sólo durante su funcionamiento sino también durante el almacenaje, transportación, etc.

Cuando resulta posible que tanto en el proyecto como en la construcción de un sistema o equipo participen quienes van a trabajar en él o poseen experiencia práctica de trabajo en sistemas o equipos similares, esta participación será siempre sumamente útil, tanto a mediano como a largo plazo. La participación del personal de mantenimiento a todos los niveles puede tener, y de hecho tiene, grandes ventajas, sobre todo si se trata de personas con experiencia en el mismo tipo de sistema o equipo, como sucede cuando una Empresa ya existente moderniza o amplía alguna de sus áreas, o bien construye una nueva. Entre las ventajas más sobresalientes podemos mencionar las siguientes:

1. Mayor mantenibilidad, y en particular, más facilidad de acceso a los lugares en los cuales es preciso intervenir para realizar las acciones del mantenimiento preventivo y correctivo, aspecto al que los operarios pueden ser especialmente sensibles. Este punto incluye, por una parte, la localización del personal de mantenimiento en relación con los equipos o sistemas a los que ha de atender y, por otro, el dimensionamiento de puertas, pasillos, escaleras, etc., para evitar los costosos, lentos y a menudo peligrosos trabajos de demolición y reconstrucción que, con relativa frecuencia son necesarios para poder extinguir un incendio, soldar una tubería rota, desmontar una máquina, llevarla al taller de reparación o sustituirla por otra, etc.
2. Menos incompatibilidad que pueden no afectar a la operación del sistema o equipo pero sí su mantenimiento. Durante mucho tiempo puede no plantear problemas el hecho de que vayan paralelas y muy cerca una línea de red informática y una cañería de agua, mientras ésta última no presente algún salidero y haya que soldarla.
3. La observación de las indicaciones de los aparatos de medida, registradores, pantallas de ordenador, etc., cuya consulta sea necesaria para detectar anomalías, síntomas precursores de los fallos.
4. Mejor y más rápido acceso a herramientas, repuestos, etc., en función de la distribución en planta de las instalaciones y de la localización dentro de ellas de los almacenes y talleres de mantenimiento.

Por otra parte, en la fase de construcción, la participación del personal de mantenimiento puede aportar:

1. Una comprobación adicional de que la obra no se desvía del proyecto en aspectos como los antes mencionados.
2. Una información directa a dicho personal sobre la disposición detallada de todos los equipos, conducciones, líneas, etc., muchos de los cuales quedan ocultos cuando termina la construcción. Esta información de primera mano puede representar un excelente complemento a la habitualmente disponible en forma de esquemas, planos, etc., y contribuye a la mantenibilidad evitando pérdidas de tiempo en la localización de fallos, de vías de acceso a elementos averiados, etc.

3.4.4- TPM: Mantenimiento Productivo Total.

En un clima de demanda tan variable como el actual, se crean en las Empresas circunstancias adversas que obligan a crear técnicas avanzadas para desarrollar nuevos y atractivos productos y a establecer nuevas organizaciones y procesos de producción apropiados que mejoren la calidad, los tiempos de fabricación o producción, aseguren el funcionamiento continuo y una distribución adecuada de los recursos.

Esta situación exige una "excelencia" en el mantenimiento y en la explotación de los equipos, máquina y sistemas de producción, de tal forma que estén disponibles siempre que se necesiten y que cada día produzcan más con una mejora constante de la calidad y una reducción de los costos. Para esto se hace imprescindible crear nuevas organizaciones en el mantenimiento y en la producción, de tal forma que sus miembros trabajen juntos y con espíritu participativo y de cooperación.

La idea de que "yo soy el operario y tú eres el de mantenimiento" siempre ha estado arraigada en las Empresas, ocasionando esto un desinterés total por el mantenimiento por parte del personal de producción. El primer paso para la nueva forma de organización, y por tanto del TPM, es cambiar ésta forma de pensar por la de "el operario mantiene autónomamente el equipo que utiliza" bajo la óptica de que "el mantenimiento es de todos". Esto supone formar al operario de producción en las técnicas y prácticas del mantenimiento elemental y la mejora continua, para que pueda desempeñar sus nuevas funciones. Esta formación del personal es sólo posible cuando el interés y la capacidad están presentes y el perfeccionamiento llega a su nivel máximo (perfeccionamiento del colectivo) cuando estos operarios deciden formar equipos, desarrollando sus tareas en pequeños grupos autónomos y creando la estructura técnica de los grupos de mejora continua para fiabilizar los equipos y mejorar la calidad de los productos y las relaciones cliente-proveedor. En la siguiente figura se muestran los tres ejes básicos para una organización moderna del mantenimiento.

