

NTP 460: Mantenimiento preventivo de las instalaciones peligrosas



Preventive maintenance of hazardous installations
Manteniment preventive de installations dangereuses

Las NTP son guías de buenas prácticas. Sus indicaciones no son obligatorias salvo que estén recogidas en una disposición normativa vigente. A efectos de valorar la pertinencia de las recomendaciones contenidas en una NTP concreta es conveniente tener en cuenta su fecha de edición.

Redactor:

José M^a Tamborero del Pino
Ingeniero Industrial

CENTRO NACIONAL DE CONDICIONES DE TRABAJO

Introducción

Instalaciones peligrosas se pueden encontrar en toda la industria en general; un fallo en las mismas puede tener consecuencias graves para las propias instalaciones y/ o personas.

Las causas principales de los posibles accidentes en instalaciones peligrosas pueden ser múltiples y tener orígenes diversos: fallos debidos a las condiciones de trabajo a las que están sometidas y que pueden dar lugar a fenómenos de corrosión, desgaste de las partes rotativas, fatiga de los materiales, daños y deformaciones en las partes internas o ensuciamiento, etc.; desviaciones de las condiciones normales de operación; errores humanos en la identificación de materiales, componentes, etc.; injerencias de agentes externos al proceso y fallos de gestión u organización, entre otros. Antes de que estos aspectos afecten a la seguridad de toda la instalación y a las personas es necesario llevar a cabo una atención y mantenimiento de la misma.

Así pues, es de capital importancia que se lleve a cabo un programa de mantenimiento acorde a la peligrosidad de cada instalación en particular, teniendo en cuenta que en una planta industrial en la que haya instalaciones peligrosas los trabajos de mantenimiento pueden llevar aparejados un incremento de la propia peligrosidad de las mismas según la forma en que se efectúen.

Por otro lado el personal de mantenimiento está sometido a riesgos suplementarios por la propia peligrosidad de las instalaciones donde realizan su trabajo; será pues necesario llevar un control cuidadoso de los trabajos de mantenimiento para reducir al máximo los problemas para las instalaciones y los riesgos para los trabajadores y para el personal que realiza tales tareas.

El objetivo de esta NTP es dar a conocer algunos tipos de mantenimiento existentes, centrándonos en el preventivo y dando pautas sobre las formas de realizarlo, medición y distribución de los tiempos de mantenimiento, estrategias, administración, procedimientos, seguridad de los trabajos y aspectos a tener en cuenta en cuanto al diseño de las instalaciones para facilitar su mantenimiento. Previamente se dan de forma sintetizada los diferentes tipos de revisiones periódicas de instalaciones que complementan o incluyen las actividades de mantenimiento.

Inspecciones y revisiones

Para que el mantenimiento sea lo más eficaz posible es muy importante disponer de la mayor cantidad de información sobre las instalaciones, equipos y lugares de trabajo; para ello es básico la realización de distintos tipos de revisiones programadas. Exponemos brevemente algunas de ellas.

Revisiones específicas de equipos o componentes regulados por una legislación propia

Aparatos a presión, instalación eléctrica, instalaciones fijas contra incendios, extintores, aparatos elevadores, etc. Las realizan servicios especializados externos contando con la colaboración de la propia empresa.

Revisiones generales de instalaciones y lugares de trabajo

Suelos, escaleras, vías y salidas de evacuación, condiciones de protección contra incendios, condiciones de protección contra contactos eléctricos, orden y limpieza, iluminación, etc. Podrá haber revisiones específicas de seguridad sobre equipos que las

requieran y no controladas reglamentariamente.

Observaciones del trabajo

Analizan las actuaciones inseguras de los trabajadores en la realización de sus funciones con el fin de incorporar las mejoras que se estimen oportunas. Las realizan personas con mando.

Revisiones y controles específicos de mantenimiento con las diferentes formas de actuación

Para la realización de los distintos tipos de revisiones (mantenimiento predictivo, preventivo, correctivo, etc) se deben establecer por parte de los directores de las unidades funcionales para cada máquina, instalación, equipo, área de trabajo, etc., los siguientes aspectos:

Periodicidad

Será distinta para cada caso en particular.

