Número 2
Revista editada para socios IRIM

El problema de la detonación en motores de gas

El conflicto producción-mantenimiento

Protocolo maestro de mantenimiento

IRIM

Instituto Renovetec de Ingeniería del Mantenimiento

Averias habituales en turbinas de gas (I)

Serie mantenimiento legal (II): La importancia del mantenimiento legal

La prevención del mantenimiento, un concepto más avanzado que el mantenimiento preventivo

RCM3, el software RCM desarrollado por IRIM

El software para la realización de auditorías de mantenimiento

auditec

RENOVETEC ha desarrollado AUDITEC, un software pensado para responsables y profesionales que trabajan en departamentos de mantenimiento y que desean auditar la gestión que se realiza en el área de mantenimiento de una instalación. Auditec propone más de 13 cuestiones cuya situación debe ser analizada y valorada por los responsables de mantenimiento o por un auditor externo, a partir de dicho análisis, elabora un completo informe en el que se señalan las posibilidades de mejora.

El software se entrega de forma gratuita con el libro INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO, y se entrega gratuitamente a los socios IRIM

El software AUDITEC no se vende ni se descarga por separado.
Está incluido en el libro INGENIERÍA DEL MANTENIMIENTO.

Accede directamente a la tienda online de RENOVETEC (www.tiendaonline.renovetec.com) para conocer más sobre este libro (índice de contenido, precio, formas de envío, etc.)

IRIM
Instituto Renovetec
de Ingeniería del Mantenimiento

EDITORIAL

IRIM.
Revista digital sobre mantenimiento editada para socios IRIM.
Nº 2. Febrero de 2016.
www.renovetec.com/irim
[irim@renovetec.com]

Director:
Santiago García Garrido

Editores:
Maite Trijueque
Rebeca Martín
Santiago García

Maquetación y diseño:
EME DESIGN
www.emeandemedesign.com

Los artículos y las colaboraciones expresan únicamente las opiniones de sus autores

Santiago García Garrido
Director Técnico RENOVETEC

Cuando en los años 60 el mundo aeronáutico se planteó reducir drásticamente el número de accidentes aéreos a un mínimo asumible, un mínimo realmente bajo, el mundo industrial andaba aún anclado en el mantenimiento correctivo urgente como base del mantenimiento. La necesidad de extender la idea de que volar es seguro fue el verdadero motor de un cambio revolucionario en mantenimiento: entender que los equipos no tienen una vida útil predecible, y por tanto, el mantenimiento sistemático basado en la sustitución de piezas por horas de funcionamiento carecía de sentido: no solo no ayudaba a mejorar más aún los ya altos valores obtenidos en mantenimiento en los principales indicadores de mantenimiento sino todo lo contrario: la sustitución sistemática de piezas está justificada en muy pocos casos. La sustitución condicional, después de analizar si la pieza está en condiciones o no, se impuso como estrategia de mantenimiento.

El mundo industrial aún se encuentra lejos. Plantear que no son necesarias las paradas programadas anuales para sustituir centenares o miles de piezas, plantear que esa estrategia permite alcanzar determinados objetivos en mantenimiento pero no superar un valor de fiabilidad alto, es algo casi imposible en determinados ámbitos, como las centrales eléctricas, las refinerías o incluso una industria tan afín al mundo aeronáutico como es el mundo ferroviario.

Desde IRIM seguiremos planteando que el mantenimiento ha cambiado, y ante los nuevos retos y exigencias (disminuir costes de mantenimiento y aumentar la fiabilidad y la disponibilidad) no queda otra solución que hacer las cosas de otra forma. Y curiosamente no hace falta inventar nada: el mundo aeronáutico y su Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) ya han desarrollado una metodología que permite reducir costes y mejorar resultados. Solo hace falta que los responsables de muchas instalaciones industriales crean en esta metodología y lo apliquen. Y tendrán a IRIM como aliado para ese cambio si lo necesitan.

ACTUALIZATE YA

RENOVEFREEPRO POR 1950€

el software renovetec de descarga gratuita

Versión estándar gratuita
Desarrollado en JAVA

INCLUYE:

- Gestión de activos, con su árbol jerárquico
- Gestión de personal
- Gestión del mantenimiento programado y de las gamas de mantenimiento. Incluye la creación automática del plan de mantenimiento programado
- Control de la programación de mantenimiento
- Gestión de órdenes de trabajo
- Gestión del repuesto
- Gestión de los descargos y de la seguridad al realizar O.T.
- Gestión económica del mantenimiento: costes de O.T., costes de un periodo, compras, etc.
- Determinación de los indicadores más usuales en mantenimiento

WWW.RENOVETEC.COM/RENOVEFREE

Solicita la versión gratuita a renovefree@renovetec.com

SUMARIO

IRIM
Instituto Renovetec
de Ingenieria del Mantenimiento

REVISTA IRIM
NÚMERO 2. FEBRERO 2016

EN PORTADA

14 Averías habituales en Turbinas de gas (I)

22 Implementación de RCM: La selección previa de indicadores

24 La importancia del Manteniminetto legal

26 La prevención del Mantenimiento, un Concepto más importante Que el mantenimineto preventivo

28 El problema de la detonación En los motores de combustión Interna de gas

32 El conflicto producción-mantenimiento

NOTICIAS

IRIM publica una videoserie dedicada a la estrategia de mantenimiento 3.0 36

IRIM publica el protocolo estandarizado de mantenimiento de bombas centrífugas 36

PM Helper, nuevo software Renovetec para la elaboración de planes de mantenimiento 37

AGENDA 38

IRIM, INSTITUTO RENOVETEC DE INGENIERÍA DEL MANTENIMIENTO

IRIM
Instituto Renovetec
de Ingeniería del Mantenimiento

El Instituto RENOVETEC de Ingeniería del Mantenimiento (IRIM) es una sociedad científica dedicada al estudio y análisis del mantenimiento de instalaciones industriales y de edificación. El IRIM es una entidad dedicada a la investigación, desarrollo e innovación en el campo del mantenimiento. Esta sociedad, que se financiará al margen de ayudas públicas de cualquier tipo, tiene entre sus principales fines la difusión de información y el desarrollo de metodología que permita mejorar los resultados de mantenimiento de un amplio rango de tipos de instalaciones.

Esta sociedad científica permite que sus asociados puedan reunirse, exponer los resultados de sus investigaciones, confrontarlos con los de sus colegas o especialistas de mantenimiento, y difundir sus trabajos a través de publicaciones especializadas.

Todo el material desarrollado por IRIM (libros, guías, software, normas, notas técnicas, publicaciones periódicas, etc.) está a libre disposición de sus socios de forma gratuita. IRIM tiene abiertas cinco líneas de trabajo, que se detallan más adelante.

El socio IRIM tiene derecho a participar en todas las actividades que se realizan y en todos los comités creados, en la medida que desee: como parte activa, colaborando en la investigación, desarrollo e innovación de las diferentes lineas que constituyen actualmente el trabajo de IRIM, como colaborador, aportando en la medida de sus posibilidades sus conocimientos y criterios, o como parte receptora del trabajo desarrollado: recibe todo lo que se genera, a través de los medios establecidos (digitales, libros, software, asistencia a congresos y jornadas, etc.).

Las líneas de actuación son las siguientes:

EDICIÓN DE GUÍAS TÉCNICAS

IRIM ya ha editado 3 guías, y va a publicar al menos otras tres guías más antes de finales de 2016: una dedicada al mantenimiento predictivo, otra que contendrá los protocolos de mantenimiento editados hasta el momento y una más sobre Auditorías de Mantenimiento. El ritmo de publicaciones será similar cada año, teniendo en cuenta la buena acogida que tiene este tipo de información de carácter práctico.

ESTANDARIZACIÓN Y CREACIÓN DE NORMAS ESPECÍFICAS

IRIM está elaborando una serie de normas técnicas de buenas prácticas en mantenimiento, tratando de cubrir la evidente carencia de referencias técnicas en el sector del mantenimiento. Las normas técnicas IRIM están estructuradas en categorías o

EDICIÓN DE GUÍAS TÉCNICAS

EDICIÓN DE NOTAS TÉCNICAS

ESTANDARIZACIÓN Y CREACIÓN DE NORMAS ESPECÍFICAS

PROTOCOLOS DE MANTENIMIENTO

DESARROLLO Y EDICIÓN DE SOFTWARE ESPECÍFICO DE MANTENIMIENTO

series. Cada una de estas series aborda, regula o crea un estándar sobre un aspecto concreto de la ingeniería del mantenimiento. Las series de normas establecido por el Comité de Normalización de IRIM son los siguientes:

- **SERIE 100:** Normas generales. Definiciones, estructura de una norma IRIM, etc.
- **SERIE 1000:** Mantenimiento preventivo. Protocolos de mantenimiento de equipos, instrucciones mínimas de mantenimiento por tipo de equipo, etc.
- **SERIE 2000:** Mantenimiento predictivo. Análisis de vibraciones, termografías, análisis por ultrasonidos, análisis de humos, etc.
- **SERIE 3000:** Mantenimiento correctivo e investigación de fallas y siniestros SERIE 4000: Personal en mantenimiento. Descripción de puestos de trabajo, certificación de profesionales de mantenimiento, requerimientos mínimos de formación, etc.
- **SERIE 5000:** Mantenibilidad de instalaciones
- **SERIE 6000:** Indicadores de mantenimiento
- **SERIE 7000:** Contratos de mantenimiento
- **SERIE 8000:** Software de mantenimiento: requerimientos mínimos, estructura, certificación de software, etc.
- **SERIE 9000:** Manuales de Operación y Mantenimiento.

EDICIÓN DE NOTAS TÉCNICAS

El sector mantenimiento es un sector vivo en el que ocurren cosas constantemente. IRIM va a emitir en las próximas semanas una serie de notas técnicas sobre equipos, averías e información de importancia para técnicos de mantenimiento.