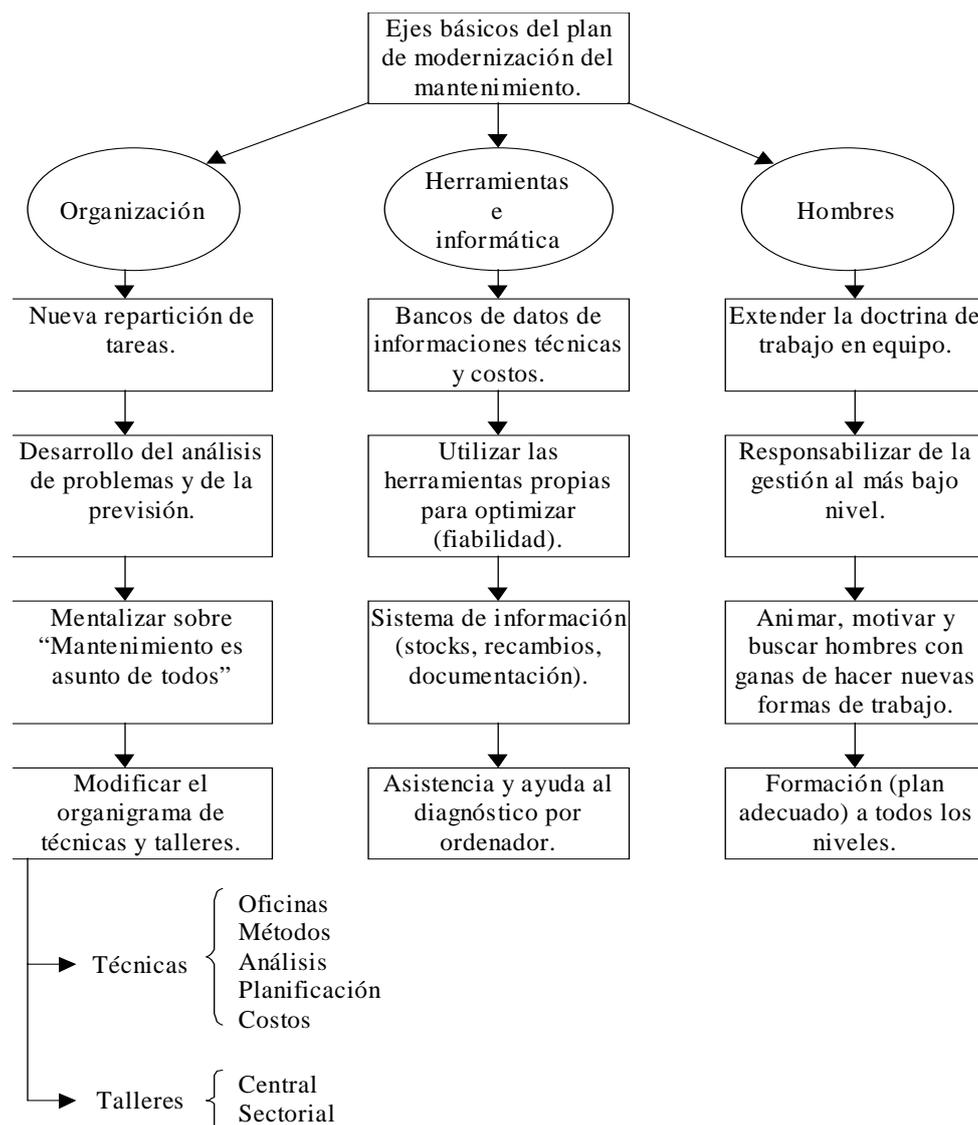


Fig 56: Ejes básicos para la organización del mantenimiento.

En lugar de poner a punto sistemas tecnológicamente avanzados (por ejemplo el mantenimiento predictivo), a menudo muy costosos, pueden idearse procedimientos de "inspección" cuyo costo es pequeño, basándose en la información de los operarios que manejan las máquinas y que pueden detectar, gracias a su experiencia, síntomas de anomalías que anuncian averías a corto plazo. Esta última observación es muy importante en términos de organización ya que:

1. Uno de los recursos más empleados para enriquecer el trabajo consiste precisamente en confiar a cada obrero cierta responsabilidad en la inspección y en el mantenimiento de su propia máquina.
2. Esta política puede conducir a una organización del mantenimiento en la que coexisten, conforme a la noción de "pequeñas fábricas dentro de la grande" a:
3. Un equipo especializado, centralizado y muy bien equipado para el mantenimiento.
4. Una gran descentralización del "pequeño mantenimiento", con participación de los propios operarios de las máquinas, y a veces de equipos muy reducidos de personas asignados a cada taller.

El llamado Mantenimiento Productivo Total (TPM) se basa en este tipo de consideraciones, siendo sus claves las siguientes:

1. El objetivo del TPM es lograr la máxima eficiencia y eficacia de las instalaciones y equipos.
2. Se trata de un sistema global que abarca toda la vida de las instalaciones.
3. Implica la participación de toda la Empresa, incluidas especialmente los departamentos de proyecto, producción y mantenimiento.
4. Implica la participación de todos los niveles de la Empresa, desde la dirección hasta los obreros.
5. Se basa en la movilización de todo el personal de las diferentes áreas, encargadas de planificar y realizar la producción y el mantenimiento.
6. Para ello utiliza una organización en pequeños grupos con cierto grado de autonomía, muy semejante a los círculos de calidad.

Este concepto de mantenimiento productivo total hay que situarlo en el contexto de la evolución del concepto de mantenimiento clásico y de una nueva filosofía de producción basada en la calidad total.