¿Qué se debe inspeccionar?

Para ello se deberán elaborar unos cuestionarios de revisión sencillos y prácticos que faciliten la tarea actuando como guías de análisis.

¿Quién hace las revisiones?

La tendencia es implicar en la medida de lo posible a los propios operarios en su ámbito de trabajo, exceptuando las cuestiones más genéricas o específicas que las deben hacer los mandos intermedios o personal más cualificado de la empresa o incluso personal foráneo.

Aunque cada uno de los tipos de revisiones reseñadas tienen objetivos diferentes, cabría aprovechar algún tipo de revisión para cubrir objetivos de otro. Por ejemplo, aprovechar el mantenimiento preventivo de una instalación para revisar aspectos específicos de seguridad de la misma. Tengamos en cuenta que el objetivo principal del mantenimiento preventivo es asegurar el buen funcionamiento de un equipo cuando está en condiciones de uso.

Administración del mantenimiento

Toda la información generada como resultado de los distintos tipos de revisiones que puedan afectar a las condiciones de funcionamiento seguro de los equipos, además de ser analizadas por los responsables de las diferentes unidades funcionales, deberán ser conocidas por el servicio de prevención cuando exista y el servicio de mantenimiento, debiendo organizar y controlar los trabajos.

Organización

La organización incluye el establecimiento de la política y los procedimientos para mantener el programa en marcha y el personal necesario para llevar a cabo las actividades de mantenimiento. Especialmente en nuevos programas de mantenimiento se deben enseñar los procedimientos seguros de trabajo y los métodos de inspección, reparación o sustitución, así como llevar los correspondientes registros. Los registros se utilizarán para programar fechas de futuras inspecciones y operaciones de conservación.

La organización debe desarrollar la programación elaborando los programas de inspecciones y un calendario planificado para llevarlas a cabo.

Una vez hechas las inspecciones se elaboran una serie de órdenes de trabajo diferenciando entre las que no necesitan trabajo posterior y las que indican que es necesario un trabajo de reparación. Para cada reparación necesaria se podría elaborar una hoja de trabajo en la que se indique la necesidad de mantenimiento, indicando su prioridad dentro del sistema de programación y planificación general de trabajos o equipos a realizar o controlar.

Todos los equipos sujetos a un programa de mantenimiento dispondrán de un registro en el que se archive toda la información generada tanto por el propio programa de mantenimiento como en las reparaciones o intervenciones diversas que se hayan realizado.

La programación la constituyen:

- Prioridades de trabajo
- Cuando debe hacerse cada trabajo
- Necesidades de mano de obra
- Disponibilidad de materiales necesarios para efectuar los trabajos

La planificación de los trabajos comprende:

- Por qué debe hacerse y quién lo hará

- En qué consiste y cómo debe hacerse
- Donde debe hacerse
- Materiales necesarios
- Calendario de realización

Control

El control del mantenimiento debe abarcar los siguientes aspectos:

- Planificar cuidadosamente y de forma completa cada operación específica
- Dotar de equipo apropiado a cada tipo de trabajo u operación
- Mantener todos los equipos en perfecto estado
- Prever los riesgos de cada operación de mantenimiento y dictar las normas de seguridad necesarias en cada caso
- Seleccionar y formar al personal idóneo para efectuar las distintas operaciones de mantenimiento
- Atención especial sobre la utilización y el mantenimiento de los equipos de protección individual
- Control de piezas de recambio

Los trabajos de mantenimiento deben realizarse teniendo en cuenta: entrega o existencia de las piezas, uso de las mismas y demás factores que influyen en las operaciones. En general se deberán tener existencias de todas las piezas mas necesarias salvo las que se compran para su uso inmediato.

Motivación y formación

La motivación incluye procedimientos de estimulación como son los incentivos para mantener a los operarios de mantenimiento interesados en efectuar sus trabajos de la forma más eficaz. Un plan formativo permitirá el adiestramiento necesario del personal en las diferentes tareas que deban realizar.

Tipos de mantenimiento

Para centrar el mantenimiento preventivo definimos además otros dos tipos de mantenimiento como son el correctivo y el predictivo.

