



Optimización de Estrategias de Mantenimiento: Proyecto MACRO¹

Resumen: La Gerencia Basada en Riesgo es uno de los paradigmas a explotar durante los siguientes años, pues busca eliminar la subjetividad de las decisiones, sin embargo la evaluación del riesgo no es un tema fácil de abordar, factores como falta de información, incertidumbre, aunados a elementos donde el riesgo varía con el tiempo, hace que las decisiones de Ingeniería sean difíciles de tomar. Trataremos de mostrar como un esfuerzo compartido de diversas empresas ha logrado generar una novedosa forma de tomar decisiones y está revolucionando varios campos industriales.

Trabajo Presentado en las Primeras Jornadas de Confiabilidad Operacional, organizadas por Universidad Simón Bolívar y Petróleos de Venezuela en Caracas año 2000.

Por: MSc. José Bernardo Durán

jduran@ieee.org

The Woodhouse Partnership Limited.

El Autor.

José Bernardo es consultor Senior Internacional, Ingeniero con Maestría en Ing. de Mantenimiento, labora para The Woodhouse Partnership Ltd (Firma de Consultoría Basada en Inglaterra), con cuentas en algunas de las empresas mineras y petroleras más importantes del mundo, donde a lo largo de seis países ha ayudado a ahorrar decenas de millones de dólares por disminución de costo/riesgo de sus operaciones. Él está trabajando en implantación y adiestramiento en las áreas de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, Gerencia de Riesgo Industrial, Optimización de Mantenimiento, Inspección Basada en Riesgo y Confiabilidad Operacional.

Las siguientes decisiones son de una naturaleza vital dentro de cualquier industria:

- Cuando hacer mantenimiento
- Cuando hacer inspecciones
- Cuando hacer la parada de planta
- Cuantos y cuales repuestos tener
- Cuando actualizar un equipo
- Cuando hacer un proyecto o idea sugerida
- A quien comprarle los repuestos críticos
- Etc.

Estas decisiones son de una importancia tal que un error en ellas puede ocasionar pérdidas de millones de dólares y en algunos casos puede ser la culpa de los colores de los saldos de fin de año (rojos?). Hasta ahora no habían herramientas, ni mucha literatura que dijera cuando hacer estas cosas.

Todos sabemos que si no cambiamos de automóvil cada cierto tiempo, que, a mediano largo plazo es más costoso mantener el auto viejo que hacer la inversión de comprar un auto nuevo. Pero a modo de ejemplo, quien se atreve a decir que

¹ Presentado en Diagnos 2000 (La Habana), IV Congreso Costarricense de Mantenimiento (Costa Rica 2000), 1^{as} Jornadas Confiabilidad Operacional (Caracas 2000)



llegó el momento de cambiar un equipo de 10 millones de dólares, si la reconstrucción del mismo vale 2 millones. Igual sucede con el mantenimiento industrial.

Normalmente en la operación de grandes complejos la toma correcta de estas decisiones, es un tema que hasta ahora se ha manejado basado en el “sentido común”, o en la experiencia del personal o en recomendaciones del fabricante, etc.

Para ilustrar como el sentido común falla, les relato una experiencia compartida por un supervisor de mantenimiento en un seminario dictado por mi persona para la industria venezolana:

Teníamos una parte de repuesto de valor considerable (5000 a 10000US\$). Esta había estado en almacén por más de 15 años, si ser usada jamás. En Venezuela como en otros países se deben pagar impuestos por los activos, un día el gerente decidió deshacerse de esta pues era un costo adicional considerable (según su opinión). Bien la pieza falló a los dos meses (han oído hablar de Murphy?). Esto costo tres meses de parada, pues había que mandarla hacer al extranjero. El costo total fue cientos de veces superior al costo de la tenencia del repuesto.

