




Por **Víctor Borgez** (DNV GL)

Este trabajo plantea el uso del análisis RAM al administrar los gastos de una planta de procesos, ya que permite tomar decisiones informadas y reducir la incertidumbre respecto del comportamiento de la producción, la cual ayuda a predecir con mayor exactitud.

La administración de los gastos de una planta de procesos es una tarea compleja. La inversión total es una combinación del costo inicial, específicamente de las inversiones en bienes de capital o CapEx, y los costos de la actividad, los gastos operativos u OpEx.

Las inversiones en bienes de capital (CapEx) se basan generalmente en las inversiones en obras, en la compra de materiales y paquetes de equipos –como se podrán imaginar, estas cifras pueden oscilar fácilmente entre algunos cientos de millones de dólares y algunos miles de millones de dólares–. Los gastos operativos (OpEx) se calculan normalmente en



La gestión de las inversiones y el ciclo de vida de los activos

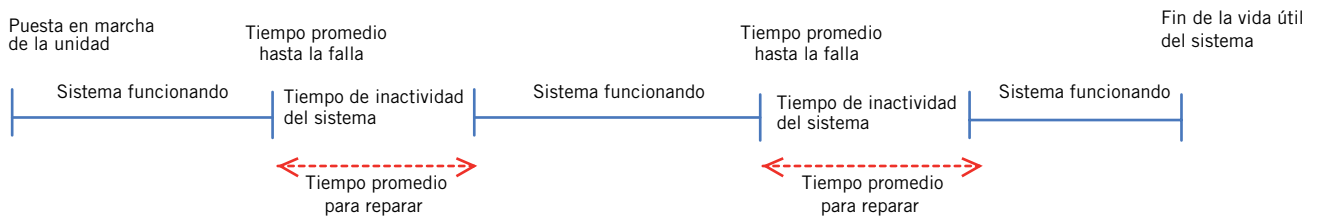
base a los costos de mantenimiento, al suministro de las empresas de servicios públicos (energía, agua y gas) y a la fuerza de trabajo, entre otros. Teniendo en cuenta que una gran parte de los gastos de mantenimiento se basan en fallas (la otra parte se basa en inspecciones y mantenimiento planificado) y las fallas ocurren de manera aleatoria, esta variable se convierte en algo bastante difícil de estimar.

CapEx y OpEx están directamente relacionados, por lo tanto, es indispensable encontrar el equilibrio. Consideremos un sistema de exportación de petróleo donde tenemos una única bomba disponible. Si esta bomba fa-

lla, el sistema no puede funcionar, o sea, no se puede exportar petróleo. ¿Qué deberíamos sugerir? La compra de otra bomba y el diseño del sistema en redundancia. Esto impactará directamente en las inversiones en bienes de capital, pero también en los gastos operativos. Al agregar otra bomba, el número de fallas posibles del sistema se duplica y los gastos de mantenimiento podrían haberse duplicado también. La probabilidad de que las dos bombas se encuentren fuera de servicio al mismo tiempo es bastante baja, se garantiza la entrega del producto; sin embargo, ¿qué podemos decir acerca del costo extra asociado a

la bomba adicional?

El análisis de Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad (RAM, por sus siglas en inglés) puede emplearse para estimar estos gastos con precisión y combinarlos con los ingresos por la entrega de productos a fin de obtener un panorama financiero general. Esto brinda al analista una herramienta poderosa para optimizar la configuración del diseño y las estrategias de mantenimiento. Asimismo, ayuda a encontrar el equilibrio entre CapEx y OpEx y los cambios que serán efectivos mediante la clasificación de las opciones con una mayor rentabilidad de la inversión (ROI).



En este artículo se presenta la importancia del análisis RAM en la gestión del costo del ciclo de vida de un proyecto. Además, se expone un caso práctico que muestra los beneficios.