Mantenimiento correctivo

Podemos definir el mantenimiento correctivo como el efectuado a una máquina o instalación cuando la avería ya se ha producido, para restablecerla a su estado operativo habitual de servicio. El mantenimiento correctivo puede ser o no planificado. El mantenimiento correctivo planificado comprende las intervenciones no planificadas (preventivas) que se efectúan en las paradas programadas.

Por ejemplo, una instalación en la que aparece una junta por la que se produce una fuga de aceite y se mantiene en servicio hasta una parada programada en la que se interviene para sustituir dicha junta. Este mantenimiento no es preventivo pues no estaba estipulado el efectuar dicha intervención a intervalos regulares de tiempo u horas de servicio. Además, es una intervención correctiva planificada por realizarse durante una parada programada sin afectar la disponibilidad de la instalación.

Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo consiste en programar las intervenciones o cambios de algunos componentes o piezas según intervalos predeterminados de tiempo o espacios regulares (horas de servicio, kilómetros recorridos, toneladas producidas). El objetivo de este tipo de mantenimiento es reducir la probabilidad de avería o pérdida de rendimiento de una máquina o instalación tratando de planificar unas intervenciones que se ajusten al máximo a la vida útil del elemento intervenido.

El origen de este tipo de mantenimiento surgió analizando estadísticamente la vida útil de los equipos y sus elementos mecánicos y efectuando su mantenimiento basándose en la sustitución periódica de elementos independientemente del estado o condición de deterioro y desgaste de los mismos. Su gran limitación es el grado de incertidumbre a la hora de definir el instante de la sustitución del elemento.

Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo es el mantenimiento subordinado a un suceso predeterminado que pone de manifiesto el estado de degradación de un bien. Se basa en el conocimiento del estado operativo de una máquina o instalación. Es asimilable al preventivo,

pero el conocimiento de la condición operativa a través de la medición de ciertos parámetros de la máquina o instalación (vibración, ruido, temperatura, etc.) permite programar la intervención justo antes de que el fallo llegue a producirse, eliminando así la incertidumbre.

El mantenimiento predictivo abarca un conjunto de técnicas de inspección, análisis y diagnóstico, organización y planificación de intervenciones que no afectan al servicio del equipo, y que tratan de ajustar al máximo la vida útil del elemento en servicio al momento planificado para la intervención. El mantenimiento predictivo podría incluirse en el mantenimiento preventivo entendido este último en un sentido amplio.

Mantenimiento preventivo

Objetivos

Los objetivos del mantenimiento preventivo son proporcionar un programa de administración del mantenimiento que permita el tiempo máximo de funcionamiento de las instalaciones peligrosas, con un costo y mantenimiento mínimos y con la máxima seguridad. Con un programa de mantenimiento preventivo se aseguran las inspecciones periódicas y las reparaciones rápidas. El departamento de mantenimiento debe velar por la seguridad de su propio personal y de proporcionar servicio a todas las instalaciones peligrosas. Para cumplir con estas premisas deben incorporarse al programa de mantenimiento preventivo recomendaciones y técnicas referentes a métodos para la prevención de accidentes. Asimismo se deben actualizar todos los métodos de mantenimiento siempre que se produzcan modificaciones en algún proceso o instalación peligrosa.

Formas de realizar el mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo puede realizarse de tres formas:

- Revisando las instalaciones con intervalos de tiempo iguales entre revisiones, desmontando los componentes objeto de revisión antes de que fallen y reponiéndose a tiempo cero.
- Revisando las instalaciones periódicamente y según su estado efectuar su sustitución si exceden sus límites de operación. Es apropiado cuando se trata de componentes eléctricos y electrónicos y en los instrumentos de control.
- Desmontando los componentes para ser examinados y sustituyendo los que están en deficientes condiciones. Es adecuado en sistemas complejos electrónicos y en equipos donde resulta complicado predecir sus fallos.

Medición y distribución de los tiempos del mantenimiento preventivo

La medición del mantenimiento preventivo se hace teniendo en cuenta el tiempo necesario para realizar cada operación de mantenimiento y la frecuencia con que debe llevarse a cabo.