Bueno, se ha demostrado que el ser humano no esta capacitado para manejar por instinto gran mezcla de situaciones y cantidades y que el sentido común requiere de ayudas avanzadas para una más correcta toma de decisiones. Por dra parte el fabricante de los equipo no conoce las limitaciones, condiciones ambientales/laborales y los riesgos que poseemos en nuestras instalaciones, por lo tanto no es el más adecuado para tomar las decisiones.

Hay diversos campos muy grises en la toma de decisiones, algunos de ellos son representados por el valor de intangibles como lo son:

- Protección al medio ambiente
- Seguridad
- Imagen Publica
- Moral
- Cumplimiento con leyes
- Etc.

La típica respuesta de mantener el riesgo al mínimo no es buena, pues no hay quien pueda dar el valor de ese riesgo mínimo. Entonces hace falta una vía que nos permita decir cuanto podemos gastar para mantener esos factores y cuando deja de ser un buen negocio gastar dinero en los mismos, o al menos saber cuanto estoy gastando en los mismos.

Lo que hasta ahora he tratado de inculcar es la existencia de una gran oportunidad de mejoramiento en este campo.

Debido a esto en el Mar del Norte hace unos 5 años, un grupo de empresas y el gobierno Británico se unieron en un esfuerzo por desarrollar los métodos que permitieran una mejor toma de decisiones en estos campos de la ingeniería, este proyecto comenzó en 1995 y fue llamado MACRO Project, del cual The Woodhouse Partnership es el líder técnico.



Proyecto MACRO

Evaluación Costo Riesgo de Decisiones de Ingeniería

MACRO es un proyecto de más de US\$2MM multi industria, EUREKA EU1488, que está desarrollando guías y herramientas para una mejor solución de problemas y toma de decisiones. Este está uniendo los métodos técnicos de confiabilidad y análisis basados en riesgo con los factores económicos necesarios para identificar estrategias optimas. El método asistirá en la evaluación de, por ejemplo: proyectos menores, modificaciones de diseño, estrategias de mantenimiento preventivo y predictivo, intervalos de inspección, reemplazo de equipos o reconstrucción y estrategias de materiales. Proyecto: EEC Eureka Project EU1488

¿Quién está involucrado?

- Anglesey Aluminium
- Asset Performance Tools
- Brown & Root Energy Services
- Institute of Asset Management
- DNV
- Intevep
- National Power
- Shell Norway
- The National Grid Co*
- The Woodhouse Partnership*
- Websters Mouldings
- UK Government
- Yorkshire Electricity

Areas Apuntadas

Las fronteras del proyecto han sido elegidas para reunir las prioridades percibidas y el desarrollo de una base de tiempo. Sin embargo el rango de áreas de análisis a ser apuntado es amplio e incluye:

- **Análisis de Costos de Ciclo de Vida:** evaluación de proyectos, intervalos de reemplazo de equipos, extensiones de vida, control de cambio y evaluación de modificaciones.
- **Modelado del deterioro:** estrategias de mantenimiento preventivo, intervalos PM, evaluación de responsabilidades legales y de seguridad, evaluación costo riesgo ambiental.
- **Inspección y Monitoreo de Condiciones:** inspección, monitoreo e intervalos de prueba, puntos de reacción óptimos, análisis costo/beneficio del monitoreo.
- **Agrupado de Trabajo y Estrategias de Parada:** sectorizado óptimo de tareas y evaluación de oportunidades.
- **Materiales y Recursos:** Repuestos de baja rotación, consumibles, comparación de proveedores, pool de materiales y alianzas con distribuidores o usuarios.

Negociando con la decisiones Costo/Riesgo

Todas las áreas de MACRO involucran algún análisis costo/riesgo. Hay diversas presiones para gastar menos ya su vez obtener más (producción, disponibilidad, seguridad, etc.). El resultado normalmente es una decisión subjetiva (quien grita más?). Las compañías MACRO hallaron grandes diferencias entre las prácticas actuales y las optimas, descansando aquí una gran oportunidad de negocios. Se han demostrado mejoras promedios de un 10, 20 y hasta 30% cuando se toma la



decisión correcta, por otra parte de no contar con las herramientas las decisiones se toman más rápido pero se hacen las cosas erradas en un 10, 20 o 30%.