DESARROLLO Y EDICIÓN DE SOFTWARE ESPECÍFICO DE MANTENIMIENTO

Los profesionales del mantenimiento requieren de determinadas herramientas específicas para poder desarrollar su trabajo. IRIM está desarrollando actualmente diversos programas informáticos, entre los que están los siguientes:

- AUDITEC, software específico para la realización de auditorías de mantenimiento
- EVALTEC, software para la realización de evaluación técnica de instalaciones
- PM HELPER, software para la elaboración de planes de mantenimiento de diversos tipos de instalaciones
- RCM3 HELPER, software para la implantación de RCM en empresas

PROTOCOLOS DE MANTENIMIENTO

Uno de los trabajos en los que más involucrados están en estos momentos los profesionales que trabajan en IRIM es el desarrollo de protocolos normalizados de mantenimiento. Actualmente se han elaborado y revisado más de 80 protocolos normalizados, de equipos tan importantes como turbinas, motores, bombas, ventiladores, edificios, climatización, etc. Los protocolos de mantenimiento pretenden ser una guía útil para la realización de planes de mantenimiento, y para que sean considerados por los fabricantes de bienes de equipo como instrucciones mínimas que debe contener el manual de un equipo.

IRIM
Instituto Renovetec
de Ingeniería del Mantenimiento

Guías Técnicas IRIM

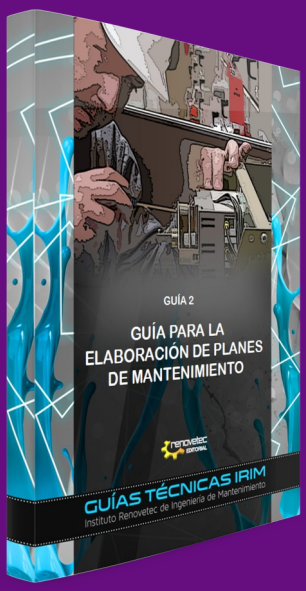
GUIA TÉCNICA 1: LOS RECURSOS HUMANOS EN MANTENIMIENTO

La editorial RENOVETEC, a través del IRIM (Instituto RENOVETEC de Ingeniería del Mantenimiento) ha publicado la GUÍA Técnica LOS RECURSOS HUMANOS EN MANTENIMIENTO. La Guía, compuesta por un total de 11 capítulos y más de 200 páginas editadas en color, analiza en profundidad cada uno de los aspectos más importantes relacionados con la gestión de los recursos humanos en departamentos de mantenimiento: organigramas posibles, descripción de puestos de trabajo directos e indirectos, motivación, clima laboral, procesos de aumento y reducción de plantilla, la externalización y sus consecuencias en los recursos humanos, el presupuesto de personal…

Los departamentos de mantenimiento son áreas con una gran carga técnica y sometidos a unas condiciones de trabajo y de estrés laboral superior a la de otros departamentos, y que por ello tienen características que los convierten en singulares. La Guía LOS RECURSOS HUMANOS EN MANTENIMIENTO busca ofrecer un enfoque práctico y útil para que los responsables del área de recursos humanos de empresas que incluyan departamentos de mantenimiento puedan conocer con antelación los problemas a los que deben enfrentarse en la gestión del personal de dichos departamentos.

La publicación es la primera de un conjunto de guías de carácter práctico que abordan cada una de las áreas de gestión del mantenimiento de instalaciones. La siguiente Guía Técnica IRIM, que se publicó en el mes de Diciembre 2014, aborda LA ELABORACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO, y trata de mostrar la metodología a seguir para elaborar planes de mantenimiento de instalaciones de forma sencilla y eficaz.

GUIA TÉCNICA 2: ELABORACIÓN DE PLANES DE MANTENIMIENTO



IRIM, el Instituto RENOVETEC de Ingeniería de Mantenimiento, ha publicado la GUÍA 2: ELABORACIÓN DE PLANES DE MANTENIMIENTO, una completa guía que trata de indicar, paso a paso, como elaborar el plan de mantenimiento en un amplio rango de instalaciones. El libro se completará en las próximas semanas con la publicación de la GUÍA 3: PROTOCOLOS DE MANTENIMIENTO, un compendio de todos los protocolos normalizados de mantenimiento por tipo de equipo elaborados por IRIM, y que en la actualidad superan ya los 200. Junto con las dos guías, IRIM ha desarrollado el software PM HELPER, un programa específico para crear planes de mantenimiento de una manera sencilla y efectiva.

GUIA TÉCNICA 3: MANTENIMIENTO 3.0

El Instituto Renovetec de Ingeniería del Mantenimiento, IRIM, ha publicado LA GUÍA 3: LA TERCERA GENERACIÓN DE MANTENIMIENTO. MANTENIMIENTO 3.0. Esta nueva guía detalla las bases de las nuevas estrategias de mantenimiento que huyen del mantenimiento sistemático y de las instrucciones de los fabricantes buscando una significativa reducción de costes y un aumento de la disponibilidad y fiabilidad de las instalaciones. La Guía 3 se une a las otras dos guías ya publicadas por IRIM, la dedicada a los Recursos Humanos en Mantenimiento y la dedicada a la Elaboración de planes de Mantenimiento.

Software IRIM

IRIM ha desarrollado AUDITEC, un software pensado para responsables y profesionales que trabajan en departamentos de mantenimiento y que desean auditar la gestión que se realiza en el área de mantenimiento de una instalación. AUDITEC propone más de 13 cuestiones cuya situación debe ser analizada y valorada por los responsables de mantenimiento o por un auditor externo, a partir de dicho análisis, elabora un completo informe en el que se señalan las posibilidades de mejora.

AUDITEC se basa en el análisis de más de 130 puntos referidos a la gestión que se realiza en el departamento de mantenimiento analizado. La gestión del departamento se divide en 13 áreas (personal, plan de mantenimiento, mantenimiento legal, implantación de técnicas predictivas, gestión del correctivo, gestión de repuestos y consumibles, gestión de herramientas, software de gestión de mantenimiento, información e informes, etc.). Para cada uno de ellos el programa plantea una serie de cuestiones que deben ser analizadas y valoradas por el auditor, que determina cual es la situación en comparación con el modelo de excelencia que el propio programa propone.

Pueden realizarse diferentes tipos de auditorías (básicas, detalladas y completas), con una profundidad y exhaustividad diferentes. El Auditor valora cada una de las cuestiones analizadas con valores que van entre 0 y 4. Para todos aquellos aspectos que obtienen las valoraciones más bajas (0 y 1) el auditor debe detallar la situación y proponer soluciones de mejora.

Finalmente, AUDITEC determina la valoración obtenida en cada unas de las áreas de gestión, como se ve afectada la disponibilidad, la fiabilidad, el coste, la seguridad, la vida útil o el riesgo de gran avería con el resultado obtenido, aporta una valoración global de la situación y genera con todo ello un completo informe que el usuario puede editar, si lo desea.

Software IRIM

IRIM ha desarrollado un nuevo software de mantenimiento destinado a facilitar la elaboración de planes de mantenimiento. Está disponible en dos formatos: una versión que incluye sólo el programa o, la posibilidad de adquirir el software con la GUIA IRIM 2,: ELABORACIÓN DE PLANES DE MANTENIMIENTO,. El programa elabora un plan de mantenimiento a partir de la lista de equipos que compone la instalación e incorpora protocolos de mantenimiento para los tipos de equipo más habituales en una instalación industrial, lo que permite elaborar un plan de mantenimiento muy completo y avanzado de forma totalmente automática, en pocas horas y sin apenas conocimientos previos de los equipos o de mantenimiento

La elaboración del plan de mantenimiento es una actividad que en muchos casos emplea muchos recursos y mucho tiempo, sobre todo porque a veces no se tiene una idea clara del contenido que debe tener un plan de mantenimiento o como elaborarlo. La herramienta PM HELPER pretende facilitar la elaboración del plan de mantenimiento de una instalación industrial o un edificio singular. Para ello, el software requiere tan solo dos informaciones:

- La lista de equipos, agrupada de forma jerárquica y clasificando los diversos equipos que componen la instalación en tipos y subtipos
- La lista de tareas preventivas a realizar en cada tipo de equipo

La primera información se consigue a partir de la documentación de planta o realizando un inventario de equipos de las instalaciones. La segunda, puede obtenerse a partir de los manuales de los fabricantes de los diferentes equipos, a partir de la experiencia de los técnicos, o elaborando PROTOCOLOS GENÉRICOS DE MANTENIMIENTO.

El software más potente para la evaluación técnica de instalaciones

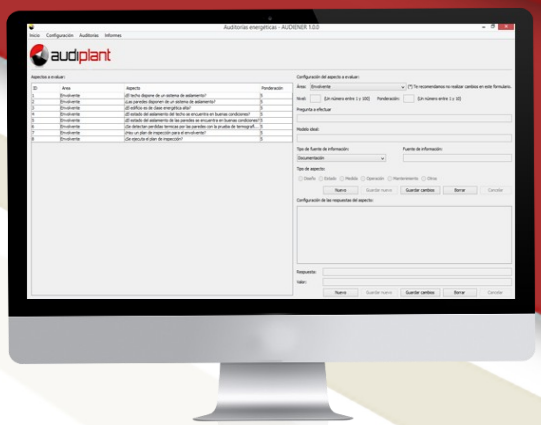
audiplant

AUDIPLANT es un software desarrollado por IRIM para realizar evaluaciones técnicas en diversos tipos de plantas industriales y energéticas. Con AUDIPLAN posible analizar diversos tipos de instalaciones, ya que tiene precargadas todas las cuestiones a analizar de equipos y sistemas tan distintos como turbinas, motores, bombas, sistemas de refrigeración, sistemas contraincendios, plantas de tratamiento de aguas, etc.

La licencia de AUDIPLANT puede adquirirse de forma independiente o puede obtenerse gratuitamente como socio de IRIM.

Una evaluación técnica es un proceso de análisis de una instalación en el que se evalúa el estado que presenta una instalación en un momento determinado, y en que se analiza además la probabilidad de que, debido a ese estado, se presenten determinados riesgos: riesgo de avería, daños, falta de disponibilidad, catástrofe natural, incendio o pérdida de ingresos por todo ello. Una evaluación técnica es pues una especie de fotografía instantánea del estado técnico en que se encuentra el conjunto de una instalación y de cada uno de los equipos que la componen. Para llevarlo a cabo se requiere un profundo conocimiento de la instalación y de los equipos que lo componen.

Las evaluaciones técnicos y AUDIPLANT se basan en un conjunto de cuestiones (check list) que debe ser analizada para los equipos o sistemas principales de la instalación. El proceso consiste en determinar los equipos y sistemas principales, cargar la batería de cuestiones que es necesario analizar en cada equipo o sistema y contestar una por una a estas cuestiones. Para cada una de ellas se establece un valor, que permite por un lado conocer la valoración global de la instalación, los puntos que no alcanzan un valor mínimo (puntos no conformes), la valor específica de cada uno de los riesgos relacionados con el estado de las instalaciones (gran avería, daños, catástrofe natural, incendio, pérdida de beneficios, falta de disponibilidad, etc.) e incluso permite obtener un valor de incertidumbre para todos aquellos puntos que no se han podido valorar.