El TPM nació como una idea del Señor Seiichi Nakajima del Instituto Japonés de Mantenimiento y que después se ha divulgado por el mundo. El TPM es una necesidad que parte de una nueva filosofía de funcionamiento, diferente a lo que entendemos hoy por "producción" y no exclusivamente de lo que es "mantenimiento". El TPM es el cambio del sistema productivo de la Empresa. Actualmente las Empresas tienen bien delimitadas tres áreas de trabajo: Producción, Mantenimiento y Calidad, entonces el TPM lo que trata de ser es una nueva forma de producción que combina la calidad, el mantenimiento y la producción, simplemente para rebajar los costos de producción.

Considerando todas estas características podemos hacer las siguientes observaciones:

1. En relación con la división del trabajo, la aplicación del TPM supone un cambio de tendencia frente a los enfoques tradicionales, al admitir una cierta participación en las tareas de planificación, diagnóstico, etc., de los trabajadores de producción a los cuales, según la organización científica del trabajo, "se paga exclusivamente por trabajar y no por pensar".
2. Desde el punto de vista de los trabajadores de producción, aunque sea de alcance limitado, este cambio puede tener varias consecuencias importantes, y así lo confirman numerosas experiencias, no sólo de los llamados "círculos de calidad", "TPM", etc. de procedencia japonesa, sino también de "enriquecimiento del trabajo", "creación de grupos semiautónomos", de "islas de producción", etc. que han tenido su origen en países occidentales, y que:
 - Contribuye a reducir la monotonía y a aumentar el interés por el trabajo.
 - Ofrece posibilidades de aprender, lo que refuerza a corto plazo dicho interés por el trabajo y además ofrece, a medio y largo plazo, posibilidades de ampliar los conocimientos y adquirir un mayor nivel de calificación y, por tanto, puede

abrir posibilidades de promoción profesional prácticamente inexistentes si el trabajo se limita a tareas rutinarias de contenido muy limitado.

- Al intervenir los operarios en el mantenimiento de las instalaciones, máquinas y equipos, pueden apreciar de forma práctica las consecuencias de descuidar su manejo y operación.
- Asimismo, estos operarios adquieren mayor capacidad de interpretación de síntomas precoces de posibles fallos, y de intervención para evitar algunos de ellos, y cuentan con criterio para decidir en qué casos ellos mismos no están capacitados para intervenir y deberán entonces advertir a los más capacitados.
- El trabajo de los operarios se hace más interesante, exige más responsabilidad y ofrece mejores perspectivas de futuro.

3. Adoptando la perspectiva de los trabajadores de mantenimiento, el planteamiento del TPM presenta estas otras ventajas:

- Permite a los menos expertos trabajar en equipo con el personal de producción y al mismo tiempo contar con el apoyo de los trabajadores de mantenimiento de nivel más elevado.
- Facilita la adquisición de un excelente conocimiento de las instalaciones y equipos específicos de un área y paralelamente una ampliación de la formación con la ayuda de los técnicos del nivel superior, la participación en cursos, seminarios, etc.
- Facilita la promoción interna y reduce el riesgo de la obsolescencia que puede ser muy grande en el caso de tecnologías en rápida evolución.

4. Desde el punto de vista de la Empresa, el TPM:

- Reduce en cierta medida el riesgo de división de los trabajadores en una élite dedicada al mantenimiento y los obreros de producción.
- Permite encontrar en estos una cantera de futuros trabajadores de mantenimiento.
- Contribuye efectivamente a mejorar la eficiencia y eficacia de las actividades de producción y de mantenimiento.
- Permite articular diversos puntos de vista: a corto y mediano plazo para el mantenimiento de los equipos existentes, y a largo plazo para la fiabilidad y mantenibilidad de los equipos futuros, puesto que en el TPM se prevé una amplia cooperación de todos los niveles y sectores de la Empresa.
- En la medida en que esta cooperación se logre llevar a la práctica se puede facilitar la aplicación de diversas técnicas, las cuales pueden resultar útiles cuando recogen los criterios y las experiencias de todos los implicados.

Es interesante observar que, en el turbulento entorno actual, un rasgo importante para la gestión de un sistema es su capacidad de evolución. Las estructuras excesivamente especializadas y rígidas no pueden irse modificando progresivamente al ritmo necesario sino que, para cambiar, tienen que pasar por crisis que las hacen, al menos transitoriamente, especialmente vulnerables. Por el contrario, las organizaciones con mayor grado de polivalencia a todos los niveles, y con mayor hábito de trabajo en cooperación, suelen resultar más flexibles y con mayor capacidad de adaptarse a tiempo a los cambios que suceden actualmente a ritmo acelerado.

En este sentido, un enfoque como el del TPM, inspirado a su vez en el de los círculos de calidad, constituye una acción de mejora, en la cual el proceso utilizado para alcanzarla es tan valioso como los propios resultados logrados, e incluso de mayor alcance estratégico porque sirve a la Empresa de entrenamiento para aumentar su capacidad de cambio. Dicho de otra forma, la gestión del mantenimiento según el enfoque del TPM puede servir no sólo para, actuando sobre los equipos y las instalaciones, incrementar la eficiencia y la eficacia de la Empresa, sino además para reforzar su capacidad de lograr mejoras futuras en los aspectos que resulten prioritarios en cada momento.