Objetivos en Conflicto

Gastar Menos

- Menos Costos de Mantenimiento
- Menos Costos de Operación
- Menos Tiempo Fuera de Servicio Forzado



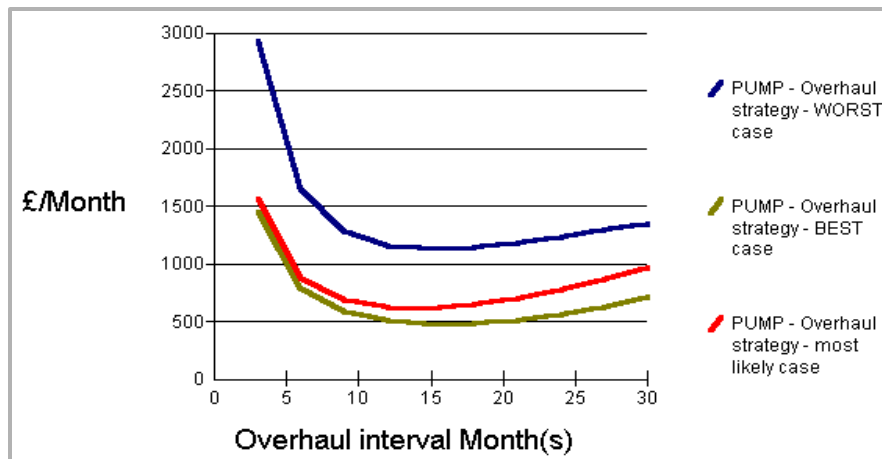
Alcanzar mas

- Mayor Confiabilidad
- Mejor Desempeño
- Mayor Vida
- Mayor Seguridad

Análisis de la Incertidumbre y falta de información

Una de los mayores avances del proyecto fue el desarrollo de métodos que permiten tomar decisiones. Esta es una de las causas por las cuales no se toman decisiones correctas y la dificultad en los análisis ha hecho que se analice superficialmente y se termine haciendo rápidamente las cosas equivocadas. Casi todas las decisiones del hombre son tomadas en base a información incompleta, sin embargo la sabiduría hace que las asunciones se acerquen más a la realidad. MACRO halló la manera de usar esa sabiduría encontrada en nuestros expertos. La gráfica muestra pruebas de incertidumbre.

Pruebas de Sensibilidad



Haciendo las Preguntas Correctas

Los expertos que colaboraron de las diferentes empresas hallaron la forma de extraer la información requerida para la toma de decisiones de la manera que la



gente que tiene la información la maneja diariamente, esto suena simple pero no lo es, solo pensar en como modelar la curva de la bañera, Weibull, etc. MACRO project consiguió evitar las complicaciones matemáticas en la manipulación de información.

Los Productos:

En adición a estos objetivos medulares, el proyecto emite un número de documentos que comprime las mejores practicas y estándares recomendados para el proceso de toma de decisiones. Este ya ha comenzado a investigar detalladamente el rango de métodos disponibles y las mejores practicas y estas han sido complementadas por soluciones innovadoras, donde no habían métodos adecuados disponibles. Los nuevos mecanismos son probados en el campo en un amplio rango de industrias, así que el adiestramiento asociado está basado en experiencias de la vida real. Todos los métodos y programas de computación permiten la evaluación del Impacto Ambiental, Seguridad, Brillo (moral, imagen publica, etc.) y la incertidumbre de la información.