De la experiencia obtenida del estudio de los datos, los tiempos de mantenimiento tienden a estar distribuidos según distintas distribuciones estadísticas principalmente la distribución lognormal y la de Weibull. (Ver NTP 418-1996 Fiabilidad. La distribución lognormal y NTP 331-1994. Fiabilidad. La distribución de Weibull).

La distribución lognormal se usa cuando la tasa de fallos es constante lo cual se da en instalaciones en las que hay fatiga de metales, aislamientos eléctricos y numerosos casos de fallos de procesos continuos.

Por otro lado cuando la tasa de fallos no es constante suele usarse la distribución de Weibull. Esta distribución resulta muy útil ya que su flexibilidad le permite manejar tasas de fallo variables con el tiempo aplicándose a fallos producidos en períodos que van desde el rodaje hasta el envejecimiento.

Estrategias de mantenimiento preventivo en función de la tasa de fallos

La efectividad y la economía del mantenimiento preventivo puede maximizarse teniendo en cuenta la distribución de los tiempos de fallo de los elementos sujetos a mantenimiento y de la tendencia de la tasa de fallos del sistema.

Se define como tasa de riesgo la frecuencia (n° de ocasiones por año) en que una situación peligrosa se materializa.

Si un componente tiene una tasa de riesgo decreciente, ninguna sustitución incrementará la probabilidad de fallo; si la tasa de riesgos es constante, la sustitución no representará ninguna variación en la probabilidad de fallo y si un componente tiene una tasa de riesgos creciente, programando su sustitución en cualquier momento se incrementará teóricamente la fiabilidad del sistema. Sin embargo, si el componente tiene un parámetro de posición $t_0 > 0$ según la distribución de Weibull, la sustitución con anterioridad a este momento asegura que no ocurrirán fallos pues el componente es intrínsecamente fiable desde el momento en que fue puesto en servicio hasta que $t = t_0$. Estos casos se muestran gráficamente en la figura 1.

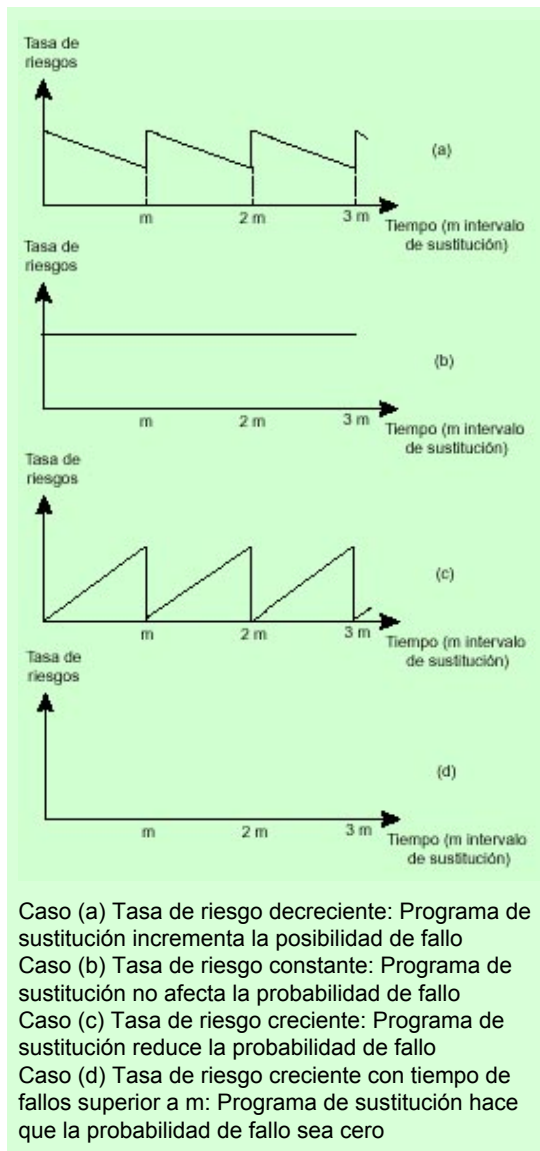


Fig. 1: Relaciones entre la fiabilidad y los programas de sustitución.