Importancia del análisis RAM

El análisis RAM es utilizado normalmente para predecir el rendimiento de los sistemas de procesos y proporcionar una base para la optimización de dichos sistemas. La naturaleza del análisis RAM variará conforme el propósito del estudio y el alcance del trabajo. Sin embargo, en la mayoría de los casos, el análisis RAM se utiliza

para predecir la disponibilidad del sistema e identificar las formas de mejorar dicha disponibilidad, teniendo en cuenta tanto las fallas de los equipos como los factores de mantenimiento. Generalmente, la secuencia de los eventos debería seguir una línea de tiempo como la siguiente:

En la industria del petróleo y del gas, el análisis RAM se usa para pronosticar la eficacia de la producción de los campos de petróleo y de gas teniendo en cuenta la configuración del sistema, las diversas estrategias de mantenimiento y, en especial para este mercado, los obstáculos operativos. Mediante el agregado del factor de funcionamiento ampliamos el enfoque tradicional, permitiendo a los

analistas combinar una metodología poderosa y comprobada con sus conocimientos técnicos especializados sobre el comportamiento operativo del sistema, respaldando el desarrollo y el funcionamiento efectivo de cualquier activo.

Los beneficios de realizar un análisis RAM son los siguientes:

- Optimización de la configuración del diseño, la estrategia de mantenimiento y los procedimientos operativos.
- Reducción de los costos de mantenimiento y de los costos extra, mientras se mantienen y/o aumentan los niveles de producción.
- Clasificación de las oportunidades de inversión de capital y



respaldo al proceso de toma de decisiones en base a los ingresos.

- Disminución de la duración de los cortes de energía eléctrica planificados y no planificados.
- Alineamiento de los recursos de mantenimiento en base a la criticidad de los equipos en los ingresos por producción.
- Pronósticos exactos de los costos del ciclo de vida de los equipos que reflejan su edad, el ciclo de vida y la eficacia del mantenimiento.
- Definición de los niveles de confiabilidad para sistemas específicos. Se pueden usar modelos para estimar la frecuencia de las fallas de un determinado sistema y equipo, que luego se pueden comparar con las expectativas. Si los niveles de confiabilidad pronosticados no son los esperados, se pueden realizar cambios de diseño y de selección de equipos para aumentar la confiabilidad.
- Análisis del Costo del Ciclo de Vida (LCC, por sus siglas en inglés). Se usa para determinar el costo total del activo de petróleo y de gas durante toda la vida útil. El análisis RAM se usa para estimar la frecuencia de las fallas y, por lo tanto, el costo de mantenimiento estimado.

En síntesis, el análisis RAM puede usarse para respaldar el proceso de toma de decisiones en relación con la configuración del diseño, la estrategia de mantenimiento y la política operativa.

Red de flujo

La posibilidad de incorporar al análisis una red de flujo aumenta sus capacidades y aborda los escenarios que generalmente no pueden ser administrados mediante el análisis RAM genérico.

El análisis RAM genérico se centra en la estimación del tiempo en que el sistema no se encuentra disponible para la industria del petróleo y del gas, esto no es suficiente. Al agregar una red de flujo e integrar tasas de producción al sistema, la metodología puede explicar los estados de deterioro y las operaciones típicas, como logística, mecanismo de impulsión y operaciones de quema (donde las fallas en los equipos relacionados con el gas se evitan mediante la quema del gas). Por lo tanto, el resultado final es una estimación del volumen adicional a producir: en este caso es probable que se produzcan de 100 bbls (barriles adicionales de petróleo por día).

Esto es particularmente importante para el sector de la exploración y la producción (*upstream*), donde el análisis puede ampliarse para incluir los datos del reservorio –tasas de producción para las líneas de producto individuales, petróleo, gas y agua– a fin de estimar la producción potencial para un campo petrolero en particular o para un único pozo. Por consiguiente, en lugar de simplemente proporcionar información básica de tiempo de funcionamiento (*uptime*) versus tiempo de inactividad (*downtime*), la eficacia de la producción controla

la cantidad de pérdidas de producción durante la vida útil del sistema y cuantifica la eficacia dividiendo la producción real por la producción potencial. Este resultado, combinado con el flujo variable de tiempo desde múltiples fuentes, se convierte en una métrica muy poderosa.