Los productos pueden ser agrupados en:

- **Educación** (como entender los factores en conflicto y como cuantificarlos)
- **Guías de Procedimiento:** (que herramienta usar en cada caso)
- **Herramientas de Cálculo Costo/Riesgo:** Programas de computación que manejan las complejas matemáticas y permiten evaluación rápida de todos los escenarios)

Herramientas Disponible:

APT INSPECTION

Dentro del diagnostico o mantenimiento predictivo hay diversas tareas que no pueden hacerse en línea, algunas inspecciones como la medición de espesores de paredes de hornos, de tanques de petróleo, de análisis termográfico, etc. Cuya decisión de cuando debe ser realizada es de mucho valor económico. Algunas inspecciones obligan la parada de una planta hasta por varias semanas (enfriamiento y calentamiento) y su costo está por el orden de los millones de dólares. Por otra parte el no realizarla las inspecciones involucra un elevado riesgo, aparece la discusión típica sobre costos y riesgos.

Esta es la típica área del Proyecto MACRO el negocio costo riesgo.

EL APT INSPECTION viene a llenar el hueco de costo riesgo dejado por la Norma API 580 (Inspección Basada en Riesgo, no toma en cuenta los costos de la inspección y en realidad no optima), creada para la inspección de equipos estáticos petroleros y aumenta su poder al optimar los intervalos de inspección y hacerlos depender del riesgo asociado al intervalo de inspección, además de esto permite la evaluación de frecuencia optima de ensayo de equipos de protección, como equipos de reserva y protecciones eléctricas.

¿Como el APT INSPECTION Evalúa el intervalo de inspección?

Tomando en cuenta:

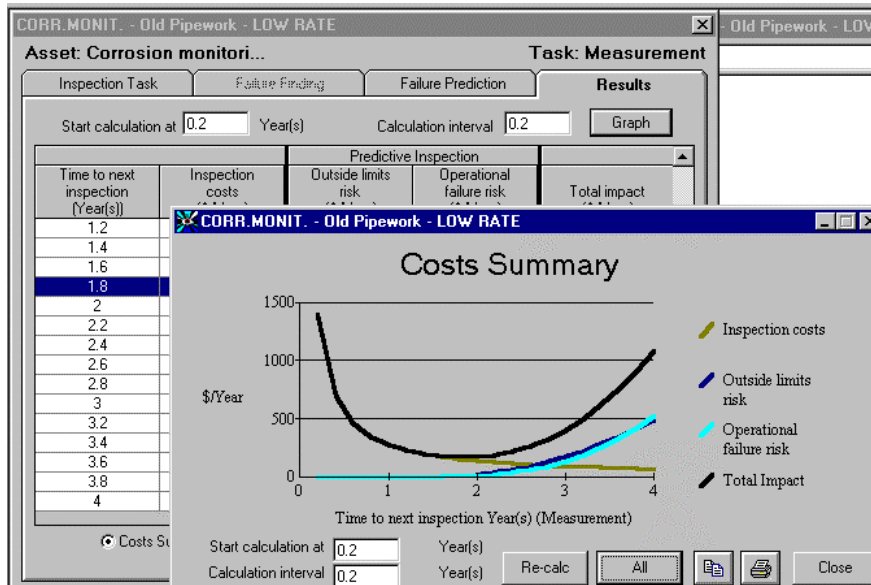
- Estado actual del equipo
- Precisión de la medida
- Límites de operación
- Punto de falla con su incertidumbre



- Tasa de deterioro actual con su incertidumbre
- Consecuencias de la falla de ocurrir
- Cualquier otro factor que afecte la decisión

Esta es la primera herramienta disponible globalmente para hacer mantenimiento basado en riesgo y condiciones.

Veamos una salida típica del programa:



APT-PROJECT

Evaluación Costo/Riesgo de Proyectos y Modificaciones.

APT-PROJECT es un conjunto de procedimientos ajustables para asegurar que las preguntas correctas sean hechas cuando los proyectos o modificaciones sean propuestos. Le ayuda a pensar en torno al negocio haciéndolo considerar costos y beneficios (en forma de rangos estimados). Interpretaciones del peor y mejor caso son usadas entonces para evaluar la viabilidad y urgencia del proyecto contra recursos disponibles y limitaciones externas (tales como obligaciones legales, etc.). La aproximación reconoce el papel de los beneficios "intangibles" y provee un método visible para evaluar el impacto en seguridad y los objetivos de bienestar.

