



SISTEMAS DE GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO EN BASE RIESGO

Miguel Ángel Muñoz Aguilar

SISTEMAS DE GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO EN BASE RIESGO

1. INTRODUCCIÓN

El área de actividad del mantenimiento industrial es de capital importancia en el ámbito de la ejecución de las operaciones en la industria. De un buen mantenimiento depende el funcionamiento eficiente de las instalaciones, por lo que es preciso llevarlo a cabo con el mayor rigor para conseguir otros objetivos como el control del ciclo de vida de las instalaciones sin disparar los costes destinados a mantenerlas.

Las estrategias convencionales tipo “reparar cuando se averíe” ya no sirven. Fueron válidas en el pasado, pero ahora se es consciente de que esperar a que se produzcan los fallos para intervenir puede incurrir en unos costes excesivamente elevados (pérdidas de producción, pérdida de calidad en el producto, etc.) amén de posibles problemas en la seguridad de las personas (tanto de las que trabajen en las instalaciones como de las que se encuentren en las inmediaciones) como de las instalaciones.

Los objetivos del mantenimiento industrial pueden resumirse en el siguiente listado:

- Evitar, reducir, y en su caso, reparar, los fallos sobre los bienes.
- Disminuir la gravedad de los fallos que no se lleguen a evitar.
- Evitar detenciones inútiles o parada de máquinas.
- Evitar accidentes.
- Evitar incidentes y aumentar la seguridad para las personas.
- Conservar los bienes productivos en condiciones seguras y preestablecidas de operación.
- Alcanzar o prolongar la vida útil de los bienes.

A lo largo de la historia, el mantenimiento ha sufrido multitud de cambios en su filosofía y forma de llevar a cabo. Las distintas etapas por las que se ha pasado son las siguientes:

Mantenimiento Correctivo: Es aquel que se ocupa de la reparación una vez se ha producido el fallo y el paro súbito de la máquina o instalación.

Mantenimiento Preventivo: Este tipo de mantenimiento surge de la necesidad de rebajar el correctivo y todo lo que representa. Pretende reducir la reparación mediante una rutina de inspecciones periódicas y la renovación de los elementos dañados.

Mantenimiento Predictivo: Este tipo de mantenimiento se basa en predecir el fallo antes de que esta se produzca. Se trata de conseguir adelantarse al mismo o al momento en que el equipo o elemento deja de trabajar en sus condiciones óptimas. Para conseguir esto se utilizan herramientas y técnicas de monitorización de parámetros físicos.

La gestión del mantenimiento supone no sólo una parte importante del presupuesto de las compañías, sino que además se hace fundamental para conseguir la eficiencia requerida a los equipos para la realización del proceso productivo. Además, la creciente competitividad hace que las fábricas necesiten disponer de gran flexibilidad y cortos tiempos de respuesta.

En definitiva el proceso de cambio que está experimentando la gestión del mantenimiento comporta nuevas necesidades de recursos, tanto materiales como de capital humano. Por todo ello, se plantea la necesidad de crear nuevas herramientas de trabajo que ayuden a la optimización del mantenimiento.

2 SEGURIDAD

En los años setenta y ochenta la opinión pública comenzó a sensibilizarse sobre cuestiones ambientales y de seguridad a raíz de las nubes tóxicas originadas en el accidente de Seveso, Italia (1977), las consecuencias de los residuos tóxicos en Love Canal, en Estados Unidos en ese mismo año y la explosión nuclear de Chernobyl en 1986. Estas consecuencias del sector industrial en la vida de los países desarrollados inspiraron las primeras manifestaciones de la conciencia de seguridad contemporánea.

Cada día es más importante la seguridad en los lugares de trabajo y esto se demuestra viendo la profusión de legislación y reglamentación se aparece cada día, capitaneadas por el Real Decreto 1254/1999, de 16 de julio, por el que se aprueban las medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas en la seguridad industrial (además de toda la reglamentación industrial como el almacenamiento de productos químicos, aparatos a presión, etc.) y la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de riesgos laborales en la seguridad laboral.