La evaluación técnica de una instalación tiene diversos objetivos:

- Analiza el diseño y el montaje, para determinar si se han empleado las mejores técnicas o si adolece de defectos que solo pueden ser corregidos realizando modificaciones.
- Evalúa el estado en el que se encuentra la instalación, es decir, evalúa la degradación que ha sufrido ésta con el paso del tiempo
- Determina los fallos que presenta la instalación en el momento presente
- Estima la posibilidad de la planta de sufrir una avería imprevista, especialmente de gran alcance.
- Establece las reparaciones que habría que realizar para que la planta estuviera en un estado óptimo.

La evaluación técnica puede ser usada para diversos fines:

- Para conocer el riesgo de que la instalación sufra un siniestro, gran avería, daños, incendio, etc. Las compañías de seguros son las principales interesadas en llevar a cabo este tipo de evaluaciones, ya que ayuda a determinar si un riesgo es asegurable o asumible, o si es necesario adoptar alguna medida (elevación o rebaja de franquicias, exclusión de un determinado equipo, etc.).
- Para conocer el estado de una instalación en un proceso de compraventa de activos, y determinar así su valor o la conveniencia o no de llevar a cabo la operación.

AUDIPLANT se convierte así en una herramienta útil y práctica que premite levar a cabo con facilidad y precisión evaluaciones técnicas de instalaciones.

IRIM
Instituto Renovetec
de Ingeniería del Mantenimiento

Averías habituales en turbinas de gas (I)

Averías en el compresor

"Las turbinas de gas son en general equipos robustos y fiables, A pesar de su relativa juventud técnica, han demostrado sobradamente una altísima fiabilidad, con un bajo número de incidentes graves y catastróficos. RENOVETEC.COM publica una serie de artículos dedicados a las averías más habituales en turbinas de gas, tratando de aportar información de utilidad para técnicos implicados en el mantenimiento de turbinas de gas."

Las turbinas de gas son, como se ha dicho, equipos robustos y fiables. Sin duda, el hecho de provenir en muchos casos del mundo aeronáutico ha contribuido a estos buenos resultados, por la altísima exigencia técnica a los equipos que componen una aeronave. Pero también contribuye positivamente la estrategia de mantenimiento en este tipo de equipos, que se basa en una parada periódica para sustituir muchos de sus componentes de desgaste. Hay que recordar que cada pocos años se sustituyen todos los elementos de las partes calientes de la turbina, y que la turbina está completamente monitorizada, por lo que es posible detectar un fallo en sus primeros estadios de gestación.

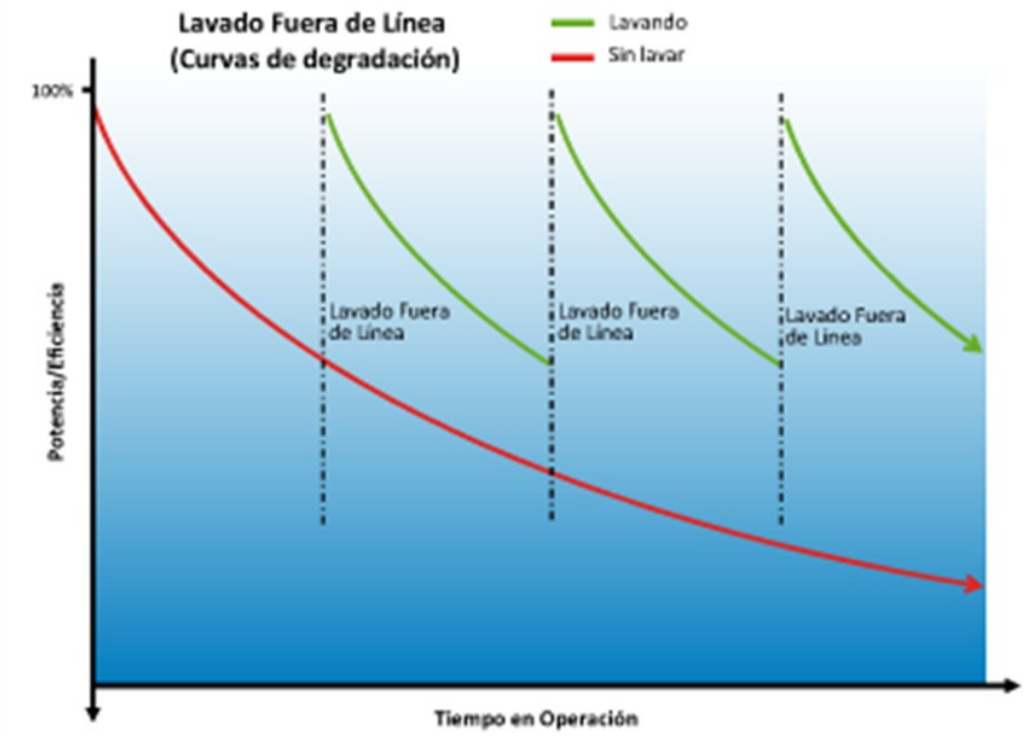
No obstante, las turbinas también sufren averías, unas de poca importancia y frecuentes, y otras de carácter catastrófico que destruyen completamente el equipo.
La mayor parte de los fallos en turbinas de gas están relacionados con las altas temperaturas que se emplean en la cámara de combustión y en las primeras filas de álabes de la turbina de expansión. Otro gran grupo se refiere al ajuste del proceso de combustión, y así el rendimiento y la estabilidad de llama se ven relacionados con estos ajustes. Otra parte de las averías son las típicas de los equipos rotativos: vibraciones, desalineaciones, etc. Y por último, al igual que ocurre con otros motores térmicos, las negligencias de operación y mantenimiento están detrás de muchos de los problemas que se viven con turbinas de gas, y especialmente, detrás de las averías más graves. Así, tratar de arrancar una y otra vez con alarmas presentes sin solucionar el problema, o retrasar las inspecciones programadas es la causa de muchas grandes averías en turbinas de gas.

Este conjunto de artículos analizará los fallos habituales en turbinas de gas clasificándolos por la zona afectada por el fallo. Este primer artículo aborda los fallos y averías que pueden registrarse en el compresor de la turbina, que puede llegar a tener fallos cuya reparación suponga un alto coste, o que pueden afectar notablemente a las prestaciones de la turbina.

SUCIEDAD (FOULING)

El ensuciamiento del compresor no es un fallo en sí mismo, sino un fenómeno que se produce periódicamente de forma normal y que se soluciona con limpiezas periódicas.
El ensuciamiento de los álabes del compresor se produce por la entrada de partículas a través de la casa de filtros. Por supuesto, cuanto menor sea la suciedad ambiental, mejor sea el diseño del sistema de filtrado, mejores sean los filtros y mejor estado presente todo el sistema de filtrado, menores será el ensuciamiento de los álabes.

La suciedad en la superficie de los álabes modifica ligeramente la aerodinámica de estos, provocando pequeñas turbulencias en el aire de admisión que hacen que éste no avance, sino que gire. La presión que se alcanza al final del compresor es menor, pero su temperatura es mayor. Como la presión es realmente la responsable del rendimiento de la turbina en su conjunto, el ensuciamiento provoca que la presión en la salida del compresor disminuya, su temperatura aumente, la potencia neta en el eje de la turbina disminuya, el rendimiento también disminuya y la salida de los gases de escape presente una temperatura mayor.



La suciedad puede ser de varios tipos:

- Hidrocarburos y mezclas aceitosas: los peores problemas de ensuciamiento son causados por mezclas de líquidos y aceites ó hidrocarburos generalmente, que se depositan en los álabes y forman una capa aceitosa capaz de atrapar más suciedad. Su origen puede estar en los gases de combustión emitidos por la turbinas y puede ser particularmente severo si se utiliza combustibles menos limpios, como gasóleo o fuelóleo. Las fugas de aceite de los cojinetes al interior del compresor pueden ser otra fuente. Por último, los humos de otras industrias cercanas, de ciudades y vehículos contribuyen a este tipo de suciedad.
- Agua salada. En zonas cercanas al mar, el contenido en humedad y sales inorgánicas del aire de admisión puede llegar a ser muy elevado. Al ingresar en el compresor, el aire se calienta y la humedad del aire se evapora, dejando sal y elementos disueltos que se depositan en los álabes. Cuando se exponen a las altas temperaturas de operación dentro del compresor, estos depósitos se pueden adherir firmemente a la superficie del compresor. La sal también causa corrosión y oxidación, por lo que hay que ser especialmente cuidadoso si se detecta este tipo de suciedad.
- Otras causas. El polvo y la arena generalmente causan erosión y pueden conducir al ensuciamiento cuando se combina con otros elementos como vapores de aceites. La atmósfera contiene otros nu-

merosos contaminantes incluyendo químicos usados en cultivos, esporas de las plantas, 0 insectos. Incluso algunos de los aditivos de los productos de limpieza, si no se enjuagan adecuadamente, pueden contribuir al ensuciamiento.

El ensuciamiento en los álabes se evita o se disminuye con un buen filtrado, y con el mantenimiento exhaustivo de la casa de filtros. Los efectos del ensuciamiento se disminuyen con un buen plan de limpiezas periódicas, que pueden ser de cuatro tipos:

- Limpiezas en línea, en las que se suministra agua líquida pulverizada en la entrada del compresor para que disuelvan la suciedad acumulada principalmente en las primeras filas de álabes
- Limpiezas fuera de línea (o limpiezas off-line) con turbina parada. El lavado fuera de línea se lleva a cabo con la turbina de gas en estado frío, inyectando la solución de limpieza al compresor mientras se hace girar a la velocidad de arranque. Una vez los químicos son inyectados en el compresor, se apaga la turbina de gas y se le permite detenerse, se deja en remojo de 20 a 30 minutos, antes de enjuagar completamente con agua desmineralizada o desionizada. El mayor inconveniente es el tiempo que la turbina debe permanecer fuera de operación para permitir el enfriamiento y la preparación para el lavado. La eficacia de este tipo de lavado es muy alta y la recuperación de potencia es cercana al nivel original o el nivel alcanzado después de un mantenimiento mayor.
- Limpieza manual de las primeras etapas del compresor. En estas limpiezas el técnico se introduce al plenum y limpia a mano la primera fila de álabes, que es precisamente la que presenta un ensuciamiento mayor.
- Limpieza total de álabes del compresor durante grandes revisiones. No es posible extraer toda la suciedad acumulada en los álabes con las limpiezas en línea o fuera de línea. En las grandes revisiones se extrae el rotor y con él fuera de la turbina se puede realizar una cuidadosa limpieza de los álabes que hace que se recupere toda la potencia perdida.