Todas estas consideraciones son teóricas. Se asume que las actividades de sustitución no introducen cualquier nuevo defecto y que las distribuciones de los tiempos de fallo están exactamente definidas. Sin embargo, es obvio que es básico tener en cuenta las distribuciones de los tiempos de fallo de los componentes en la estrategia de la planificación del mantenimiento preventivo.

De cara a optimizar las sustituciones preventivas, es conveniente conocer los siguientes puntos de cada parte de una instalación peligrosa:

1. Los parámetros de las distribuciones de fallo para los modos de fallo principales. Para la distribución log-normal la media y la desviación estándar y para la distribución de Weibull los parámetros de forma β , de escala o vida característica η y el de localización o vida mínima t_0 .
2. Efectos de todos los modos de fallo
3. Costo de cada fallo
4. Costo del programa de sustituciones
5. Efecto probable del mantenimiento en la fiabilidad: hemos considerado hasta ahora componentes que no avisan en el momento de iniciarse su fallo. Si mediante inspecciones, pruebas no destructivas, etc. se puede detectar un fallo incipiente, también se deberán considerar:
6. Modo en que los defectos se encadenan hasta provocar el fallo
7. Coste de las inspecciones o pruebas

Ejemplo

Un cableado flexible de una parte de una instalación peligrosa tiene una distribución de tiempos de fallos tipo Weibull con los siguientes

valores de los parámetros:

$$t_0 = 150 \text{ h}, \beta = 1,7 \text{ y } \eta = 300 \text{ h.}$$

Nota: Significado de las variables de la distribución lognormal:

- m^* es la media aritmética del logaritmo de los datos o tasa de fallos
- σ es la desviación estándar del logaritmo de los datos o tasa de fallos

Distribución de Weibull

- t_0 es el parámetro de posición (unidad de tiempos o número de operaciones) y define el punto de partida u origen de la distribución.
- η es el parámetro de escala, extensión de la distribución a lo largo del eje de los tiempos.
- β es el parámetro de forma que controla la forma de la curva.

Si se produce un fallo estando en uso la instalación, el coste de parar la línea y reemplazar el cable es de 5.000 unidades monetarias (u.m.), mientras que el coste de reemplazamiento según el plan de mantenimiento preventivo es de 500 u.m. Si la instalación funciona 5000 h/año y el programa de mantenimiento inspecciona la instalación cada semana (100 h), cuál sería el coste anual de sustitución si se programara una o dos veces por semana?

Solución

En el caso de no existir un programa de mantenimiento preventivo la probabilidad de que ocurra un fallo en un tiempo de t horas o sea la función acumulativa de fallos (ver NTP 331-1994) es:

$$F(t) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{t - t_0}{\eta} \right)^\beta \right]$$

Sustituyendo valores:

$$F(t) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{t - 150}{300} \right)^{1,7} \right]$$

En el caso de existir el programa de mantenimiento preventivo de sustitución cada m horas, el coste de este mantenimiento cada año o sea cada 5000 h será:

$$C_1 = \frac{5000}{m} \cdot 500 = \frac{2,5 \cdot 10^6}{m}$$

y por tanto el coste esperado de un fallo en cada periodo de sustitución programado será (asumiendo que no se da mas de un fallo en cada periodo de sustitución):

$$C_2 = 5000 \left\{ 1 - \exp \left[- \left(\frac{m - 150}{300} \right)^{1,7} \right] \right\}$$

El coste total por año será:

$$C = \frac{2,5 \cdot 10^6}{m} + \frac{5000 \cdot 5000}{m} \left\{ 1 - \exp \left[- \left(\frac{m - 150}{300} \right)^{1,7} \right] \right\}$$

Los resultados son los siguientes para distintos periodos de mantenimiento preventivo programado.

m	Nº de sust. prog./año	Fallos esperados	Costo
100	5.000/100= 50	0	25.000
200	5.000/200= 25	1,2	18.304

400	$5.000/400= 12,5$	6,5	38.735
-----	-------------------	-----	--------

Se puede concluir con estos resultados que la estrategia óptima debe ser la de sustituir el cableado según períodos de sustitución programados, con un pequeño riesgo de fallo. (Hay que resaltar que en el ejemplo se asume que no ocurrirá ningún fallo dentro de los períodos programados de sustitución. Si m es sólo un poco superior a t_0 se puede considerar que es una asunción razonable).