Si hay algún factor que represente y cuantifique de forma fidedigna la seguridad es el riesgo, el cual se define como la probabilidad de que ocurra un accidente por las consecuencias que tendría el mismo.

En muchas instalaciones industriales ocurre que un gran porcentaje del riesgo de la misma se encuentra focalizado en un porcentaje relativamente pequeño de equipos. En esta premisa es en la que se basa la herramienta que posteriormente introduciremos. Estos componentes de gran riesgo potencial pueden requerir una gran atención, por lo que el coste de un mayor esfuerzo en los mismos puede verse compensado reduciendo esfuerzos excesivos en áreas que no los requieran (identificadas como de bajo riesgo).

De todas formas, hay que hacer hincapié en que el riesgo de una instalación no puede reducirse hasta cero. Siempre existen factores inesperados que pueden llevar a las instalaciones a una situación peligrosa. Estos factores pueden ser:

- Errores humanos.
- Desastres naturales.
- Sucesos externos (como colisiones o caída de objetos).
- Actos deliberados, como sabotajes.
- Errores de diseño no identificados.

2.1 Consecuencias de un accidente

Los diversos tipos de accidentes graves a considerar en los establecimientos en los que haya sustancias peligrosas que pueden producir determinados fenómenos peligrosos para las personas, el medio ambiente y los bienes materiales son:

Fenómenos de tipo mecánico: Una onda de presión consiste en compresiones y expansiones alternativas del aire atmosférico, que se traducen en efectos mecánicos transitorios sobre los elementos inertes o los seres vivos. Son provocadas generalmente por explosiones o por el equilibrado rápido entre una masa de gases a presión elevada y la atmósfera que la envuelve. Si la energía necesaria para la expansión del gas procede de un fenómeno físico, se dice que la explosión es física y se requiere que la materia se encuentre confinada en un recipiente estanco (estallido). Si la energía procede de una reacción química, se trata de una explosión química (explosión). En este caso, la explosión puede ocurrir aunque la materia no esté confinada.

Los efectos de la onda de presión pueden clasificarse como sigue:

1. Efectos primarios. Tienen su origen en las compresiones y expansiones del aire atmosférico que pueden producir fenómenos de deformación y vibratorios que afecten a las estructuras de los edificios e instalaciones y a los organismos vivos. En estos organismos vivos, los órganos que contienen aire, como los pulmones o los tejidos de densidad heterogénea o con oquedades, son más susceptibles de sufrir lesiones que, en algunos casos, pueden llegar a ser mortales.
2. Efectos secundarios. Tienen lugar cuando las deformaciones y tensiones dinámicas producidas superan las características de resistencia de las estructuras y éstas fallan. El fallo o rotura de las estructuras origina la formación de fragmentos que, por el impulso recibido de la onda de presión, actúan a su vez como proyectiles, cuyo impacto causa daños mecánicos adicionales. Deben distinguirse estos proyectiles de los que se originan a consecuencia de la fragmentación del recipiente derivada de un estallido del mismo.
3. Efectos terciarios. Consisten en los daños causados por el desplazamiento del cuerpo de seres vivos e impacto del mismo contra el suelo u otros obstáculos.

Fenómenos de tipo térmico: Son provocados por la oxidación rápida, no explosiva de sustancias inflamables, produciendo llama. Ésta puede ser estacionaria, como en el incendio de charco (o *pool fire*) o el dardo de fuego (o *jet fire*) o progresiva, pero en todos los casos disipa la energía de combustión mayoritariamente por radiación térmica.

La radiación, que puede afectar a seres vivos e instalaciones a cierta distancia, consiste en ondas electromagnéticas. La radiación originada por las sustancias en combustión, corresponde a la banda de longitudes de onda entre 0,1 y 1.000 μm , y se denomina radiación térmica. Su espectro y efectos dependen básicamente de la temperatura de la llama, de su forma geométrica y de la transmisividad del medio.