Las turbinas suelen estar equipadas con un sistema de limpieza que suministra agua pulverizada aditivada con determinados productos químicos a la entrada de la turbina. Es un sistema sencillo, fácil de manejar, pero que se vuelve trascendental para la operación eficiente de una turbina de gas.

CONGELACIÓN DE LAS PRIMERAS FILAS DE ÁLABES

Cuando la temperatura baja por debajo de un determinado valor y la humedad ambiental es alta, puede producirse la congelación de la humedad contenida en el aire de entrada a la turbina. El hielo formado se deposita en los primeros álabes de la turbina, que en muchos casos son móviles, provocando una dificultad para su movimiento y un cambio en su forma aerodinámica.

El fallo se evita fácilmente utilizando adecuadamente el sistema anti-hielo.

ENTRADA EN BOMBEO (SURGE)

Se denomina bombeo (o *surge*, en inglés) a la interrupción periódica de la salida de aire del compresor hacia la cámara de combustión. Si su incidencia se limita a períodos de corta duración puede ser soportable y no provocar daños. Sin embargo, con altas velocidades, como los que se registran en las turbinas de gas más habituales, la entrada en bombeo durante un tiempo prolongado puede causar daños de cierta magnitud en la turbina.

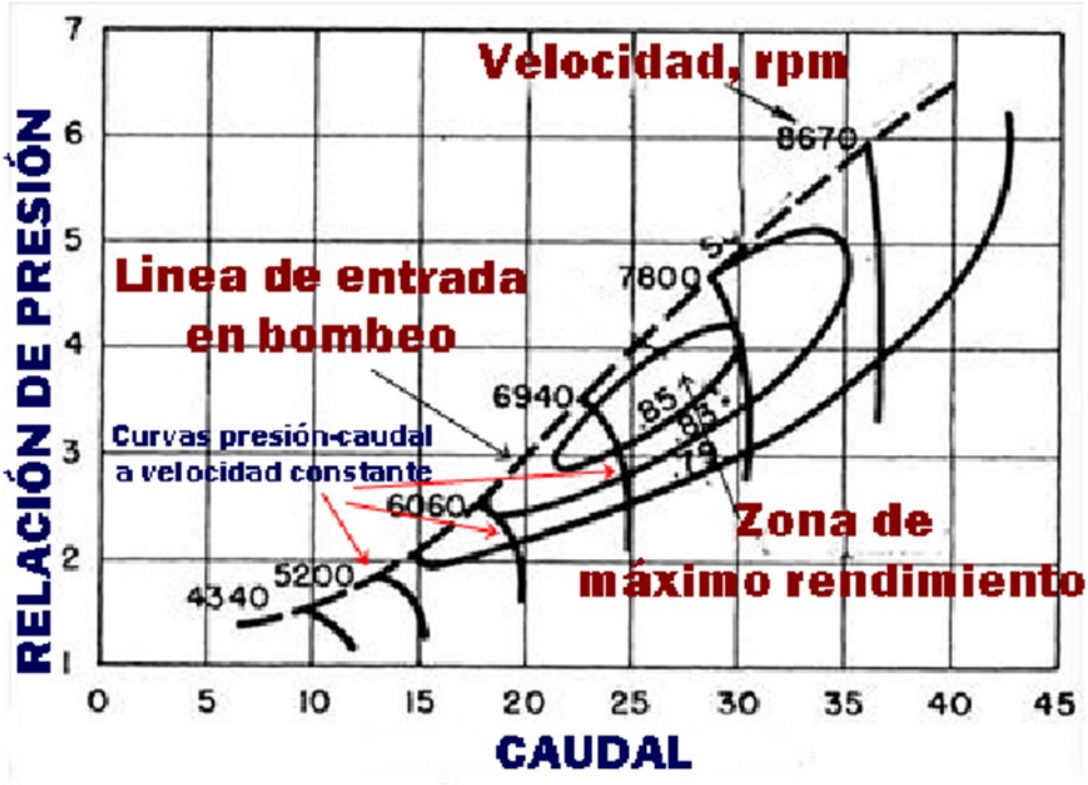
El bombeo se produce básicamente porque el gradiente de presión a lo largo desde la entrada a la salida se hace muy grande. Es decir, hay una gran diferencia de presión entre la entrada, que normalmente está a una presión inferior a la atmosférica, y la salida. Así, si la entrada disminuye su presión o el aire comprimido no circula correctamente hacia la salida por una obstrucción o cualquier tipo de defecto en la circulación del aire en la salida del compresor o a través de la cámara de combustión, el gradiente de presión es mayor de lo que el compresor puede soportar, y el aire retorna desde la salida o desde algún punto intermedio hacia la entrada, en vez de continuar su camino. El retorno de aire se produce hasta que el gradiente de presión cae por debajo de un valor, en ese momento, el aire vuelve a circular con normalidad hasta que nuevamente el gradiente es alto y el aire retorna. Este fenómeno se puede producir varias veces por segundo.

La entrada en bombeo produce varios efectos perjudiciales:

- Impide el normal flujo de aire hacia la cámara de combustión.
- La temperatura y la presión a la salida del compresor y en la cámara de combustión presentan bruscos cambios, que provocan inestabilidad de funcionamiento en la turbina, fallo en las prestaciones de ésta y estrés térmico.
- Aumentan las vibraciones en el compresor, que daña cierres laberínticos, y retenes, y provoca fuerzas cíclicas que provocan fatiga en determinados componentes.
- Cambian las fuerzas axiales en el eje, que se desplaza bruscamente afectando a los cojinetes o rodamientos axiales.
- Se aumenta el nivel de ruido, que puede perjudicar a las personas que trabajan en las inmediaciones.
- Provoca la parada de la turbina, con la pérdida de producción correspondiente, por activación del sistema de protección. La parada de emergencia en sí misma ya es un problema para la turbina, por el estrés que provoca. Las paradas de emergencia además, reducen el periodo entre inspecciones programadas, haciendo que la disponibilidad disminuya y el coste de mantenimiento aumente.

Hay que tener en cuenta que el compresor trabaja muy cerca de su zona de entrada

de entrada en bombeo, tal y como puede verse en la figura adjunta.



Al trabajar el compresor tan cerca de su punto de bombeo, cualquier pequeño problema que afecte al normal flujo de aire puede provocar su entrada en bombeo. Las causas que provocan la entrada en bombeo de un compresor son fundamentalmente cuatro:

- Obstrucción de aire a la entrada del compresor, provocada habitualmente por el bloqueo de los filtros de entrada por suciedad excesiva. También puede estar provocada por un fallo en los elementos mecánicos de la casa de filtros, que pueden haberse desplazado o desprendido dificultando el normal paso del aire hacia en interior de la turbina.
- Obstrucción del paso del aire a la salida del compresor, y antes de la entrada en la cámara de combustión. En ocasiones el aire debe realizar un recorrido antes de entrar en la cámara de combustión para refrigerar ésta por su parte externa.
- Obstrucción del paso de aire a los quemadores, por suciedad de estos, deformaciones, etc.
- Presión excesiva en la salida, por alta densidad en el aire de entrada. Esto ocurre en ocasiones cuando el aire está por debajo de una determinada temperatura, lo que provoca que el compresor comprima más aire que el que es capaz de soportar su diseño. La relación de compresión aumenta y se desplaza en el gráfico adjunto a la zona de bombeo.

Para evitarlo, la mayoría de los compresores axiales de turbinas de gas están equipados con una o varias etapas de álabes variables en el estator, que modifican la geometría y la aerodinámica de las primeras etapas del compresor haciendo que la relación de compresión disminuya, y haciendo por tanto que el compresor vuelva a trabajar por debajo de la zona línea de bombeo. Los sistemas de control están equipados además para alertar de la entrada en esta zona, o para detener la turbina con parada de emergencia si detectan que se está produciendo este fenómeno en el interior de la turbina.

DAÑOS PROVOCADOS POR UN OBJETO EXTRAÑO (FOD)

Uno de los fallos más dañinos y más fáciles de prevenir son los provocados por la entrada de un objeto externo, FOD según al terminología habitual (*Foreign Object Damage*). Los efectos que puede tener la entrada de un objeto extraño y los riesgos asociados varían en función del tamaño y localización del objeto. Así, objetos pequeños y blandos provocarán pequeños daños o incluso nulos. Por el contrario, si un objeto de cierto tamaño ingresa en el interior de la turbina los daños pueden conducir incluso a la destrucción completa de los álabes, por la reacción en cadena que puede provocar al chocar contra un álabe y desprender de éste nuevos fragmentos.

Prevenir este fallo es relativamente sencillo. En primer lugar, la entrada de aire debe conservarse siempre en perfecto estado, y debe realizarse una inspección periódica para asegurar que ningún objeto extraño puede pasar al interior de la turbina. E segundo lugar, es conveniente asegurar la integridad estructural de la casa de filtros, del plenum y del sistema de lavado, para asegurar que ninguna pieza de estos elementos se puede desprender y dañar la turbina.

El origen de la pieza extraña que causa el FOD puede estar en la la realización de los mantenimientos programados con apertura de turbina. Al realizar trabajos que supongan la apertura de la turbina o la entrada en la casa de filtros es necesario observar una serie de precauciones:

- Es conveniente retirar de los bolsillos cualquier objeto que pueda caerse.
- Es necesario tener una lista de las herramientas usadas, y controlar que todas ellas están en su sitio una vez finalizada la inspección, realizando si es preciso un inventario.
- Es conveniente limpiar y controlar la casa de filtros antes de abandonar el recinto.
- La limpieza y el orden en los alrededores de la turbina y de la casa de filtros son otro aspecto esencial a cuidar.