Si alineamos este enfoque poderoso con cálculos financieros, llevaremos la metodología a otro nivel. Si podemos estimar el precio del producto y definir la tasa de descuento, podremos calcular el Valor Actual Neto (VAN). El VAN se detalla más adelante.

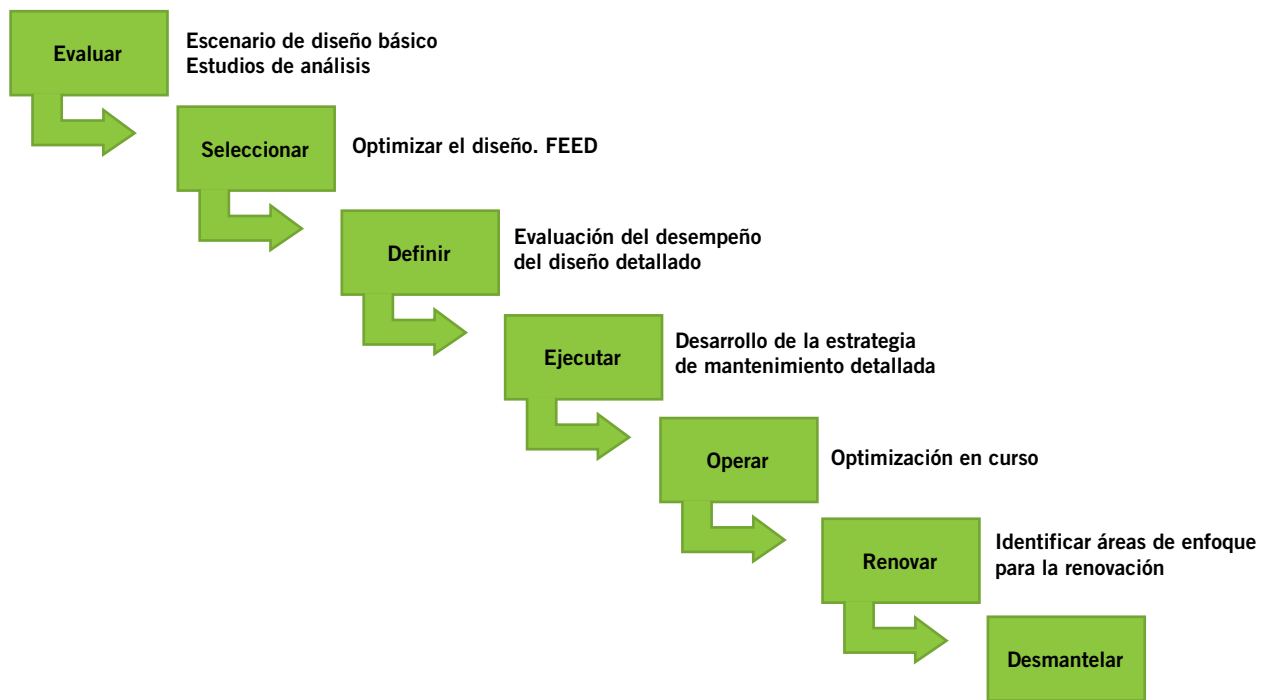
Respaldo del ciclo de vida del proyecto

Para respaldar las decisiones que deben tomarse en cada una de las diferentes etapas se puede utilizar el análisis durante el ciclo de vida del proyecto.

A continuación se detalla los beneficios para cada etapa.