Si la materia sobre la que incide el flujo de radiación térmica no puede disiparlo a la misma velocidad que lo recibe, éste provoca un incremento de la temperatura de la misma. Si este incremento no se limita, se producen alteraciones irreversibles y catastróficas, que pueden culminar en la combustión o fusión y volatilización de la materia expuesta.

Fenómenos de tipo químico: Los fenómenos peligrosos de origen químico proceden de las características de toxicidad de las sustancias peligrosas cuando se produce una fuga o derrame incontrolado de este tipo de sustancias.

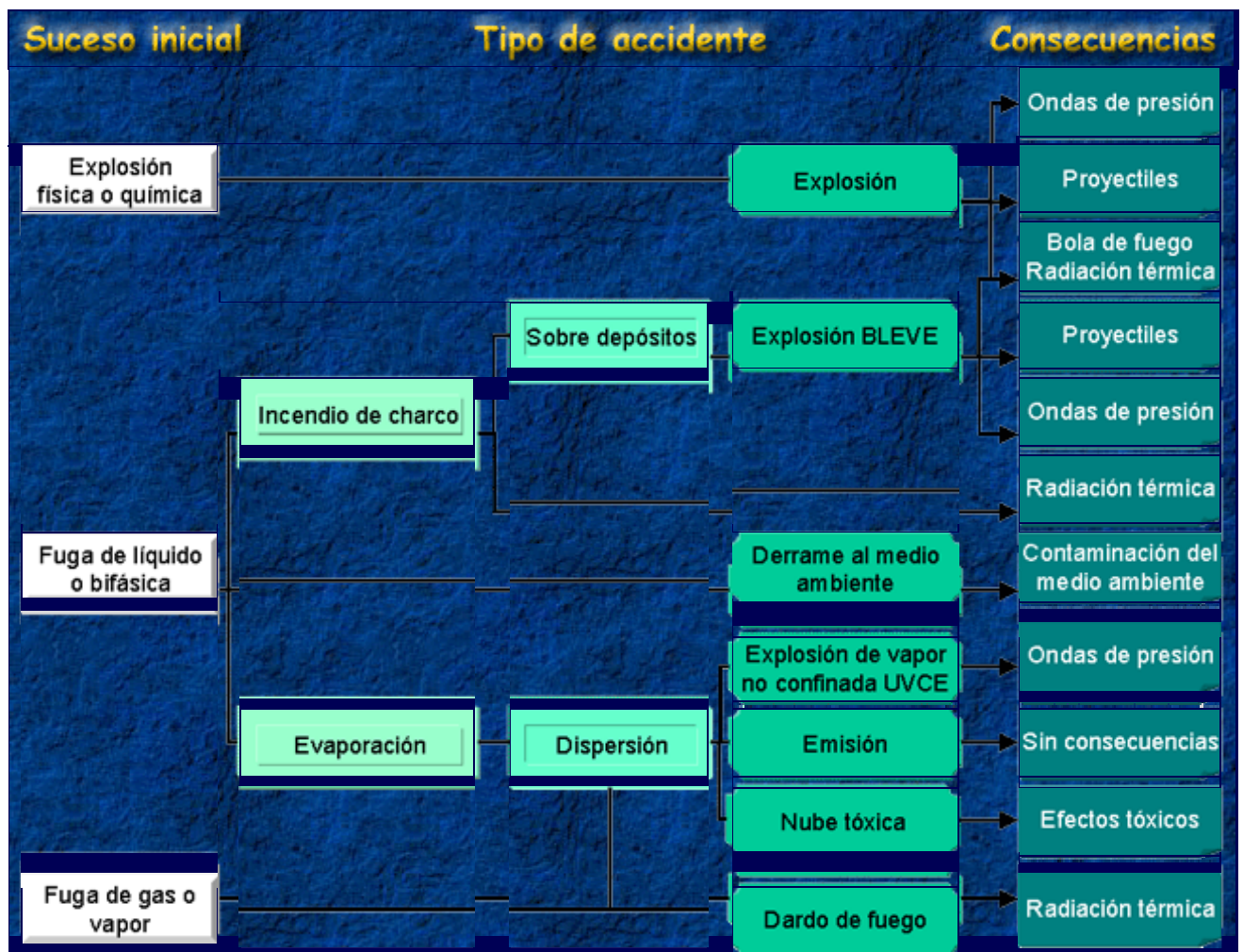
Estas sustancias químicas, directa o indirectamente, a través de reacciones secundarias inmediatas o diferidas, pueden ser:

1. Muy tóxicos o tóxicos para el hombre y otros organismos.
2. Irritantes, narcóticas u otras patologías asociadas.

3. Cancerígenas, mutagénicas y teratogénias.
4. Bioacumulables (alteración de la cadena trófica)
5. Corrosivas.
6. Peligrosas para el medio ambiente, perjudiciales para los valores paisajísticos y el patrimonio histórico-artístico del entorno.

La característica esencial de estas sustancias consiste en que, para producir una serie de consecuencias peligrosas para las personas o el medio ambiente, deben difundirse a través de un medio (aire, suelo o agua), lo que requiere que transcurra un determinado tiempo y, en ocasiones, permite la aplicación de medidas de protección más fácilmente que para los fenómenos térmicos y mecánicos. Sin embargo, también es más difícil predecir o conocer el desplazamiento de los contaminantes, su evolución, así como su eliminación total del medio al que se han incorporado. Para el conocimiento de estos fenómenos, se utilizan herramientas y modelos matemáticos muy sofisticados.

Todo lo relatado anteriormente puede verse de forma sencilla en el siguiente árbol de sucesos:



2.2 Probabilidad de un accidente

La probabilidad de un accidente puede ser determinada en términos precisos en función de las probabilidades del suceso inicial que lo genera y de los siguientes sucesos desencadenantes. En tal sentido, la probabilidad del accidente será más compleja de determinar cuanto más larga sea la cadena causal, ya que habrá que conocer todos los sucesos que intervienen, así como las probabilidades de los mismos, para efectuar el correspondiente producto. Los métodos complejos de análisis nos ayudan a llevar a cabo esta tarea.

La probabilidad de que ocurra un accidente en una instalación industrial depende, como ya se ha reseñado anteriormente, de multitud de factores, entre los que cabe destacar:

Características de proceso: Este elemento se refiere a las operaciones anormales o a las alteraciones de las condiciones normales de proceso que pueden dar lugar a acontecimientos que podrían conducir a situaciones peligrosas. Esto puede referirse a las paradas de emergencia o, simplemente, a las paradas de mantenimiento, en las cuales todos los sistemas de control y de protección se ponen en manual y la instalación queda “desprotegida”.

Los riesgos más comunes durante las paradas pueden ser:

- Incorrecto aislamiento del equipo que se va a intervenir.
- Errores de identificación de partes potencialmente peligrosas.
- No eliminación de riesgos potenciales, como errores en la inertización de equipos.
- Incumplimiento de procedimientos de mantenimiento.
- Baja calidad en los trabajos de mantenimiento.

Explosividad de las sustancias: Cada año tienen lugar en la Unión Europea más de 2000 explosiones de mezclas polvo/aire y gas/aire durante el almacenamiento y manipulación de materiales combustibles y/o inflamables. Por esto, uno de los aspectos más importantes en los últimos tiempos es la formación de atmósferas explosivas y la posible existencia de fuentes de ignición efectivas. Esto ha llevado al desarrollo de toda la legislación referente a ATEX.

Efecto Dominó: En el contexto de la evaluación de riesgos, especialmente en referencia a las industrias de proceso químico, se entiende por efecto dominó la concatenación de efectos que multiplica las consecuencias de un accidente, debido a que los fenómenos peligrosos que éste provoca (radiación térmica, sobrepresión, proyectiles, etc.) pueden causar accidentes secundarios y de orden superior en otras unidades del mismo establecimiento o de otros próximos.