APT-PROJECT posee los siguientes objetivos específicos:

- Base Lógica costo/beneficio para la aprobación de proyectos.
- Consistencia de tratamiento para diferir proyectos ampliamente.
- Capaz de ser usado aun cuando no hallan datos confiables.
- Identificación de datos que valen la pena ser investigados profundamente
- Registro visible de las bases de aprobación/rechazo de proyectos.
- Facilidad de ajuste del criterio de aprobación/rechazo
- Jerarquía y prioridad para proyectos aprobados u obligatorios.

Desarrollado sobre 8 años de uso practico. APT PROJECT ha probado ser una forma muy valiosa para asegurar asunciones, el uso seguro de rangos estimados y la base de u sonido empresarial para justificar gastos.

Contacto José Durán: jduran@ieee.org tel: 58-416-6742990.



En un solo caso, unos 1000 proyectos fueron evaluados en un periodo de 6 meses, 50% fue rechazado. Estos rechazos habrían pasado al menos a la fase ingeniería conceptual, con un costo mínimo de £5000 c/u, el ahorro total es de US\$4.0 millones.

APT-MAINTENANCE

Evaluación Costo/Riesgo de Mantenimiento Preventivo

Un componente clave del mantenimiento basado en riesgo es el uso de rangos estimados de datos en relación a patrones de fallas y consecuencias. APT MAINTENANCE es único en el calculo del impacto total al negocio de diferentes intervalos de mantenimiento, inspección o reemplazos, mientras combina gastos preventivos, detectivos y correctivos, costos de oportunidades perdidas y cualquier combinación de patrones de probabilidad o estimados.

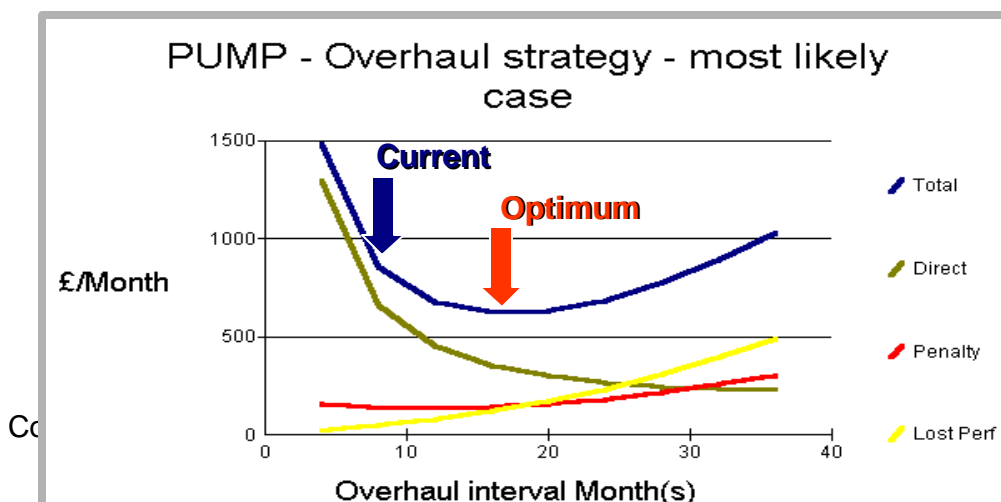
Los procedimientos y disciplinas fundamentales son, por supuesto críticos. Este tipo de aproximación numérica depende de una metodología segura para describir como el riesgo puede cambiar con el tiempo, y los rangos peores y mejores de posibles consecuencias de falla.