Diseño conceptual. Etapa preliminar donde se realiza la descripción del sistema propuesto en términos de una serie de ideas y conceptos integrados. El resultado es la generación de muchos conceptos de diseño que son respaldados para evaluar la factibilidad de cada alternativa conceptual. El análisis RAM permite una revisión rápida de diversas opciones de desarrollo para evaluar la pertinencia desde una perspectiva funcional y comercial de los diseños propuestos.

Etapas de Ingeniería Básica extendida (FEED), por sus siglas en



inglés). Una vez seleccionada la cantidad de opciones, se puede realizar un análisis más detallado para elegir la configuración de los equipos principales. En esta etapa, se toman las decisiones más importantes con respecto al concepto y se realizan planes para el proyecto. Desde el punto de vista del análisis RAM, es en la etapa FEED donde la aplicación del análisis se vuelve más eficaz. Se pueden incorporar fácilmente cambios al proyecto, ya que todavía estamos en la etapa de planificación.

Desde la perspectiva de la inversión, esta es la etapa donde los posi-

bles ahorros son mayores. Se pueden eliminar las redundancias (o repeticiones) innecesarias y se pueden evaluar los puntos críticos del sistema.

Ingeniería de Detalle. La Ingeniería Básica Extendida (FEED) conduce a la creación de los documentos de diseño iniciales; por ejemplo, los diagramas de flujo de procesos (PFD), Diagramas de proceso e instrumentación (P&ID), las listas de equipos y hojas de datos. Una vez concluida la etapa FEED, se especifica un diseño mucho más detallado para el sistema. En esta etapa, las preguntas son mucho más específicas.

El análisis RAM garantiza que el diseño del sistema cumple con los objetivos de desempeño requeridos.

Desde la perspectiva de la inversión, se pueden seleccionar equipos de diversos proveedores e incorporar al sistema una combinación de confiabilidad y costos encontrando así el equilibrio óptimo.

Ejecución. Con la identificación de elementos críticos y los obstáculos en el sistema, se pueden usar los resultados de un estudio RAM para alimentar otras metodologías, como la Inspección Basada en Riesgos (RBI, por sus siglas en inglés) y el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM, por sus siglas en inglés). Posteriormente con el resultado de los procesos RBI y RCM puede alimentarse nuevamente al modelo para proporcionar un escenario final del rendimiento del sistema.

Etapa operativa. Durante esta etapa, no es económicamente rentable tomar decisiones con respecto al diseño. Sin embargo, el análisis RAM también puede usarse para evaluar el impacto de las modificaciones planificadas. La evaluación más común durante la etapa operativa está relacionada con la filosofía de mantenimiento que, básicamente, hace referencia a la cantidad de repuestos, al tiempo de reposición de existencias y al personal disponible. Siempre existe una compensación (*trade-off*) entre los costos



de producción perdida *versus* los costos de mantenimiento.

Además, se puede crear una tendencia de rendimiento en base al resultado de las actualizaciones continuas del análisis. Esto podría representar un rendimiento adicional si las áreas de interés son abordadas directamente.

Renovación. Para los sistemas maduros, a medida que continuamos preguntando sobre nuestros activos deteriorados (*ageing assets*), el análisis RAM ayuda a encontrar áreas potenciales para la renovación o la ampliación de la vida útil de la instalación. Se pueden aplicar muchos casos sensibles a un modelo de sistema maduro, lo que indicará varias opciones de renovación y la cuantificación de ganancias potenciales.

Desmantelamiento. Eventualmente, debido a la cantidad de variables en un desarrollo de petróleo y de gas, no es fácil identificar en qué punto los gastos operativos superan los ingresos y hacen que el sistema ya no sea económicamente viable. Mediante el modelado de todos los comportamientos dinámicos de un sistema, el análisis RAM ayuda a evaluar la viabilidad de las estrategias de desmantelamiento.