DAÑOS PROVOCADOS POR UN OBJETO PROPIO (DOD)

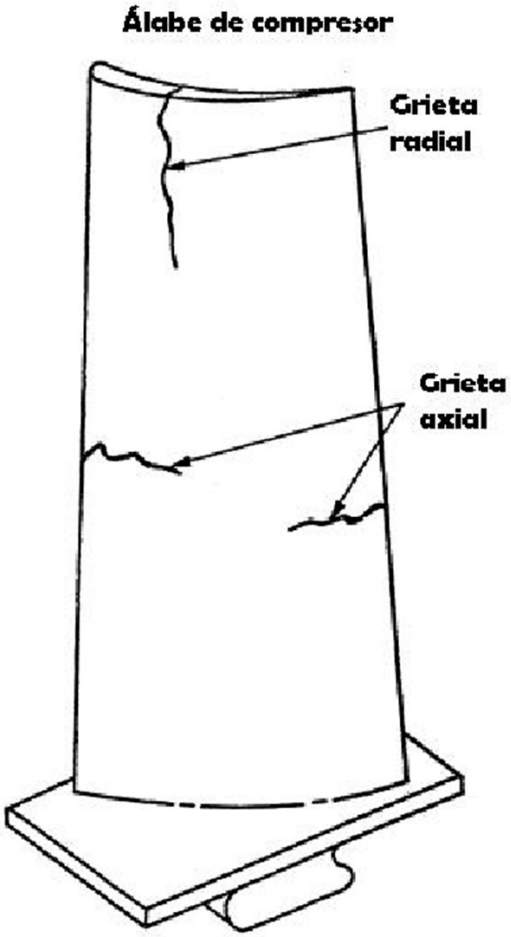
En ocasiones es un objeto del propio compresor el que ingresa en la zona rotativa y causa los daños. Normalmente se trata de una parte rota o desprendida de álabe, bien fijo o móvil, o de elementos de sujeción internos. El fallo se denomina habitualmente DOD (*Domestic Object Damage*).

Las revisiones internas periódicas mediante boroscopio, identificando posibles daños, fracturas y cualquier señal posible desprendimiento son la mejor estrategia de prevención. La mayoría de los DOD no ocurren de forma súbita, sino que son consecuencia de la evolución de un fallo que puede detectarse mucho tiempo atrás. El control de la corrosión, mediante el uso de las técnicas apropiadas, es otro de los factores importantes

para evitar DOD.

FRACTURAS EN ÁLABES (CRACKING)

Por efecto de la velocidad, de impactos, de falos en construcción o de cualquier otro problema estructural puede producirse grietas longitudinales o trasversales en los álabes del compresor de una turbina. Si la grieta progresa, el fallo puede llegar a ser muy grave si una parte del álabe se desprende e impacta con el resto de las filas de álabes, que giran a gran velocidad. El fallo en cadena, puede llegar a significar la destrucción completa de la turbina.



ROCES ENTRE ÁLABES MÓVILES Y ESTATOR (RUBBING)

Como consecuencia de una dilatación no prevista, una curvatura o un desplazamiento del rotor se puede producir un roce entre partes fijas y partes móviles. El roce en sí mismo no es un gran problema, pero puede ser indicativo de otros problemas mayores:

- Puede indicar que hay dilataciones no consideradas que pueden originar un problema mayor.
- Puede indicar que hay deformaciones en el eje o en determinadas partes (álabes o cierres) que pueden suponer una pérdida de la forma inicial. La deformación puede ser indicativo de un problema en el material o de un sobrecalentamiento de alguna zona concreta, cuyo origen será necesario conocer.
- Un roce siempre puede degenerar en una grieta o fractura, por lo que es necesario hacer un seguimiento de cualquier roce que se observe para estudiar su evolución.

IRIM
Instituto Renovetec
de Ingeniería del Mantenimiento

Implementación de RCM: La selección previa de indicadores

Lo que no se mide, no se mejora. RCM3 es una metodología que se implanta en la mayoría de los casos buscando una mejora en los resultados. Por eso es my importante medir: pasa saber si está consiguiendo el objetivo principal, que es mejorar. El primer paso en la implementación de la metodología RCM3 es siempre elegir una serie de indicadores clave, y estudiar su evolución antes, durante y después de la implementación de RCM3

La fiabilidad, el indicador que más evoluciona

Con RCM3 mejoran determinados aspectos, que se reflejan en indicadores muy concretos. La fiabilidad es sin duda el parámetro más afectado por la implementación de RCM3: no es extraño que la R del nombre sea precisamente *Reliability*, esto es, fiabilidad. Así, los equipos e instalaciones se paran cuando el usuario desea, disminuyendo drásticamente el número de paros por fallo en alguna parte del sistema. Hay que recordar que ese fue precisamente el principal motivo del desarrollo de RCM en el sector aeronáutico, evitar fallos en un avión con consecuencias desastrosas.

La mejora de la disponibilidad

El segundo parámetro afectado positivamente por una correcta implementación de la metodología RCM3 es sin duda la disponibilidad. Conviene recordar la diferencia entre fiabilidad, que solo tiene en cuenta las paradas por mantenimiento correctivo no programado, y disponibilidad para cuyo cálculo se tienen en cuenta todas las paradas por mantenimiento, ya sean programadas o no. RCM3 disminuye la necesidad de mantenimiento, ya que éste solo aplica allí donde es necesario aplicarlo, donde resuelve de forma eficaz un problema, evitando que se hagan tareas de forma rutinaria sin una adecuada justificación técnica.

Los indicadores de gestión de órdenes de trabajo

RCM3 disminuye la cantidad de horas y recursos empleados en mantenimiento, y la cantidad de horas de paro de las instalaciones para realizar trabajos panificados y no planificados al eliminar por un lado trabajos de mantenimiento que no tienen una ade-

cuada justificación técnica y por otro al eliminar o reducir el número de intervenciones por fallos.

En este sentido, algunos indicadores relacionados con la gestión de órdenes de trabajo también se ven favorablemente afectados. Así, el índice de emergencias o el número de averías repetitivas disminuyen y tienden a cero.

LOS COSTES DE MANTENIMIENTO

Como consecuencia de todo ello, los costes de mantenimiento disminuyen. Aunque el objetivo con el que nació RCM no fue la reducción de costes de mantenimiento sino el aumento de la fiabilidad de equipos e instalaciones (y de ahí su nombre), lo cierto es que en aquellas plantas en las que está fuertemente implantado el mantenimiento sistemático y especialmente en aquellas en las que el mantenimiento está basado en instrucciones de fabricantes la rebaja en costes es muy evidente.

LA SELECCIÓN DEL GRUPO DE INDICADORES

Por todo ello, si se desea implantar la metodología RCM3 es conveniente seleccionar una serie de indicadores que ayuden a identificar si se han obtenido o se están obteniendo mejoras con la aplicación de RCM3 o no se está apreciando ninguna.

IRIM propone al menos los siguientes indicadores como valores clave para evaluar la efectividad de la aplicación de la metodología RCM3:

- Fiabilidad
- Disponibilidad
- Coste de mantenimiento
- Índice de emergencias
- Índice de averías repetitivas

Todos estos indicadores deben calcularse por área, sistema, subsistema y equipo, es decir, en todos los niveles jerárquicos en los que se haya estructurado la instalación analizada. El cálculo debe hacerse tanto en los ítems incluidos en el estudio RCM3 como en el resto. De esta forma se pueden obtener parámetros comparativos entre zonas en las que se aplica esta metodología y zonas en las que no.

También es necesario calcularlo para diferentes periodos de tiempo, de forma puntual o de forma acumulada, para poder conocer y estudiar la tendencia de estos indicadores. Hay que recordar que el estudio de la tendencia de un indicador suele aportar más información que el valor en sí mismo analizado de forma puntual.

Es importante que el software usado para la gestión del mantenimiento aporte estos sencillos datos sin tener que recurrir a otras herramientas, como hojas de cálculo, bases de datos adicionales o programas independientes en los que haya que introducir de nuevo todos los datos ya introducidos en el software habitual. Si esto ocurre, si es necesario usar otras herramientas adicionales al software de gestión de mantenimiento empleado puede ser que o bien el programa no esté bien configurado o bien que sencillamente el programa no sea adecuado para gestionar de forma eficaz el mantenimiento de una instalación.

Solicita más información sobre nuestro software
RCM3

RCM3®, SOFTWARE DESARROLLADO POR IRIM PARA LA IMPLANTACIÓN DE RCM

RCM3® es un software desarrollado por IRIM para llevar a cabo el proceso de implantación de RCM (Reliability Centred Maintenance, mantenimiento centrado en confiabilidad) de una forma eficaz y práctica. RCM3 permite aplicar de forma ordenada y metodológica cada una de las fases que componen un proceso RCM. RCM3 es acorde con la norma SAE JA 1011, que establece que tipos de metodologías pueden considerarse RCM a todos los efectos.

La licencia de RCM3® puede adquirirse de forma independiente o puede obtenerse gratuitamente como socio de IRIM

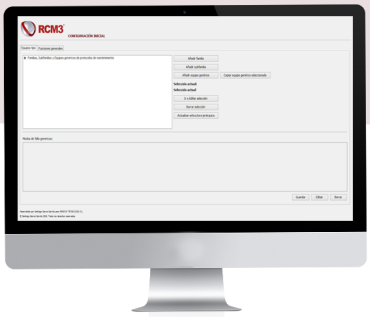
RCM3®

RCM o Reliability Centred Maintenance, (Mantenimiento Centrado en Fiabilidad) es una técnica más dentro de las posibles para elaborar un plan de mantenimiento en una instalación industrial y presenta algunas ventajas importantes sobre otras técnicas. Inicialmente fue desarrollada para el sector de aviación, donde no se obtenían los resultados más adecuados para la seguridad de la navegación aérea. Posteriormente fue trasladada al campo militar y mucho después al industrial, tras comprobarse los excelentes resultados que había dado en el campo aeronáutico.

El objetivo fundamental de la implantación de un Mantenimiento Centrado en Confiabilidad o RCM en una planta industrial es aumentar la fiabilidad de la instalación, es decir, disminuir el tiempo de parada de planta por averías imprevistas que impidan cumplir con los planes de producción. Los objetivos secundarios pero igualmente importantes son aumentar la disponibilidad, es decir, la proporción del tiempo que la planta está en disposición de producir, y disminuir al mismo tiempo los costes de mantenimiento.

El análisis de los fallos potenciales de una instalación industrial según esta metodología aporta una serie de resultados:

- Mejora la comprensión del funcionamiento de los equipos.
- Analiza todas las posibilidades de fallo de un sistema y desarrolla mecanismos que tratan de evitarlos, ya sean producidos por causas intrínsecas al propio equipo o por actos personales.
- Determina una serie de acciones que permiten garantizar una alta disponibilidad de la planta.