El ejemplo más grave de los recientes tuvo lugar en una planta de procesamiento y distribución de LPG en San Juanico, un suburbio de México capital en noviembre de 1984. De acuerdo con las cifras oficiales, murieron 542 personas, resultaron heridas 4.248 personas y cerca de 10.000 perdieron su hogar. El desastre comenzó cuando se rompió una tubería de LPG de ocho pulgadas. El motivo de la ruptura no se conoce, pero se cree que hubo un sobrellenado en un tanque y una de las líneas de entrada se presurizó (no está claro por qué la válvula de seguridad no alivió la presión). La nube de gas cubrió un área de 200 por 150 metros antes de que se inflamara probablemente por una antorcha situada a ras de suelo. La nube de gas ardió, provocando un incendio cerca de una tubería rota y este incendio calentó la esfera de LPG. Se produjo una BLEVE que causó más daños, además de más BLEVE en cuatro esferas y quince

tanques cilíndricos durante la siguiente hora y media. Algunos de los tanques fueron proyectados hasta 1.200 metros fuera de la planta.

Estudios que se han realizado muestran cómo la probabilidad de que un accidente dé lugar a efectos dominó y cómo depende ésta de la naturaleza de la sustancia involucrada. Sobre una población de 207 accidentes ocurridos en países desarrollados, se ha detectado la presencia de efecto dominó en el 39% de los casos y de más de un efecto en el 16%. Estos porcentajes se elevan al 54% y 24% respectivamente, cuando los accidentes involucran combustibles líquidos o vaporizados.

Sistemas de prevención de accidente: Son aquellos elementos existentes para evitar la ocurrencia de accidentes/incidentes en las instalaciones. Los principales aspectos que deben cumplir los dispositivos de seguridad son:

- Ser eficientes y duraderos en toda la gama de adecuación a la regulación de los equipos.
- Que un dispositivo no limite inadvertidamente a otro.

Entre estos sistemas de prevención podemos nombrar: los procedimientos de operación y seguridad, el sistema de control de proceso, el sistema de enclavamientos, elementos mecánicos (como discos de ruptura o válvulas de alivio), etc.

Efectividad del sistema de inspecciones: Los programas de inspección (la combinación de métodos no destructivos como visual, ultrasónico, etc., usados para determinar la condición del equipo) varían en su efectividad para la localización y evaluación del daño, y por tanto, para determinar coeficientes de daño. Las limitaciones en la capacidad de un programa para mejorar la confianza en el nivel de daño resultan de la incapacidad de inspeccionar el 100% de las áreas sujetas a daño y a las limitaciones inherentes de algunos métodos de prueba para detectar y cuantificar daños.

La efectividad de un programa de inspección puede ser cuantitativamente expresada como la probabilidad de que un estado de daño observado represente el verdadero estado actual.

En el siguiente cuadro, se muestran las principales ventajas e inconvenientes de algunos ensayos no destructivos más comúnmente usados en la industria:

Ventajas END

Líquidos penetrantes	Partículas magnéticas	Ultrasonidos	Radiografía
<ul style="list-style-type: none"> - Relativamente simple de aplicar y controlar - Aplicable a materiales metálicos y no metálicos - No requiere equipos costosos 	<ul style="list-style-type: none"> - Relativamente simple de aplicar y controlar - Detecta discontinuidades superficiales y subsuperficiales - Puede utilizarse en materiales porosos y rugosos 	<ul style="list-style-type: none"> - Detecta discontinuidades en todo el espesor de la pieza - Puede utilizarse en cualquier tipo de material - Permite conocer la posición exacta del defecto interno 	<ul style="list-style-type: none"> - Permite ver el defecto - Puede utilizarse en cualquier tipo de material