APT-MAINTENANCE calcula el mejor intervalo de mantenimiento preventivo o de reemplazo del activo, el punto de reparación contra el punto de reemplazo y un número de decisiones relativas. APT-MAINTENANCE describe como el riesgo, desempeño, vida útil, etc. cambian con la edad/mantenimiento/grado de inspección. Este cuantifica el negocio costo riesgo para identificar la combinación optima (rangos de peor/mejor casos de incertidumbre).

En un papel ¿Que pasa si?, APT-MAINTENANCE explora la dependencia de la decisión de un mantenimiento o reemplazo de un activo ante determinados ítems de datos. Esto revelará cuanto vale la incertidumbre y a partir de aquí cuanto vale la pena invertir en obtener la información adicional. Sorprendentemente, este usualmente revela lo opuesto a lo que se cree inicialmente, una robusta y demostrable conclusión puede ser hecha con el rango de datos que se posee.

Veamos un resultado, donde se observa la típica curva de costos de mantenimiento (pero la habían visto con dinero asociado?), donde podemos ver el punto optimo para la ejecución de la tarea, este punto es el de menor impacto total para la empresa.

Negociando el Costo-Riesgo





APT-SPARES

Evaluación Costo/Riesgo de repuestos de baja rotación

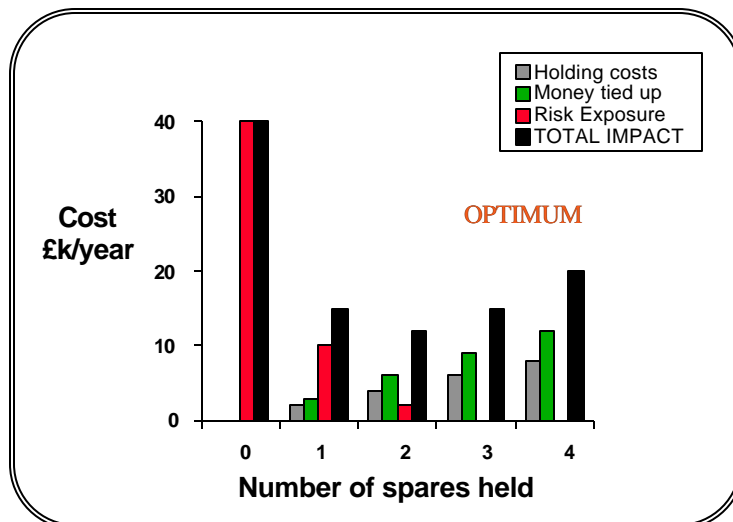
APT-SPARES le muestra a Ud. cuales repuestos tener y en que número. Este revelará las oportunidades para reducir el almacén o si el riesgo es inaceptable, cuantas partes deberían obtenerse. En ambos casos, las recomendaciones son basadas en costos claros y exposición al riesgo (expresada como *impacto total al negocio*).

Las conclusiones son completamente auditables (Ud. puede dar una mirada al porque la tenencia debería incrementarse/reducirse y al “¿Que pasa si?” para explorar la dependencia de por ejemplo la combinación del tiempo de entrega y los costos de compra, el tiempo fuera de servicio u otras penalizaciones incurridas por indisponibilidad del repuesto.

APT-SPARES es altamente flexible, programa basado en Windows. Es especialmente dirigido a la evaluación de repuestos de baja rotación, los ítems de “aseguramiento” que raramente son usados pero tienden a ser costosos y de largos tiempos de entrega. Estos repuestos son particularmente difíciles de justificar, basado inevitablemente en estimaciones del riesgo, los costos de propiedad y el impacto potencial de no tenerlos al ser requeridos.

De una manera única APT-SPARES le permite tomar en cuenta todos los factores y más, le permite explorar el impacto de diferentes asunciones y probar la sensibilidad a los rangos estimados.

El programa está diseñado para usar los estimados de futura demanda, tiempo de entrega, penalizaciones, vida útil, obsolescencia, oportunidades de reconstrucción y muchas otras posibles influencias. Este provee una visión de “pila” del listado total o examen ítem por ítem. Si no se posee una información específica, datos genéricos pueden ser preparados para suplir tiempos de entrega, criticidad, costos de tenencia, horas de operación y otra información.