Seguridad de los trabajos de mantenimiento preventivo

El servicio de prevención de riesgos laborales y el de mantenimiento deben trabajar estrechamente unidos para que los trabajos se realicen con la máxima seguridad.

El establecimiento de un procedimiento ordenado, uniforme, continuo y programado puede conseguir el alargamiento de la vida útil de las instalaciones y consecuentemente la reducción de los accidentes.

Desde el punto de vista práctico, para que todas las operaciones de mantenimiento se realicen con seguridad se deben incorporar continuamente al programa de mantenimiento preventivo instrucciones de trabajo y normas de seguridad para las diferentes tareas con riesgo de accidente.

Otro aspecto importante es la formación y el adiestramiento del personal de mantenimiento.

La seguridad en relación con el mantenimiento se puede agrupar en tres apartados:

- a. Cómo y en qué condiciones se realiza el trabajo: sistema de permisos de trabajo.

Es necesario asegurar que se tomen las precauciones necesarias para minimizar los riesgos presentes en cada trabajo concreto. El sistema deberá garantizar además que el trabajo se ha realizado correctamente y que la instalación objeto de mantenimiento queda en condiciones de entrar en funcionamiento.

El sistema de permisos de trabajo pretende asegurar que previa la intervención del personal de mantenimiento se han adoptado las medidas de prevención y protección necesarias y éste sabe como actuar con seguridad, dejando constancia de ello.

- b. Extensión del mantenimiento que se realiza: programa de mantenimiento.

La elaboración de un programa de mantenimiento ajustado es básico pues la falta de mantenimiento o el mantenimiento insuficiente permiten que se llegue a situaciones potencialmente peligrosas. Es importante que los equipos críticos para la seguridad no fallen de forma imprevista. Normalmente no es práctico someter a todas las instalaciones de la planta a un mantenimiento preventivo, ni hacerlo para todas con la misma frecuencia.

Es importante tener un programa especial sobre equipos críticos estableciendo para cada uno su nivel de importancia, la frecuencia y el tipo de revisión, teniendo en cuenta el tipo de equipo y el riesgo que comportaría un fallo del mismo.

- c. Control de las modificaciones introducidas en la planta. Hay que tener en cuenta que las modificaciones incontroladas pueden alterar las condiciones de seguridad de la planta si no se someten a revisiones previas cuidadosas y detalladas.

Procedimiento de mantenimiento preventivo

Objetivo

El objetivo del procedimiento es mejorar las técnicas para la optimización del mantenimiento preventivo

Herramientas

Para conseguir una mejora continua del mantenimiento preventivo podemos utilizar una serie de herramientas. Destacamos las siguientes:

- Retroinformación de los ejecutores de los trabajos
- Análisis de las causas de las averías
- Introducción de modificaciones
- Estudio de la evolución del costo de mantenimiento
- Programa de sugerencias para mejorar los procedimientos
- Análisis de la eficacia de los procedimientos

Desarrollo

Para desarrollar de forma práctica los procedimientos consideraremos un conjunto de bloques de información necesarios para aplicar un método de análisis. Consideramos tres bloques de información:

1. Identificación de averías: Conviene tener identificadas todas las averías asignando un código identificativo y a su vez asignaremos a cada tipo de operación de mantenimiento un código. El informe de cada avería se plasma en un documento de diseño propio de cada empresa y que se deberá tratar adecuadamente en función de la gravedad y la urgencia para ser reparada.
2. Trabajos planificados: Consisten en dividir las máquinas, equipos o instalaciones en elementos, creando para cada uno de ellos una serie de revisiones preventivas normalizadas e identificadas con código.

Para cada tipo de trabajo se genera una orden de revisión preventiva en la que se deben incluir el elemento a revisar, fecha ejecución, equipo que debe ejecutar los trabajos y el tipo de mantenimiento a realizar con su código correspondiente.

3. Resultados de las revisiones preventivas: Cuando en el curso de una revisión planificada se detectan anomalías, estas se deben tratar tomando nota del elemento con su código y por otro lado se identifica la probabilidad de ocurrencia de la avería según las consecuencias que ocasionaría su ocurrencia y obviamente se reparan siempre que se tengan los elementos de recambio, o se programa para planificar su sustitución lo más rápidamente posible. La detección de anomalías no prevista servirá al departamento para corregir y actualizar los procedimientos.