		- Existencia actualmente de equipos portátiles	
--	--	--	--

Inconvenientes END

Líquidos penetrantes	Partículas magnéticas	Ultrasonidos	Radiografía
<ul style="list-style-type: none"> - Sólo detecta discontinuidades superficiales - No sirve en materiales porosos - Dificil utilización en materiales rugosos 	<ul style="list-style-type: none"> - No es aplicable a materiales no metálicos - Requiere conocimientos de magnetismo - Solo detecta discontinuidades perpendiculares al sentido de las líneas de campo magnético 	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere amplios conocimientos - Equipos relativamente costosos 	<ul style="list-style-type: none"> - No determina la posición del defecto a lo largo del espesor de la pieza - Requiere amplios conocimientos - Equipos costosos - Necesidad de cualificaciones especiales - Necesidad de condiciones específicas para su aplicación - Peligrosidad de las fuentes isotópicas

Gestión de la Seguridad: Se entiende por sistema de gestión, en sentido general, aquel conjunto de elementos interrelacionados que permiten establecer una política y unos objetivos y lograr su cumplimiento.

Hay muchos aspectos que son estructurados por sistemas de gestión:

- Calidad.
- Medio ambiente.
- Prevención de riesgos laborales.
- Seguridad.

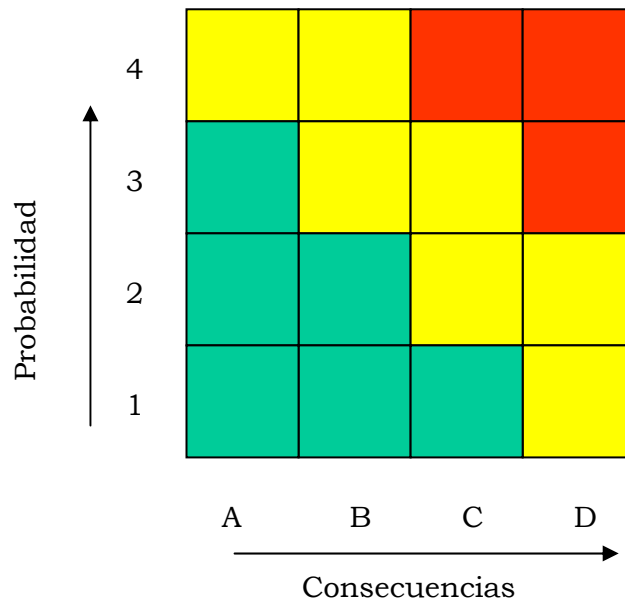
El argumento fundamental que muestra la importancia tan vital que tiene la gestión de la seguridad en las instalaciones industriales es la constatación de que más de un 85% de los accidentes ocurridos en dichas instalaciones tuvieron como causa principal fallos, directos o indirectos, en los sistemas de gestión de los riesgos, o bien la carencia absoluta de estrategia y organización para dicha gestión.

2.3 Riesgo

Como ya se ha comentado anteriormente, el riesgo es la combinación entre la probabilidad de que un suceso tenga lugar durante un periodo de tiempo dado y las consecuencias, normalmente negativas, que se derivan de ese suceso. En términos matemáticos, el riesgo se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Riesgo} = \text{Probabilidad} \times \text{Consecuencia}$$

Una vez obtenido el valor del riesgo, se pueden representar los resultados de formas muy diferentes. El fin último de estas representaciones consiste en hacer que la mayor cantidad de personas entiendan los resultados. La representación más utilizada, y por lo tanto, la que se va a estudiar a continuación es la matriz de riesgos.



Es una forma gráfica de expresar el riesgo sin necesidad de recurrir a valores numéricos. Cada punto de esta matriz representa un valor del riesgo caracterizado por una consecuencia y una probabilidad. Como se puede observar, ambas categorías se discretizan en cinco niveles cada una. A cada uno de estos niveles se les asigna una fila de la matriz, en el caso de las probabilidades de fallo, y una columna en el caso de las consecuencias. El orden de esta asignación se hace de la siguiente forma:

- Aumentando el nivel de la consecuencia de izquierda a derecha y
- aumentando la probabilidad de fallo de abajo hacia arriba.