Las fases que atraviesa un proceso RCM son las siguientes:

- Descomposición de la planta en áreas, sistemas, subsistemas y equipos
- Determinación de las especificaciones de cada uno de ellos
- Determinación de las funciones específicas y las funciones generales de cada ítem
- Determinación de los fallos específicos y generales
- Determinación de los modos de fallos de primer y segundo nivel
- Análisis de la criticidad de cada modo de fallo
- Determinación de las medidas preventivas, que pueden ser de varios tipos: mejoras, tareas de mantenimiento, creación de procedimientos, medidas a adoptar para minimizar las consecuencias de los fallos y actividades de formación.

El proceso RCM tiene como principal objetivo determinar pues las principales modificaciones que hay que llevar a cabo para evitar los fallos críticos y significativos, el plan de mantenimiento a aplicar en la instalación, la lista de repuestos, los procedimientos de operación y mantenimiento que es necesario crear y las medidas a implementar en caso de fallo.

RCM3® se convierte así en la mejor herramienta posible para aplicar la metodología RCM en cualquier tipo de instalaciones.

IRIM

Instituto Renovetec de Ingeniería del Mantenimiento

Serie: Mantenimiento Legal

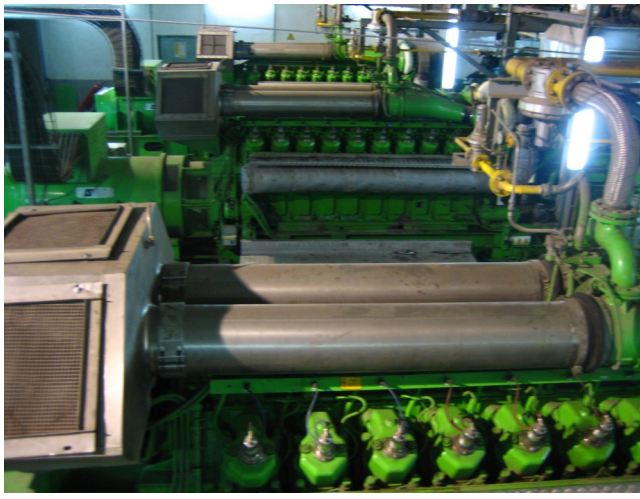
26

La importancia del mantenimiento legal

Dentro de las tareas de mantenimiento, hay un grupo muy especial de éstas que no decide ni el propietario, ni los contratistas de mantenimiento ni los fabricantes de los equipos: son las tareas marcadas por disposiciones legales, que por supuesto, son de obligado cumplimiento. Habitualmente se conoce a este conjunto especial de tareas como 'inspecciones reglamentarias', 'mantenimiento por requerimiento legal' o simplemente, 'mantenimiento legal'. El mantenimiento legal engloba a aquel mantenimiento preventivo obligatorio recogido en diferentes disposiciones de la normativa de aplicación, donde se especifica en general tanto las tareas a llevar a cabo, la frecuencia con la que debe realizarse cada una de ellas, quién está autorizado para llevarlas a cabo y como se deja una constancia documental de su realización.

En general, casi todas las obligaciones de mantenimiento están motivadas por la seguridad. Casi todos las tareas relacionadas con el mantenimiento legal pretenden asegurar que los equipos pueden trabajar en condiciones de seguridad apropiadas, de forma que los trabajadores de la instalación, de instalaciones próximas o la población en general puedan verse afectados. El perfecto conocimiento y cumplimiento del mantenimiento legal es de especial importancia debido a las implicaciones que conlleva, tanto desde el punto de vista de la seguridad, como de las responsabilidades de la empresa propietaria y de sus directivos: se trata de una actividad sujeta a normas cuyo control es ejercido por la Administración.

Este tipo de obligaciones varían con el tipo de instalación y su tamaño; evolucionan con el tiempo; varían de unos países a otros; e incluso, dentro del mismo país, pueden variar de unas regiones a otras. Establecer pautas fijas y válidas para todas las instalaciones en todos los países, regiones y en todo momento es algo imposible. Por ello, este capítulo debe ser tomado como una simple guía de referencia, que habrá que comprobar y completar en cada caso.



IRIM
Instituto Renovetec
de Ingeniería del Mantenimiento

La prevención del mantenimiento, un concepto más avanzado que el mantenimiento preventivo

"Un concepto más avanzado y eficaz que el mantenimiento preventivo es sin duda la prevención del mantenimiento. Mientras que el concepto de mantenimiento preventivo triunfó sin duda durante un largo periodo en las industrias más punteras y aún lo hace en muchos sectores, la prevención del mantenimiento es un concepto mucho más interesante y potente, con resultados de coste y disponibilidad imposibles de alcanzar aplicando técnicas de mantenimiento sistemático."

El concepto de prevención del mantenimiento comenzó en los años 80 cuando los ingenieros de mantenimiento de diversos sectores empezaron a cuestionarse el mantenimiento como tal y su necesidad, y empezaron a ver como trabajar en el diseño era mucho más eficaz que tratar de definir tareas sistemáticas o inspecciones periódicas. La Sexta Ley del mantenimiento ya avisa de que 'un buen mantenimiento no arregla un mal diseño'. Muchas averías solo pueden ser evitadas si se corrige el diseño, es decir, si se actúa sobre el origen.

De acuerdo con este nuevo concepto (o no tan nuevo), los equipos e instalaciones deben ser libres de mantenimiento. El mejor mantenimiento es el que no existe. De esta forma ni se provoca indisponibilidad, ni se incurre en costes y el envejecimiento siempre estará dentro de parámetros esperados.

La prevención del mantenimiento consiste pues en diseñar instalaciones que sean libres de mantenimiento tanto correctivo como periódico, tanto programado como no programado.

Diseñar equipos que no requieren de un mantenimiento periódico es más sencillo de lo que parece. Para ello, los diseños deben contemplar toda una serie de aspectos fáciles de implementar. Básicamente, estos aspectos son los siguientes:

- Los equipos deben estar adecuadamente sobredimensionados, de forma que soporten con holgura las condiciones normales de trabajo.
- Los equipos no deben ensuciarse.
- No deben contener elementos que se aflojen o desajusten
- No deben contener elementos que se desgasten
- Los elementos que se consumen deben reemplazarse automáticamente sin intervención de un técnico.
- Los equipos deben contener sensores que hagan visibles los fallos durante su periodo de gestación y sin necesidad de parar el equipo.
- Los equipos e instalaciones deben disponer de sistemas antierror, que impidan operarlos, montarlos, conectarlos o instalarlos de forma incorrecta.

A veces no es posible eliminar totalmente las necesidades de mantenimiento. En esos casos es posible, en cambio, reducir dichas necesidades:

- Si no se pueden incorporar sensores o monitorizar on-line un determinado fallo potencial, el equipo debe ser fácilmente inspeccionable.
- Debe ser sencillo sustituir las piezas que deban ser cambiadas periódicamente.
- Deben existir criterios de redundancia, es decir, en caso de fallo deben existir la posibilidad de que bien manualmente o bien automáticamente se ponga en servicio un equipo que sustituya al que ha fallado.

Los componentes deben ser estándar, evitando que los equipos e instalaciones incluyan componentes que solo pueda suministrarlos un único proveedor durante un periodo limitado de tiempo, y favoreciendo al intercambiabilidad entre equipos similares.

IRIM
Instituto Renovetec
de Ingeniería del Mantenimiento

El problema de la detonación en motores de combustión interna de gas

"La detonación o knocking aparece cuando la mezcla gas-aire se inflama bruscamente antes de que salte la chispa en la bujía, cuando el pistón no ha alcanzado aún el momento preciso. Se provoca por tanto una fuerza que se opone al movimiento normal del cigüeñal."

Para entender mejor el fenómeno es necesario entender otros dos fenómenos asociados: el encendido superficial y la autoinflamación.

En el interior de la cámara de combustión pueden originarse puntos calientes que pueden llegar a ser fuentes de encendido y generar frentes de llama en cualquier parte del ciclo. Los puntos calientes más comunes que ocasionan preencendido son la bujía y restos de hidrocarburos inquemados. Estos últimos no son capaces de provocar preencendidos permanentes ya que se volatilizan a más de 1000 °C, y se cree que son debidos a aditivos órgano-metálicos del aceite y combustibles. La formación de los frentes de llama puede darse antes o después de que salte la chispa. Si sucede después se origina el *post-encendido* que simplemente produce un gradiente de presión más fuerte con el giro del cigüeñal. Si sucede antes de que salte la chispa se origina el *pre-encendido*, que origina una fuerza que se opone al movimiento. El efecto es una combustión anormal caracterizada por un ruido sordo o marcha dura que si no va acompañado de detonación se denomina llamado '*rumble*'.

La autoinflamación se produce cuando la mezcla aire-gas se inflama de forma espontánea, antes de que salte la chispa en la bujía. Para que la mezcla se autoinflame hace falta alcanzar una temperatura mínima para una determinada presión o viceversa, que se alcanza por reacciones en cadena originados por radicales libres que reaccionan con los productos quemados acelerando fuertemente el proceso de combustión. La autoinflamación no es espontánea y requiere un tiempo de retraso o de inducción, en el que tienen lugar las prerreacciones que

dan origen a los primeros radicales activos (etapa se llama iniciación).

Tanto la autoinflamación como el encendido superficial pueden degenerar en detonación: al avanzar el frente de llama debido a la dilatación de los productos quemados, la mezcla sin quemar se comprime y en determinadas condiciones la restante parte sin quemar a su vez se autoinflama. Si los gradientes de presión que produce esta autoinflamación de la mezcla que quedaba sin quemar son lo suficientemente intensos (acompañados de un ruido audible característico y la posibilidad de dañar la superficie de la cámara) es cuando se produce el fenómeno conocido como detonación *oknocking*.

Cuando la autoinflamación es lo suficientemente rápida, se propaga a través de la cámara de combustión por ondas de presión, haciendo vibrar el gas con una frecuencia dependiente de la velocidad de las ondas y el tamaño y la forma de la cámara de combustión. Estás vibraciones del gas inducen vibraciones mecánicas en los elementos que configuran la cámara de combustión dando lugar al ruido característico que frecuentemente se denomina *picado de biela*..