El APT-SPARES provee una visión completa de los factores comercial, ingenieril y operacional que influyen en las decisiones de almacén. Usado en el modo “Que



pasa si?”, este puede comparar diferentes proveedores (con diferentes precios y disponibilidad) o diferentes sitios para mantener los repuestos.

En adición a los ahorros en costos directos que este alcanza, APT-SPARES es una educación, revelando los costos relativos de la sobre-tenencia y la sub-tenencia, la influencia de cada factor y el mejor compromiso entre costos de tenencia y riesgo.

El programa es el más robusto, completo y auditable tratamiento al tema hasta ahora desarrollado en cualquier parte del mundo.

APT LIFESPAN

Análisis de Ciclo de Vida, temporizado de reemplazo de equipos, reparación versus reemplazo, opciones de extensión de vida, diseños alternativos, combinaciones Capex/Opex, etc.

MACRO NAVIGATOR

Guía de decisiones sobre cual de los métodos del proyecto MACRO es aplicable a la situación en estudio, está realizado como una guía de pensamiento estructurado.

Optimando Paradas y Programas de Inspección y Mantenimiento

- ¿Como selecciona Ud. el tiempo correcto para parar una planta o proceso para mantenimiento, construcción u otro trabajo?
- ¿Cual es el mejor intervalo para una combinación de tareas que comparten acceso, transporte u otro costo “por ocasión”?
- ¿Cual trabajo debería hacerse agrupado en primer lugar?
¿Como Ud. investiga alternativas de agendas de trabajo, practicas de trabajo, efectos de temporadas o exposiciones al riesgo?

Nosotros ofrecemos un análisis único, completo y totalmente cuantificado para una parada de planta optima y estrategias de programación. Esto incluye una evaluación basada en riesgo de todos los posibles intervalos, alineaciones y eficiencias de programación. Un producto del proyecto de cooperación MACRO, el APT-SCHEDULE provee un análisis sofisticado y extremadamente rápido del ¿Que pasa si? De diferentes combinaciones de tareas, el compromiso de introducir programaciones juntas y las ventajas del costo y/o del tiempo fuera de servicio de dichas agrupaciones. Combinado con otras aplicaciones de las guías de mejores practicas de MACRO, esto ahora ofrece un programa total de Optimización basado en los costos de vida total del activo, confiabilidad, desempeño, regulaciones legales, ambientales y de seguridad y los “intangibles” o imagen publica/cliente, moral del empleado, etc.



Resumen de las herramientas MACRO y decisiones posibles:

Decision Type		MACRO module						
Cost/risk/performance evaluation of		PROJECT	LIFESPAN	MAINTENANCE	INSPECTION	SCHEDULE	SPARES	STOCK
Projects, Designs & Modifications								
<i>Cost/benefit analysis</i>								
Equipment upgrades		X	X	X				
Process changes		X						
Procedure changes		X						
Technology updates		X	X	X				
Efficiency improvements		X						
Problem priority/urgency		X						
Problem-solving efforts		X						
Investment paybacks		X						
Compliance requirements		X						
Public image/morale activities		X						
<i>Life Cycle & Asset Replacement</i>								
Equipment selection		X	X					
Vendor comparisons			X				X	X
Capex/Opex trade-off			X					
System configuration			X					
Repair vs Replacement			X	X				
Life extension projects			X					
Operating & Maintenance Strategy								
<i>Performance/Reliability/Longevity</i>								
Optimum efficiency profiles			X	X				
Optimum run lengths between shutdowns				X				
Reliability, efficiency & longevity combinations			X	X				
<i>Preventive Maintenance</i>								
Optimum PM intervals				X				
PM task evaluation				X				
PM opportunities				X				
Time vs usage based PM				X				
Optimum shutdown interval				X		X		
Repair vs Replace options			X	X				
<i>Predictive/Condition Monitoring</i>								
Inspection & CM intervals					X			
CM cost/benefit justification					X			
CM methods & performance					X			
Function testing intervals					X			
Failure finding inspections					X			
Safety risk exposures					X			
<i>Work Scheduling & Shutdowns</i>								
Optimum timing and intervals						X		
Work groupings						X		
Evaluation of Opportunities				X	X	X		
Scheduling and task alignment						X		
Spares & Materials								
<i>Insurance/slow moving spares</i>								
Stock holding levels							X	
Whole units vs components							X	
Shared or dedicated							X	
Supplier A vs Supplier B							X	
Pooled access contracts							X	
Supplier held spares							X	
Spares criticality							X	
Optimum availability							X	
<i>Consumables, stock, materials</i>								
Optimum stock levels								X
Min/Max stock levels								X
Reorder quantities								X
Reorder cycles								X
Supplier A vs Supplier B								X
Pooled access contracts								X
JIT/Supplier-held stock								X
Optimum availability								X
Storage requirements								X