Entorno TPM:

El entorno de calidad total en una Empresa se caracteriza por:

1. Compromiso de la alta dirección que sea definido y permanente.
2. Una preocupación constante hacia los recursos humanos, a través de la motivación y la formación.
3. Creación de un estilo de dirección participativo, poniendo las condiciones necesarias de confianza para que a todos los niveles surjan ideas.
4. Mentalización de toda la plantilla de que "la calidad no se controla, se fabrica" y que lo que hacemos es "calidad".
5. La estrategia no es corregir errores rápidamente sino trabajar preventiva y predictivamente.
6. El proceso de calidad total requiere un cambio mental en todas las áreas de la Empresa.

Este cambio tarda normalmente de 4 a 6 años en producirse y consiste en que el personal comprenda que hay que trabajar en un entorno de mejora permanente.

Para llevar a cabo la mejora permanente de la producción se emplean las llamadas técnicas de mejoramiento Kaizen, las que tienen por objetivo desarrollar en la Empresa el concepto tanto de mejora como el de innovación. En el área productiva éstas deben desarrollarse simultáneamente y se pueden resumir en las siguientes: Cero defectos, Círculos de calidad, Actividades en pequeños grupos, Desarrollo de nuevos productos, TPM, Disciplina en el lugar de trabajo, Mejora de la productividad, Automatización, Orientación al cliente, Mejora de la calidad, Just in time y Fabricación flexible.

Como puede deducirse, no se puede obtener cero defectos, cero averías, cero roturas, cero stocks, ni just in time, ni ninguno de los conceptos que definen la calidad total, si no tenemos en cuenta al mantenimiento y viceversa. A este concepto amplió de mantenimiento se le denomina Mantenimiento Productivo Total.

El TPM no se reduce a que los operarios de producción realicen pequeños trabajos de mantenimiento, ya que esto es sólo una consecuencia. El TPM es una estrategia dentro del sistema de calidad total, donde de lo que se trata es de cambiar el enfoque clásico de solución de los problemas: en lugar de que estos sean resueltos por los mandos de la organización, hay que procurar que los propios trabajadores sean los que encuentren e implanten las soluciones, y de esta forma se crea un clima de participación

del que surgen ideas y sugerencias, que una vez analizadas, deben ser llevadas a la práctica lo más rápidamente posible. Al considerar el concepto de TPM se pone de manifiesto la necesidad de cambiar el concepto de obreros de operación y/o mantenimiento por el de grupos de trabajo.

Los grupos de trabajo de TPM tienen las siguientes características:

1. Son grupos cuyo objetivo es la mejora de las máquinas que tienen a su cargo, no distinguiendo la división entre operación y mantenimiento.
2. Son autónomos, es decir, analizan y resuelven los problemas hasta el nivel que su formación les permite.
3. Son polivalentes, es decir, pueden realizar distintas tareas de operación y mantenimiento, pero además pueden realizar estas tareas en distintos grupos de trabajo que atienden máquinas o áreas productivas totalmente distintas. Su característica es la no especialización individual sino una concepción de grupo.
4. Son formados constantemente, es decir, estos grupos forman parte de un plan de formación y rotación en la Empresa, perfectamente conocido por todo el personal que servirá de base para la motivación y valoración salarial.
5. Existe autocontrol, es decir, este grupo realiza su propio autocontrol de forma que el concepto tradicional de control de calidad de los artículos fabricados o máquina reparadas queda obsoleto y se introduce la idea de "hacer bien las cosas desde el inicio"; la máquina reparada queda lista para funcionar y no se acepta que luego de una reparación queden pendientes ajustes posteriores.

Este sistema de hacer aflorar las ideas o sugerencias de todos los miembros de la Empresa, o sea, de aprovechar todo el potencial humano de la misma, es la dirección que hay que seguir para mejorar.

Objetivos del Mantenimiento Productivo Total.

El TPM combina las prácticas habituales de mantenimiento preventivo y predictivo con el sistema japonés de involucrar profundamente a todo el personal de la Empresa, siendo el resultado un sistema innovador que busca la máxima eficiencia y la eliminación de las roturas durante la el funcionamiento de los equipos, aprovechando las actividades día a día de un grupo de obreros. Este TPM tiene los siguientes objetivos:

1. Maximizar la efectividad de los equipos.
2. Establecer, a través de un sistema de mantenimiento preventivo/predictivo, una larga vida y disponibilidad del equipo, máquina o instalación productiva.
3. Asumir el concepto de TPM teniendo en cuenta a todos los departamentos (operación, mantenimiento, ingeniería, investigación y desarrollo, comercial, logística, etc.).
4. Involucrar en este proceso desde la dirección hasta el último trabajador.
5. Promover el TPM a través de una acción de dirección para crear los grupos de pequeñas actividades e ideas.

Implantación del TPM en una Empresa.

La implantación del TPM en cualquier Empresa consta de las siguientes etapas:

Tabla 6: Etapas del desarrollo del TPM.