Los factores que intervienen en el *knocking* son, pues, los siguientes

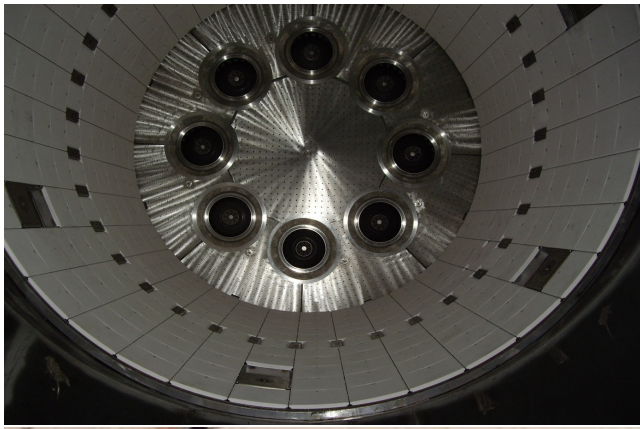
- La instrumentación del sistema *anti-knocking*: esta instrumentación, como cualquier otra puede fallar e indicarnos que está habiendo un problema que en realidad no existe
- Fallo en el detector inductivo (pick-up) que indica la posición del volante de inercia: como ese sensor es el que determina el momento en que debe
- El estado del aceite de lubricación
- La composición del gas. El gas con un número de metano bajo tiene una capacidad detonante mayor que un gas natural con un número de metano mayor, ya que produce los radicales libres necesarios para el inicio de la reacción a una temperatura inferior.

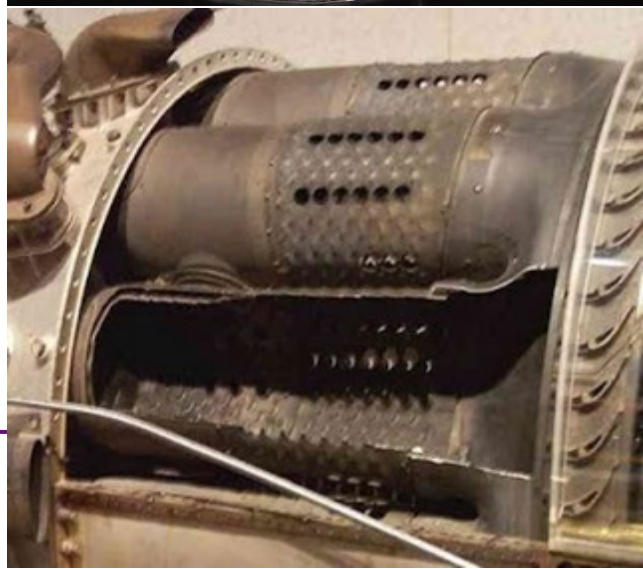
- El estado de las camisas. Si éstas han perdido el bruñido, es decir, la superficie rugosa que retiene el aceite, parte de éste puede pasar a la cámara de combustión y provocar puntos calientes
- Las bujías. La combustión detonante puede conducir a una elevación anormal de la temperatura de los electrodos de la bujía, con el consiguiente preencendido superficial. El preencendido producido por la detonación puede realimentar e intensificar ésta, pudiendo llegarse a producir un preencendido de avance creciente extremo y errático. Este fenómeno se conoce como *wild pind*

Las consecuencias del fenómeno de detonación son: degradación acelerada de pistón, camisa y válvulas, disparo del motor al activarse el sistema de protección *anti-knocking*, pérdida de rendimiento y de potencia, al tener que bajar la temperatura de cámaras de combustión para evitarlo.

Para corregir el problema, es conveniente realizar una serie de comprobaciones, en el orden descrito, para identificar la causa o causas principales del fallo:

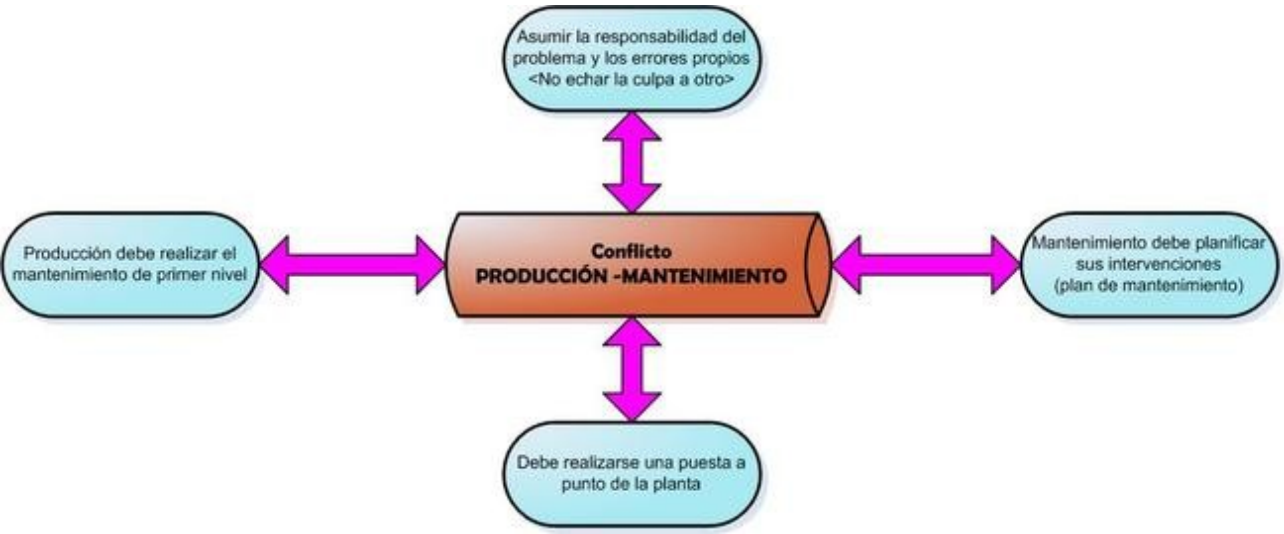
- Comprobar la composición del gas y comprobar su número de metano. Si la detonación está provocada por la composición del gas, la única solución posible será la bajada de temperatura de la cámara de combustión
- Revisar y/o sustituir la instrumentación del sistema *antiknocking*
- Comprobar y/o sustituir el detector inductivo del volante de inercia
- Analizar el aceite de lubricación y sustituir si el análisis así lo indica
- Cambiar la bujía del cilindro en el que se detecta la detonación
- Realizar una endoscopia al cilindro que detona para comprobar el estado de la camisa (comprobar que no ha perdido el bruñido). Sustituir si es necesario.
- Rebajar la temperatura de la cámara de combustión afectada, empobreciendo la mezcla aire gas y/o rebajando la presión de la cámara de combustión. Esto hará disminuir el rendimiento y la potencia del motor
- Modificar ligeramente el avance de encendido. En determinados motores el propio sistema *anti-knocking* puede corregir automáticamente el avance hasta corregir el efecto.





El conflicto producción-mantenimiento

"En muchas empresas existe un conflicto permanente entre los responsables de producción y los de mantenimiento. El primero se queja de que la atención que recibe de los técnicos y responsables de mantenimiento no se corresponde con las mejores prácticas posibles y que tienen un efecto lamentable en los resultados de producción. El segundo, mantenimiento, se queja de que producción no le permite parar las máquinas para realizar los preceptivos mantenimientos preventivos necesarios, que en muchas ocasiones se ve obligada a realizar intervenciones provisionales y de escasa fiabilidad por la rapidez con que debe entregar las máquinas a producción y que además el trato que reciben los diversos equipos por parte del personal de producción se aleja mucho del mejor trato posible. En realidad, tal y como se puede constatar en muchas plantas, ambos tienen razón. "



LA SITUACIÓN DESDE EL PUNTO DE VISTA DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO

El trato que dispensa Producción a los equipos es en muchos casos poco acorde con los cuidados mínimos que debe prodigarse a instalaciones en muchos casos críticas. No existen procedimientos de trabajo que hayan sido cuidadosamente elaborados para garantizar el buen estado de la maquinaria, ni existe una conciencia por parte del personal de producción de que un problema en la maquinaria es también 'su problema', sino más bien que una avería o un mal funcionamiento, sea cual sea la causa que lo provoca, es 'el problema de otro'

LA SITUACIÓN DESDE EL PUNTO DE VISTA DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO

En muchos casos el departamento de mantenimiento no aplica las mejores técnicas, ni desde el punto de vista correctivo ni desde el punto de vista preventivo. Por un lado, se ha acostumbrado a realizar intervenciones rápidas 'para salir del paso', sin que después se aborde la solución definitiva a la avería. Simplemente se deja esa solución provisional como definitiva hasta que vuelva a dar un nuevo problema.

El departamento de mantenimiento, por otro lado, no planifica sus intervenciones. En la mayor parte de las empresas en que existe esta tensión entre producción y mantenimiento se observan como la base del mantenimiento es puramente correctiva. El personal de mantenimiento ha renunciado en general a planificar o programar cualquier tipo de intervención, y basa toda la estrategia de mantenimiento en la reparación de las averías que van surgiendo. La planta entra rápidamente en un circulo vicioso: al no existir ninguna intervención de tipo preventivo el correctivo se dispara, lo que deja menos tiempo aún para pensar en realizar intervenciones preventivas. La degradación de la planta es muy rápida, y la consecuencia es que la planta acaba siendo una especie de campo de batalla, con averías fácilmente identificables por todos lados, con personal desanimado que parece haber tirado la toalla y con unos resultados de producción que se alejan mucho del óptimo.