De esta forma la celda de la matriz en la que se encuentran los puntos con mayor riesgo es la situada arriba a la derecha.

También se discretiza el riesgo en varias categorías caracterizadas por el color de las celdas. A cada una de estas categorías se le asigna un nivel de riesgo. Por lo tanto, si se decide que la matriz distinga entre tres niveles de riesgo, como en el caso de la figura anterior, la asignación sería la siguiente:

- Riesgo bajo (celdas de color verde),
- riesgo medio (celdas de color amarillo) y
- riesgo alto (celdas de color rojo).

Se puede emplear cualquier tamaño de matriz (4x4, 5x5, etc.), aunque cuanto mayor sea, más detallada será la discriminación que haga entre equipos con riesgo asociado distinto.

La matriz de riesgos se suele emplear principalmente en aquellos estudios en los que las valoraciones de la consecuencia y la probabilidad son de naturaleza cualitativa o semi-cuantitativa. También puede emplearse para representar los resultados de análisis cuantitativos perdiéndose la precisión del valor numérico del riesgo, pero ganando una mayor claridad a la hora de hacer interpretaciones.

3. PLANIFICACIÓN DEL SISTEMA DE INSPECCIÓN BASADA EN EL RIESGO

Una vez situado el equipo sobre la matriz a través del riesgo que lleva asociado llega el momento de enlazar las dos fases del proyecto: el cálculo del riesgo y la elaboración de un plan de inspecciones. En este apartado se va a concretar como repercute la situación del punto representativo del equipo bajo estudio sobre la matriz de riesgo.

Como se comentó en el apartado donde se describía la matriz de riesgos empleada, se va a distinguir entre tres niveles de riesgo:

- Nivel verde (riesgo bajo),
- nivel amarillo (riesgo medio) y
- nivel rojo (riesgo alto).

A continuación se va a indicar qué tipo de inspecciones se han de llevar a cabo dependiendo del nivel al que pertenece la celda de la matriz en la que se haya ubicado el punto que representa el equipo bajo estudio.

NIVEL VERDE

Sólo sería necesaria realizar el tipo de inspección y la periodicidad exigida por la legislación vigente.

NIVEL AMARILLO

En el caso de que el punto que representa el riesgo asociado al equipo bajo estudio esté situado dentro de una celda de color amarillo, será necesario realizar:

- las inspecciones asignadas al nivel verde, es decir, las exigidas por la legislación vigente.
- inspecciones externas del equipo en servicio con una periodicidad anual.

Tanto en uno como en otro caso se deberán llevar acabo todas las medidas necesarias para reparar o corregir los defectos o daños encontrados mediante dichas inspecciones.

NIVEL ROJO

Si el punto representativo del riesgo asociado al equipo bajo estudio se encuentra dentro de una celda de color rojo, se deberá realizar cuanto antes una inspección tanto externa como interna del equipo fuera de servicio.

A continuación se incluye una Tabla resumen con lo dicho en este apartado.

Nivel de riesgo	Tipo de inspección	Periodicidad de las inspecciones	Efecto sobre el cálculo del riesgo
Nivel verde	Exigida por legislación	Exigida por legislación	Ninguno
Nivel amarillo	Exigida por legislación	Exigida por legislación	Ninguno
	Externa del equipo en servicio	Anual	
Nivel rojo	Externa e interna del fuera de servicio	Cuanto antes	Reducción del riesgo

4. CASOS DE ESTUDIO

4.1 Reducción del riesgo y optimización del programa de inspecciones en una Unidad de Coquizado

En una Unidad de Coquizado se realizó un estudio RBI para determinar que equipos requieren inspección cada cuatro años, según venía reflejado en su programa de mantenimiento. El estudio se realizó evaluando todo el equipamiento en busca de una operación segura para los siguientes cuatro años y para evaluar el impacto del nuevo plan de inspecciones sobre el coste y el riesgo. El equipamiento cubierto por este estudio es el siguiente:

Tipo de equipo	Número de equipos	% del total
Columnas y botellones	66	10
Intercambiadores de calor	51	7
Segmentos de tuberías	571	83
TOTAL	688	100

La metodología de trabajo consistió en una recolección de datos, que incluyó entrevistas con personal de proceso, corrosión e inspección así como la revisión de toda la información

relativa a los equipos. El tipo de datos recogidos es información de proceso, historial de inspección y datos de diseños de equipos.