Área	Etapas
Preparación	1-Anunciar por parte de la dirección la introducción del TPM. 2-Mentalización y educación en TPM. 3-Crear la organización promotora del TPM. 4-Establecer los objetivos y las metas básicas. 5-Formular el plan de desarrollo TPM.
Implantación preliminar	6-Dar a conocer el plan a clientes, empresas afiliadas, compañías subcontratadas, etc.
Implantación TPM	7-Fijar y seleccionar la efectividad de cada pieza del equipo. 8-Desarrollo de un programa autónomo de mantenimiento. 9-Desarrollo de un programa de mantenimiento por parte del Departamento de Mantenimiento. 10-Formación de los jefes de equipo y de los operarios. 11-Desarrollo del programa de mantenimiento preventivo.
Estabilización	12- Perfeccionar la implantación del TPM y elevar sus cotas de objetos.

Con relación a esto pueden hacerse las siguientes consideraciones:

1. El programa no se basa en técnicas concretas, sino en una filosofía de funcionamiento diferente, que busca la implicación de todos los trabajadores y no sólo del equipo de mantenimiento.
2. Se basa en un concepto de calidad total ya que implica a todos los departamentos y áreas de la Empresa, y además a organizaciones externas.
3. Introduce el concepto de mejora permanente.
4. Los operarios y jefes de equipo constituyen el núcleo de acción del TPM, tanto a nivel manual (reparar) como organizativo (ideas, soluciones, mejoras, etc.).

Es imprescindible que durante la aplicación del TPM se sea riguroso en:

1. El seguimiento de las etapas.
2. La formalización permanente de las decisiones en los grupos de trabajo.
3. La toma de datos y el seguimiento de los indicadores de progreso.
4. El ritmo y programación de los métodos tras definir un programa concreto de trabajo.
5. La realización de las tareas de automantenimiento y mantenimiento preventivo por parte de los operarios de producción.
6. Atender las sugerencias presentadas por la participación activa de toda la organización.

Aplicando correctamente el TPM en la Empresa la mejora obtenida es asombrosa. Los datos que a continuación se muestran reflejan lo antes expuesto:

1. Mejora del rendimiento operacional de las máquinas, superior al 35 %.
2. Mejora de la calidad del producto.
3. Disminuyen los paros por averías.
4. Mejora la productividad global, superior al 50 %.
5. Acorta los tiempos de automatización.
6. Disminuye los niveles jerárquicos.
7. Mejor rendimiento de la mano de obra asignada a cada área.
8. Disminuyen drásticamente los accidentes de trabajo.
9. Disminuye los costos de producción y de mantenimiento.
10. Un nuevo aspecto de la Empresa; limpia, ordenada, desapareciendo las fugas, papeles, etc.
11. Fuerte sensibilización de los hombres de producción al funcionamiento normal de los equipos y máquinas y al mantenimiento de ellos.

En la siguiente tabla se muestra, a modo de conclusión final, una síntesis del plan de mejora de la productividad cuando implementamos el TPM en la Empresa.

Tabla 7: Síntesis del plan de mejora de la productividad.

Sobre el sistema industrial.	Sobre la organización
1- Suprimir las incidencias. <ul style="list-style-type: none"> • Cero averías (mantenimiento preventivo y mantenimiento integrado en la fabricación). • Cero defectos. 	1- Alargar el campo de acción en producción. <ul style="list-style-type: none"> • Transferir a los hombres nuevas tareas. • Integrar el mantenimiento en la producción. • Integrar la asistencia técnica directa. • Conducir una línea en grupo que asegure la máxima producción.
2- Producir en justo a tiempo. <ul style="list-style-type: none"> • Cambio de herramientas y útiles programados. • Aplicar mantenimiento preventivo eficaz. • Sincronizar las máquinas y las actividades. 	2- Reducir el número de escalones jerárquicos. <ul style="list-style-type: none"> • Operarios y animador de grupo. • Responsable directo de taller.
3- Implantar la mejora continua. <ul style="list-style-type: none"> • Mejorar el proceso. • Mejorar las operaciones. • Mejorar las máquinas. • Mejorar las relaciones cliente/proveedor. 	3- Trabajar en grupos multidisciplinares de mejora continua. <ul style="list-style-type: none"> • Planificación de reuniones. • Análisis de problemas de calidad-fiabilidad-costos. • Planes de acción y responsables. • Seguimiento. • Hacer contratos directos cliente/proveedor.
4- Implantar auditorias. <ul style="list-style-type: none"> • Calidad. • Mantenimiento. 	4- Plan de formación. <ul style="list-style-type: none"> • Plan de comunicación.

BIBLIOGRAFÍA.