SOLUCIONES AL CONFLICTO

Hay varias recetas que aplicadas conjuntamente tienen un efecto indiscutible para rebajar la tensión entre el departamento de producción y el de mantenimiento.

a) Los responsables de ambos departamentos deben dejar de pensar que 'la culpa es de otro'. En cambio, deben empezar a pensar qué pueden hacer por ellos mismos para cambiar la situación de degradación que presentan muchas de estas plantas con tensiones producción-mantenimiento. Este cambio de mentalidad, el deseo de mejorar la situación y la asunción de su parte de responsabilidad en el problema es fundamental para cambiar.
b) Los operarios de producción no pueden desentenderse completamente del mantenimiento de las máquinas. De esta forma, tanto las actividades de lubricación, la vigilancia de parámetros de funcionamiento y limpieza de los equipos, que no requieren grandes conocimientos técnicos, como las reparaciones más elementales deben ser realizadas por los operadores de producción. Esto asegura su responsabilidad en el uso de las máquinas y mejora indudablemente el cuidado que les prodigan, pues una parte de las reparaciones deben efectuarlas ellos mismos. Esta es la base del TPM, Mantenimiento Productivo Total, que delega una parte de las intervenciones de mantenimiento en el personal de producción.
c) Mantenimiento debe planificar sus intervenciones, y realizarlas en los momentos en que menos interfieren con el programa de producción. La base del mantenimiento de una instalación no debe ser correctiva, que es una estrategia de mantenimiento cuya utilidad es indiscutible en un número muy pequeño de casos. En cambio debe realizarse una programación de las intervenciones, dejando una ventana de tiempo prevista con antelación en la que se efectuarán tanto las reparaciones pendientes como las inspecciones, las limpiezas técnicas, las calibraciones, las sustituciones sistemáticas de elementos de desgaste, etc. Se impone pues elaborar una lista de las revisiones e inspecciones que se van a realizar, y una programación de éstas: esto no es más que realizar un plan de mantenimiento. Se impone también reestructurar el departamento de mantenimiento y el horario en que prestan el servicio, asumiendo que una parte del personal de mantenimiento deberá realizar sus funciones en noches, fines de semana, etc, esto es, en momentos en que la producción pueda pararse.
d) Para poder implantar estas soluciones sin demagogias y sin intentos estériles es imprescindible que previamente se realice la reparación de todas las averías pendientes, programando una parada de la planta o de una parte de ella para realizar dichas intervenciones de naturaleza puramente correctiva. Sin acometer esas reparaciones pendientes es absurdo pensar en implantar ninguna acción preventiva, pues siempre la carga de trabajo correctivo y urgente será prioritaria a cualquier otra actividad.

IRIM

EN EL PRÓXIMO NÚMERO

REVISTA IRIM
NUMERO 3

POSIBILIDADES PARA AFRONTAR EL MANTENIMIENTO DE UNA INSTALACIÓN INDUSTRIAL

MANTENIMIENTO PREDICTIVO:
FALLOS DETECTABLES POR ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ERRORES HABITUALES AL ELABORAR PLANES DE MANTENIMIENTO

Y MUCHO MÁS...

¡NO TE LO PUEDES PERDER!

WWW.RENOVETEC.COM/IRIM

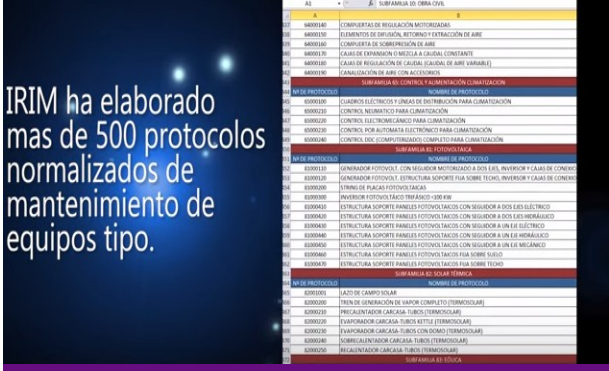
Noticias

IRIM PUBLICA UNA VIDEOSERIE DEDICADA A LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO 3.0

IRIM ha publicado una VIDEOSERIE dedicada al Mantenimiento 3.0, la estrategia basada en la tercera generación de mantenimiento que busca una significativa reducción de costes de mantenimiento y a la vez, un aumento de disponibilidad. La estrategia Mantenimiento 3.0 se fundamental en 15 bases tácticas, y cada una de las cuales constituye un pilar fundamental en la implementación de esta interesante estrategia de mantenimiento.

MANTENIMIENTO 3.0 es una estrategia dirigida a empresas que quieren o necesitan un cambio en su gestión del mantenimiento. Si una empresa está satisfecha con los resultados que está obteniendo de su departamento de mantenimiento, en relación al coste de mantenimiento, a las horas que la instalación está fuera de servicio por mantenimiento correctivo o por mantenimiento programado y está satisfecha también con el estado de la instalación, no debe hacer nada, solo continuar la política que esté aplicando. Pero si se requiere un cambio, bien porque desee reducir sus costes o bien porque necesita aumentar el tiempo de producción, **no puede seguir haciendo las cosas del mismo modo**. MANTENIMIENTO 3.0 indica cual debe ser el camino del cambio si lo que se busca es mejorar los resultados.

MANTENIMIENTO 3.0 trata de huir del mantenimiento sistemático, fomentado en muchos casos por los propios fabricantes de los equipos, que determinan las intervenciones a realizar por horas de funcionamiento o por periodos de tiempo. De acuerdo con la estrategia 3.0, las tareas sistemáticas responden a los intereses de los fabricantes, pero no de los propietarios de las instalaciones. El mantenimiento sistemático no ha dado los resultados esperados, ni en coste ni en aumento de la disponibilidad, y por ello se impone un cambio en la gestión



IRIM PUBLICA EL PROTOCOLO MAESTRO DE MANTENIMIENTO

IRIM ha publicado el PROTOCOLO MAESTRO DE MANTENIMIENTO, un listado de tareas muy completo que incluye todas las tareas que sería necesario llevar a cabo en el equipo imaginario más complejo que pudiera existir. Con la ayuda del PROTOCOLO MAESTRO es posible elaborar el protocolo de mantenimiento de cualquier equipo o sistema, ya que al ser más simple que el más complejo posible, solo habrá que eliminar del protocolo maestro todas las tareas que no apliquen. Así, es posible realizar los protocolos de mantenimiento de todo tipo de equipos rotativos, equipos estáticos, instalaciones de climatización, instalaciones de aire comprimido, fontanería, subestaciones, centros de transformación, etc. IRIM ha empleado este PROTOCOLO MAESTRO para realizar los protocolos de mantenimiento de más de 500 equipos tipo.

PUEDES VER ESTE VIDEO ACCEDIENDO A:

HTTP://WWW.RENOVETEC.COM/IRIM/101

PM HELPER, NUEVO SOFTWARE RENOVETEC PARA LA ELABORACIÓN DE PLANES DE MANTENIMIENTO

"IRIM ha desarrollado un nuevo software de mantenimiento destinado a facilitar la elaboración de planes de mantenimiento. Está disponible en dos formatos: una versión que incluye sólo el programa o, la posibilidad de adquirir el software con la GUIA IRIM 2,: ELABORACIÓN DE PLANES DE MANTENIMIENTO,. El programa elabora un plan de mantenimiento a partir de la lista de equipos que compone la instalación e incorpora protocolos de mantenimiento para los tipos de equipo más habituales en una instalación industrial, lo que permite elaborar un plan de mantenimiento muy completo y avanzado de forma totalmente automática, en pocas horas y sin apenas conocimientos previos de los equipos o de mantenimiento."

La elaboración del plan de mantenimiento es una actividad que en muchos casos emplea muchos recursos y mucho tiempo, sobre todo porque a veces no se tiene una idea clara del contenido que debe tener un plan de mantenimiento o como elaborarlo. La herramienta PM HELPER pretende facilitar la elaboración del plan de mantenimiento de una instalación industrial o un edificio singular. Para ello, el software requiere tan solo dos informaciones:

- La lista de equipos, agrupada de forma jerárquica y clasificando los diversos equipos que componen la instalación en tipos y subtipos
- La lista de tareas preventivas a realizar en cada tipo de equipo

La primera información se consigue a partir de la documentación de planta o realizando un inventario de equipos de las instalaciones. La segunda, puede obtenerse a partir de los manuales de los fabricantes de los diferentes equipos, a partir de la experiencia de los técnicos, o elaborando PROTOCOLOS GENÉRICOS DE MANTENIMIENTO.

A partir de estas dos informaciones, el software PM HELPER determina las tareas a realizar en toda la instalación, las agrupa por sistema, frecuencia y especialidad, y elabora las gamas de mantenimiento necesarias para que la instalación alcance sus objetivos fijados (disponibilidad, fiabilidad, vida útil y coste)

Agenda

Cursos Presenciales

Curso	Fecha
Curso Práctico de Realización de Auditorías Energéticas	1,2 y 3 de Febrero
Curso de Implantación de Software de Mantenimiento GMAO en Industrias y Edificios	3 y 4 de Marzo
Curso de Mantenimiento Legal en Instalaciones Industriales	30 y 31 de Marzo
Curso Práctico de Operación de Plantas Hidroeléctricas con Simulador	14 al 18 de Marzo
Curso Práctico de Evaluación Técnica de Activos	4 al 8 de Abril
Curso Práctico de Termografía	13,14 y 15 de Abril

IRIM
Instituto Renovetec
de Ingeniería del Mantenimiento

Cursos Presenciales

Curso	Fecha
Curso Práctico de Implantación de RCM en Industrias	9 al 12 de Mayo
Curso de Operación y Mantenimiento de Plantas GNL	17,18 y19 de Mayo

Hazte socio de IRIM ahora y recibe un
30% de descuento en todos estos cursos.
Más información:
WWW.RENOVETEC.COM/IRIM/

Formación ONLINE

- Curso de Director de Planta en Centrales Termosolares
- Curso de Mantenimiento de Centrales Termosolares
- Curso de Ingeniería de Mantenimiento
- Curso de Turbinas de Gas
- Curso de Elaboración de Planes de Mantenimiento

IRIM

Instituto Renovetec
de Ingeniería del Mantenimiento

IRIM, Instituto RENOVETEC de Ingeniería del Mantenimiento

- Edición de guías técnicas
- Edición de notas técnicas
- Estandarización y creación de normas específicas
- Protocolos de mantenimiento
- Desarrollo y edición de software específico de mantenimiento

Una sociedad científica dedicada al estudio y análisis del mantenimiento de instalaciones industriales y de edificación. Esta sociedad, que se financia al margen de ayudas públicas de cualquier tipo, tiene entre sus principales fines la difusión de información y el desarrollo de metodología que permita mejorar los resultados de mantenimiento de un amplio rango de tipos de instalaciones.

IRIM

HAZTE SOCIO AHORA Y RECIBE:

- GUIAS TÉCNICAS
- SOFTWARE
- PROTOCOLOS DE MANTENIMIENTO
- NOTAS TÉCNICAS
- NORMAS IRIM
- ACCESO A CONTENIDO WEB EXCLUSIVO

POR SÓLO 495€

IVA incluido (*)

WWW.RENOVETEC.COM/IRIM