Los resultados del análisis de riesgo, combinados con buenas prácticas de inspección e ingeniería se usaron para realizar recomendaciones para el desarrollo del plan de inspecciones que reducirán el riesgo global de la unidad. En el estudio se incluyó:

- Identificación de los mecanismos de daños activos de los equipos de la unidad.
- Cuantificación del riesgo global de la unidad, probabilidad de fallo y las consecuencias de dichos fallos en cada equipo.
- Desarrollo de un plan de inspecciones detallando los métodos de inspección (ensayos no destructivos) y la cobertura para cada equipo en base al mecanismo de daños y al ratio de daño esperado.

Después de cuatro años se comprobó que la seguridad y la fiabilidad de la planta había mejorado redireccionando el dinero gastado en las inspecciones en los elementos de mayor riesgo. Como resultado, se eliminaron 43 equipos de la lista de elementos que tenían que inspeccionarse cada cuatro años y añadiendo 13 (los cuales presentaron un riesgo inaceptable que no había sido identificado previamente). Los costes generales ahorrados en tareas de inspección y mantenimiento fueron de \$225,000, obteniendo un beneficio/coste de proyecto de \$175,000 (ya que el coste del estudio fue de \$50,000).

4.2 Análisis coste/beneficio en una Unidad de Hidrotratamiento de Naftas

Al igual que en el ejemplo anterior, la Unidad de Hidrotratamiento de Naftas consta de 116 equipos, incluyendo reactores, intercambiadores de calor, botellones y tuberías. Los riesgos relacionados con las probabilidades y consecuencias de los fallos (pérdida de contención/fuga) se calcularon en términos de muerte de empleados, pérdidas de producción, daños a equipos y costes asociados a riesgos financieros.

Después de la realización del estudio, se llegó a la conclusión de que solo el 16% (19 equipos) de los 166 estudiados requieren una inspección para satisfacer el criterio de riesgo establecido para la unidad. Los planes de inspección diseñados incluyen inspecciones visuales, ultrasónicas, radiografías, de partículas magnéticas y pruebas de corrientes circulares.

Como resultado de la aplicación del plan de inspecciones entre los años 1998 y 2000, los equipamientos que pertenecían a la categoría de "Alto" riesgo se redujeron de 15 (12,93%) a 8 (6,9%).

Los costes de inspección relativos a la unidad se redujeron en \$108,334 al año y los costes de realización de estudio RBI fueron de \$30,000.

4.3 Sistema de tuberías de una refinería

El objetivo del estudio era incluir todas las tuberías de una refinería en un único programa de mantenimiento y comparar el programa que se obtienen mediante la metodología RBI con el convencional dado por la norma API 570.

La realización del proyecto fue la siguiente:

- Recolección de datos y evaluación del riesgo.
- Establecimiento de archivos de inspección.
- Estudios de proceso/corrosión.
- Inspecciones visuales y ensayos no destructivos.
- Actualización del riesgo en función de las inspecciones realizadas.
- Desarrollo de un plan de inspecciones de 10 años.

Los beneficios obtenidos son:

- El programa de inspección de tuberías se completó en menos de la mitad de tiempo que un programa diseñado por la API 570.
- Un programa de inspección establecido para todos los mecanismos de daños anticipados.
- El programa se implementó con un 90% menos de ensayos no destructivos.
- El programa cumple los requisitos de la API 570.
- Los ahorros futuros en costes de inspección estimados son de \$500,000 en los siguientes 15 años.