1. Explotación Técnica de los Automóviles. Higinio Luna Lauzurique. Editorial ENPES. La Habana. 1982. 243 p.
2. Mantenimiento Predictivo. Brüel and Kjør. Dinamarca. Primera edición. 1984. 32 p.
3. Economía de las Empresas Industriales. Fernando Portuondo Pichardo. 2 tomos. Editorial Pueblo y Educación. La Habana. 1984. 774 p.
4. Mantenimiento Industrial. Enrique Navarrete Pérez y José R. González Martín. 3 tomos. Editorial ENPES. La Habana. 1986. 1040 p.
5. Reparación de los Automóviles. Nicolai Kochnov y Jorge Basté González. 3 tomos. Editorial ISPJAE. La Habana. 1986. 837 p.
6. Explotación Técnica y Montaje de los Equipos de Elevación de Cargas. Carlos Bonet Borjas y Angel Rodríguez Mena. 2 tomos. Editorial ISPJAE. La Habana. 1987. 774 p.
7. Explotación Técnica. Víctor Millo Carmenate y otros. 3 tomos. ISTC. Cienfuegos. 1989. 526 p.
8. Planeación del Mantenimiento a Máquinas Basado en la Fiabilidad. J. Singh y A.A. Bahshwan. Octavo congreso mundial sobre máquinas y mecanismos. Praga. Checoslovaquia. Del 26 al 31 de Agosto de 1991.
9. Diferenciación de máquinas. SIME. Dirección de Mantenimiento. Febrero. 1992.
10. El mantenimiento preventivo y la medida de su eficiencia. J.M. García y M. Amezaga Urquijo. Revista Mantenimiento. España. Marzo-Abril 1992. pág. 5-9.
11. Gestión integrada de mantenimiento. La puesta en práctica. Eduardo de Quinto. Revista Mantenimiento. España. Abril 1992. pág. 35-38.
12. Coloquio sobre formación de mantenimiento. Revista Mantenimiento. España. Abril 1992. pág. 25-32.
13. La adaptación de la función Mantenimiento a los cambios del entorno productivo. Juan Acosta Caverdos y Julio Pérez Ortega. Revista Mantenimiento. España. Abril 1992. pág. 15-18.
14. Sistemas de información para el mantenimiento. Carlos M. Pérez Jaramillo. Revista Mantenimiento. España. Julio-Agosto 1992. pág. 29-35.
15. Plan de mejora de la productividad. Francisco Rey Sacristán. Revista Mantenimiento. España. Enero-Febrero 1993. pág. 5-19.
16. Reflexión sobre el mantenimiento en las industrias modernas. Antonio Corrales. Revista Mantenimiento. España. Octubre 1993. pág. 25-27.
17. Cambio tecnológico y recursos humanos en el mantenimiento. Carles Riba Romera y Salvador Verdaguer Massana. Revista Mantenimiento. España. Octubre 1993. pág. 5-13.
18. ¿Qué espera la dirección de fábrica del departamento de mantenimiento? Francisco Bravo Montánez. Revista Mantenimiento. España. Diciembre 1993. pág. 39-44.
19. Análisis de las vibraciones en máquinas herramientas. Blas Pueyo Serrate. Revista Mantenimiento. España. Diciembre 1993. pág. 32-34.
20. El mantenimiento moderno (proactivo). Javier Borda Elejabarrieta. Revista Mantenimiento. España. Diciembre 1993. pág. 37-38.
21. El mantenimiento en época de crisis. Aplicación del TPM en nuevas organizaciones. Francisco Rey Sacristán. Revista Mantenimiento. España. Diciembre 1993. pág. 19-29.
22. Relación entre mantenimiento y vida útil de la maquinaria en minería. Osvaldo

- Adivire, Carlos López y Luis Mazadiego. Revista Mantenimiento. España. Marzo 1994. pág. 23-31.
23. Métodos de evaluación de la gestión de mantenimiento. Eduardo Larralde Ledo. Revista mantenimiento. España. Marzo 1994. pág. 3-13.
 24. Apuntes sobre calidad total. Rafael Expósito. Revista Mantenimiento. España. Junio 1994. pág. 47-49.
 25. Contribución del mantenimiento al aumento de la capacidad de producción. Angel Nuñez Jover. Revista Mantenimiento. España. Junio 1994. pág. 43-46.
 26. TPM. Mantenimiento productivo total. Realidad y aplicación práctica. Concepto de calidad total. Félix Tobalina. Revista Mantenimiento. España. Junio 1994. pág. 43-46.
 27. TPM. Mantenimiento productivo total. Realidad y aplicación práctica. Una nueva dirección en la producción. Félix Tobalina. Revista Mantenimiento. España. Octubre 1994. pág. 15-20.
 28. TPM. ¿Filosofía, necesidad, realidad? Coloquio. Revista Mantenimiento. España. Octubre 1994. pág. 31-44.
 29. La gestión informatizada del mantenimiento: una fuente de ventajas competitivas para la empresa. A. Fuentes, R. del Olmo y C. Hernández. Revista Mantenimiento. España. Noviembre 1994. pág. 5-14.
 30. Gestión de producción y de stocks. Mantenimiento industrial. Félix Tobalina. Revista Mantenimiento. España. Noviembre 1994. pág. 17-21.
 31. Informatización de la gestión del mantenimiento. Una necesidad. José R. Gil y Juan Madruga. Revista Mantenimiento. España. Diciembre 1994. pág. 35-41.
 32. Creación de un mantenimiento avanzado y beligerante. José M. Borda Elejabarrieta. Revista Mantenimiento. España. Enero-Febrero 1995. pág. 17-21.
 33. Planificación y dirección de paradas programadas. Christopher J. Tomas. Revista Mantenimiento. España. Enero-Febrero 1995. pág. 7-14.
 34. El TQC (Total Quality Control) aplicado al mantenimiento. Pedro Castilla Madriñan. Revista Mantenimiento. España. Diciembre 1995. pág. 35-42.
 35. Seminario sobre "Sistemas integrales de gestión del mantenimiento". Madrid. España. 22 y 23 de Octubre de 1997.
 36. Estrategias del mantenimiento. Un nuevo paradigma. John Moubray. Revista Mantenimiento. España. Noviembre 1997. pág. 39-52.