Casos Estudio Proyecto Macro:

Casos Específicos

UK Power Supply:

Un estudio de temporizado óptimo de parada de planta arrojó un ahorro de US\$7 millones al año.

PDVSA E&P Occidente

La toma de decisiones basada en el esquema Costo/Riesgo/Beneficio en la búsqueda del máximo beneficio para el negocio, generó en el año 2001 beneficios superiores a los US\$200 millones en disminución de costo y riesgo asociado a actividades de mantenimiento.



Se abordó el estudio de la limpieza fuera de línea de los compresores axiales, debido a la acumulación de sucio en los mismos, esto ocasiona pérdida de eficiencia y mayor consumo de gas, el resultado arrojó la frecuencia optima de limpieza y generó ahorros de mas de US\$400.000 al año por disminución de consumo de combustible.

Casos Generales

Proyectos y Evaluación de Reemplazo de Activos:

- Mas de 400 propuestas filtradas en seis semanas. Eliminando más US\$4 millones de gastos injustificables y jerarquizado de inversiones de negocios, seguridad, ambiente y bienestar.
- Evaluación por costo/beneficio del presupuesto total de la refinería más grande del mundo, reduciendo el tiempo de evaluación de 8 horas a 30 min. e incrementando la calidad/verificabilidad de las justificaciones.
- Cancelación de un proyecto de actualización de materiales de US\$1 millón que no se pagaría por si mismo.

Estrategias de Operación y Mantenimiento

- Políticas de overhaul optimas para turbinas de gas, breakers de alta tensión, bombas, compresores, vehículos, instrumentos y equipos estáticos.
- Estrategias de prueba de dispositivos de protección eléctricos, mostrando una justificable reducción del 50%.
- Optimado de frecuencia de inspección de postes de electricidad en Inglaterra, ahorros de un 90% sobre la política actual.
- Programas de monitoreo de corrosión, mostrando una reducción en factor 10 en función del riesgo involucrado.
- Optimado de eficiencia de intercambiadores de calor, compresores y turbinas (US\$400.000/año de ahorro de gas en PDVSA): cambios radicales en el desempeño por la combinación optima de estrategias de limpieza y parada.

Repuestos y Materiales

- Shell Capsa: reducción del 70% del almacén sugerido por distribuidores, con una reducción del riesgo del 98%, y con un factor de reducción del riesgo contra inversión inicial de repuestos de 14, es decir 10 dólares invertidos en almacén reducen el riesgo en 140\$/año.
- Almacenes reducidos en un 60% general sin impacto en el riesgo.
- Pozos petroleros en mar del norte: repuesto critico comprado con justificación vs. instintos que decían no comprar evitó consecuencias superiores a US\$ 1millón.
- Caso similar al anterior en mina Sudafricana y Argentina, disminuyó riesgo en más de US\$ 1millón en cada una.