Método de análisis

La información referente a las averías nos aportará el tiempo medio de paro por avería de cada elemento objeto de mantenimiento. La información referente a las revisiones preventivas nos dará los trabajos planificados con sus tiempos de revisión y los resultados de las revisiones realizadas, con anomalías encontradas y su criticidad.

De esta forma tratando la información adecuadamente se podrían obtener los siguientes resultados:

- Nivel medio de paro evitado aplicando el mantenimiento preventivo.
- Conocimiento preciso de la influencia en la prevención de los paros de cada actividad de mantenimiento preventivo.
- Empleo de los recursos de mantenimiento en actividades más efectivas y rentables.

Diseño para facilitar el mantenimiento

Es importante que el diseño de las instalaciones y equipos que deben someterse a mantenimiento sea tal que las tareas se realicen fácilmente y que el nivel de cualificación requerido para efectuar el diagnóstico, reparación y programa de mantenimiento no sea muy elevado, en relación a la experiencia y formación del personal de mantenimiento y usuarios.

Para integrar la función mantenimiento desde el diseño se deben seguir algunas reglas que afectan a las personas, a la maquinaria y a los constructores.

Personas

Los diseñadores deben trabajar en equipo con los futuros usuarios.

Maquinaria

Deben realizarse estudios de fiabilidad sobre máquinas y equipos clave aprovechando la experiencia de los fabricantes y de los profesionales del mantenimiento.

Otro aspecto importante es el estudio de la mantenibilidad facilitando la accesibilidad para las intervenciones y la obtención de información del estado de los elementos, debiendo también preverse un sistema de registro y análisis de defectos.

Es importante cuidar el diseño ergonómico de las instalaciones y de los medios productivos teniendo en cuenta la intervención de los operarios de producción para pequeñas operaciones de mantenimiento de primer nivel.

Otros aspectos importantes son la facilidad de acceso y manutención, la utilización de herramientas y equipos normalizados así como la eliminación de la necesidad de efectuar ajustes precisos o calibrados. La maquinaria dispondrá de iluminación localizada fija en aquellos puntos que requieran intervenciones de mantenimiento. Se evitará tener que trabajar en posiciones forzadas o incómodas.

La intercambiabilidad es otro aspecto importante del diseño para facilitar el mantenimiento fácil de las instalaciones.

Los conjuntos y componentes sustituibles deben estar diseñados para que no sean necesarios ajustes o calibrados después de la sustitución. Las tolerancias de los enlaces entre dos componentes de un sistema deben ser tales que se asegure que los elementos de sustitución sean intercambiables.

Constructores de maquinaria

Exigir una documentación técnica operacional: nomenclatura de recambios, instrucciones de mantenimiento que incluyan listas de inspección y normas de utilización, planos, etc.

Desarrollar la cooperación con los usuarios mediante contratos de asistencia técnica con garantía de resultados.

Bibliografía

(1) ANTONIO CREUS SOLE

Fiabilidad y Seguridad. Su aplicación en procesos industriales.

Marcombo Boixareu Editores. Barcelona, 1992.

(2) A.D.S. CARTER

Mechanical Reliability

Macmillan Education Ltd. London, 1986.

(3) A.E.GREEN

Safety Systems Reliability

John Wiley & Sons, Chichester, 1983.

(4) NORBERT L. ENRICK y otros

Control de Calidad y Beneficio Empresarial

Ediciones DIAZ DE SANTOS S.A., Madrid, 1989.

(5) BERTRAND L. HANSEN, PRABHAKAR M. GHARE

Control de Calidad. Teoría y aplicaciones.

Ediciones DIAZ DE SANTOS S.A., Madrid, 1990.

(6) PATRICK D. T. O'CONNOR

Practical Reliability Engineering.

John Wiley & Sons, Chichester, 1991.

(7) J.M.SANTAMARIA RAMIRO, P.A. BRAÑA AISA

Análisis y reducción de riesgos en la industria química

Editorial Mapfre, S.A., Madrid, 1994