ANEXOS.

CARTA DE DIAGNOSTICO					
Entidad _____		Tipo de vehículo _____			
Marca _____ Modelo _____		Km recorridos _____			
Matrícula _____		Fecha y tipo del último servicio técnico _____			
Como guía para la realización de la inspección técnica, utilizar la tabla de parámetros técnicos de transporte y los manuales de mantenimiento reparación de cada vehículo.					
No	Parámetros	U.M	Estado del parámetro		
			Nominal	Medio	Variación
1	Estado de la estructura y aditamento	B, R, M			
	Pintura				
	Cabina				
	Asientos				
	Chasis				
	Quinta rueda				
	Accesorios				
2	Flechas de las correas	mm			
	Ventilador				
	Alternador				
	Bomba hidráulica				
	Compresor				
3	Estado y nivel de los siguientes líquidos	Nivel			
	Agua en el radiador				
	Aceite en el cárter del motor				
	Aceite en la bomba de inyección				
	Aceite en el servo mando de la dirección				
	Líquido en la bomba de freno				
	Aceite en la caja de velocidad				
	Aceite en la caja de traspaso				
	Aceite en el puente motriz delantero				
	Aceite en el puente motriz trasero				
	Aceite en el depósito hidráulico del ora traba				
	Electrolito en la batería #1				
	Electrolito en la batería #2				
4	Densidad del electrolito en las baterías	g/cm ³			
	Batería #1				
	Vaso 1				
	Vaso 2				
	Vaso 3				
	Vaso 4				
	Vaso 5				
	Vaso 6				
	Batería #2				
	Vaso 1				
	Vaso 2				

	Vaso 3				
	Vaso 4				
	Vaso 5				
	Vaso 6				
5	Tensión en la batería	Volt			
	Batería #1				
	Batería #2				
6	Caída de tensión en la línea del motor de arranque	Volt			
7	Caída de tensión en los circuitos de la instalación eléctrica	Volt			
	Bloque de fusible				
	Iluminación delantera				
	Iluminación interior de pizarra				
	Conexión del motor del limpiaparabrisas				
	Conexión del flotante del tanque de combustible				
	Iluminación trasera				
8	Consumo de corriente con el motor de arranque bloqueado	Amp			
9	Tiempo de arranque	Seg			
10	Tiempo en alcanzar la presión de trabajo del aire de freno	Seg			
11	Presión de aceite frío y el motor en ralentí	Kg/cm ²			
12	Temperatura de apertura del termostato	°C			
13	Revoluciones por minuto en ralentí	rpm			
14	Angulo de reposo de los platinos	grados			
15	Grados de encendido en ralentí	grados			
16	Presión de aceite con temperatura de trabajo y el motor a revoluciones medias	Kg/cm ²			
17	Presión de aceite con temperatura de trabajo y el motor en ralentí	Kg/cm ²			
18	Análisis del aceite del motor				
19	Caída de presión en la línea de filtro de aceite	Kg/cm ²			
20	Grados de avance al encendido a altas revoluciones	grados			
21	Grado de avance de la inyección	grados			
22	Revoluciones máximas	rpm			
23	Tiempo en alcanzar las revoluciones máxima	Seg			
24	Tiempo de desaceleración	Seg			
25	Tensión generada	Volt			
26	Corriente generada	Amp			
27	Identificación de ruidos	db			
	Motor				
	Caja de velocidad				
	Caja de traspaso				
	Puente motriz delantero				
	Puente motriz trasero (primero)				
	Puente motriz trasero (segundo)				
28	Nivel de vibraciones	mm/seg			
	Motor				
	Caja de velocidad				
	Caja de traspaso				
	Puente motriz delantero				
	Puente motriz trasero (primero)				
	Puente motriz trasero (segundo)				
29	Prueba de capacitor (condensador)				
	Aislamiento	Volt			

	Capacidad	μf			
	Resistencia en serie	Ohms			
30	Prueba de la bobina				
	Continuidad del primario	Ohms			
	Continuidad y medición de la resistencia del secundario	Ohms			
	Pre calentamiento	$^{\circ}\text{C}$			
	Eficiencia de la bobina	Ohms			
31	Restricción del filtro de aire	Kg/cm^2			
32	Presión de alimentación de la bomba de gasolina	Kg/cm^2			
33	Presión de alimentación de la bomba de suministro	Kg/cm^2			
34	Presión de alimentación de la bomba de inyección	Kg/cm^2			
35	Presión de apertura de los inyectores	Kg/cm^2			
36	Estanqueidad de la presión de dosificación de la bomba de inyección	Kg/cm^2			
37	Pérdida de estanqueidad de la compresión	%			
	Cilindro 1				
	Cilindro 2				
	Cilindro 3				
	Cilindro 4				
	Cilindro 5				
	Cilindro 6				
	Cilindro 7				
	Cilindro 8				
38	Presión de compresión	Kg/cm^2			
	Cilindro 1				
	Cilindro 2				
	Cilindro 3				
	Cilindro 4				
	Cilindro 5				
	Cilindro 6				
	Cilindro 7				
	Cilindro 8				
39	Flujo de gases al cárter	l/min			
40	Blocaje del silenciador	Kg/cm^2			
41	Porcentaje de CO en el escape del motor de gasolina	%			
42	Porcentaje de humo en el escape del motor diesel	%			
43	Presión de trabajo del aire de freno	Kg/cm^2			
44	Pérdidas de estanqueidad de la presión del aire de freno	Kg/cm^2			
45	Recorrido libre del pedal de freno	mm			
46	Recorrido libre del pedal de embrague	mm			
47	Juego libre del volante	mm			
48	Tensión de resistencia al giro del volante	Kg			
49	Tensión de resistencia al giro de las ruedas directrices	Kg			
50	Facilidad del cambio de etapas en la caja de velocidad				
51	Juego libre en cada etapa de la caja de velocidad, medido en el eje de salida				
	Velocidad 1				
	Velocidad 2				
	Velocidad 3				
	Velocidad 4				
	Velocidad 5				

	Velocidad 6				
	Marcha atrás				
52	Excentricidad de la barra de transmisión	mm			
	Delantera				
	Intermedia				
	Trasera				
53	Juego radial Corona Piñón, con las ruedas Bloqueadas	mm			
	Puente motriz delantero				
	Puente motriz trasero (primero)				
	Puente motriz trasero (segundo)				
54	Juego radial de las ruedas con las transmisión bloqueada	mm			
	Puente motriz delantero				
	Puente motriz trasero (primero)				
	Puente motriz trasero (segundo)				
55	Medición de la altura de la suspensión	mm			
	Lado izquierdo delantero				
	Lado derecho delantero				
	Lado izquierdo trasero				
	Lado derecho trasero				
56	Medición de la dirección				
	Camber (lado izquierdo)	grados±			
	Camber (lado derecho)	grados±			
	Caster (lado izquierdo)	grados±			
	Caster (lado derecho)	grados±			
	King Pin (lado izquierdo)	grados±			
	King Pin (lado derecho)	grados±			
	Convergencia	mm			
	Angulo de viraje (lado izquierdo)	grados			
	Angulo de viraje (lado derecho)	grados			
	Retranqueo (alineación de la dirección)	mm			
57	Intensidad luminica y alineación de las luces	Lux			
58	Balaceo dinámico de los neumáticos	gramos			
	Neumático izquierdo de la dirección				
	Neumático derecho de la dirección				
59	Medición de la desaceleración del frenado				
	Frenado mínimo	%			
	Fuerza aplicada sobre el pedal de freno	N			

<u>Operaciones de mantenimiento o reparación a realizar.</u>
<u>Motor</u>
<u>Transmisión</u>
<u>Dirección</u>
<u>Amortiguación</u>
<u>Frenos</u>
<u>Sistema eléctrico</u>
<u>Sistema hidráulico</u>
<u>Chasis</u>
<u>Cabina</u>
<u>Asientos</u>

<u>Plataforma de volteo</u>			
<u>Quinta rueda</u>			
<u>Conexiones neumáticas y eléctricas</u>			
<u>Pintura</u>			
<u>Accesorios</u>			
<u>Otras observaciones</u>			
Certificado de calidad de trabajo		Fecha	
Nombre:	Día	Mes	Año
Firma			

Empresa:		MINISTERIO												Orden No:						
		REPORTE DE MANTENIMIENTO Y/O REPARACIÓN																		
Equipo:										Marca:										
Tipo de Actividad		Mantenimiento planificado: _____																		
		Reparación: Ligera: _____						Media: _____						General: _____						
Control del tiempo (min)	ENTRADA AL TALLER						INICIO DEL TRABAJO						FIN DEL TRABAJO						Tiempo en taller	Tiempo real de trabajo
	D	M	A	Hora	am	pm	D	M	A	Hora	am	pm	D	M	A	Hora	am	pm		
AVERÍA REPORTADA O TIPO DE MANTENIMIENTO A EJECUTAR																				
CONTROL DEL TRABAJO EJECUTADO																				
Operario	Calificación	Descripción de las operaciones	Día	Mes	Hora						Total (min)									
					Comenzó	am	pm	Terminó	am	pm										

MATERIALES Y PIEZAS								
Código	Descripción				UM	Cantidad	Precio unitario	Importe total
SALARIOS								
Nombre del trabajador				Horas trabajadas		Salario devengado		
OTROS GASTOS								
Código	Concepto				UM	Cantidad	Precio unitario	Importe total
DETERMINACIÓN DE LOS COSTOS					CERTIFICACIÓN DEL TRABAJO REALIZADO			
Costo en materiales:					Confeccionado por:			
Salarios:					Firma:			
Otros gastos					J' de Brigada:			
Costo directo:					Firma:			
Costo indirecto:					J' de Taller:			
Costo total de la actividad:					Firma:			
					Control de la Calidad:			
					Firma:			