Inversiones en bienes de capital y gastos operativos

Al examinar el análisis financiero en la industria del petróleo y del gas, lo primero que nos viene a la mente es la inversión total para construir una planta de proceso, las inversiones en bienes de capital (CapEx). ¿Cuál es el motivo? En efecto, CapEx contribuye enormemente con las inversiones en los activos de petróleo y de gas y, como estas inversiones se realizan normalmente en los primeros años, podemos sentir que se trata de la inversión más grande en el activo.

Para obtener una perspectiva respecto de las cantidades de dinero, cuando nos referimos a CapEx en la industria del petróleo y del gas, las cifras pueden fácilmente cruzar la barrera de unos pocos miles de millones de dólares. Por ejemplo, si tomamos el informe más reciente sobre presupuestos de CapEx de Barclay (NYSE:BCS), se espera que el sector energético invierta alrededor de



USD 723 mil millones en esfuerzos de exploración y producción (E&P) en 2014. Esto representa casi un 6,1% de aumento comparado con los gastos CAPEX totales correspondientes al 2013 y, por primera vez, cruzará la marca de los USD 700 mil millones.

Es sumamente importante optimizar el uso de esta inversión para garantizar la rentabilidad del activo. Desde el punto de vista de la entrega del producto, en una situación ideal, deberíamos tener redundancia en cada sistema posible. Sin embargo, eso no es factible en términos financieros. Por lo tanto, el ingeniero de diseño debe optimizar la cantidad de redundancias presentadas en el sistema y reducir el costo garantizando el nivel objetivo de confiabilidad y disponibilidad.

Otro factor particularmente importante son los gastos operativos u OpEx, que pueden ser potencialmente mayores comparados con la inversión en bienes de capital o CapEx. Al calcular los costos de la actividad de una planta de procesos, deberíamos considerar los costos de mantenimiento y el suministro de las empresas de servicios públicos (energía, agua y gas, entre otros). Ahora bien, si consideramos que calculamos estos gastos sobre la vida útil de la empresa y la duración de una planta de procesos puede ser de 15 a 20 años aproximadamente, los gastos OpEx son, en general, una cifra mucho mayor comparada con CapEx.

CapEx es normalmente una variable conocida: la inversión en la

compra de equipos y la construcción de las instalaciones. El desafío es la estimación de los gastos OpEx, que son variables porque las fallas ocurren inesperadamente. Los gastos operativos se basan en el hecho de que ciertas fallas podrían requerir una serie de recursos de mantenimiento, por ejemplo, repuestos y fuerza de trabajo. Los servicios públicos como el suministro de energía, gas y agua también dependerán de la disponibilidad del sistema; por ejemplo, si el sistema no se encuentra disponible, habrá una interrupción del suministro de gas.

Métodos para la estimación de gastos

Existen dos técnicas para estimar los aspectos financieros de un activo de petróleo y de gas: el enfoque tradicional que usa técnicas de cálculo estático o las técnicas de simulación dinámica, ambas presentan beneficios.

El cálculo estático utiliza tasas de consumo constante de los recursos de mantenimiento (repuestos) y de los servicios a fin de determinar los costos operativos de los activos en el desarrollo del petróleo y del gas. Esto da como resultado un panorama general del costo durante la vida útil del activo, presenta una solución simple que puede usarse como punto de partida.

El uso de técnicas de simulación dinámica permite estimaciones teniendo en cuenta los cambios continuos del estado del sistema sobre su

expectativa de vida. Se toma en cuenta la funcionalidad del equipo, los distintos modos de falla de los componentes y las consecuencias, eventos lógicos, filosofía de funcionamiento y de mantenimiento, disponibilidad de los servicios y del personal, estado del almacenamiento en memoria intermedia. Obviamente, cualquier intento de calcular los gastos con este grado de complejidad mediante métodos determinísticos (es decir, cálculos estáticos) es virtualmente imposible.

La estimación del gasto total es una suma simple de los diferentes gastos que se puede resumir de la siguiente manera:

$$\text{Gastos totales} = (\text{Capex}) + (\text{Opex})$$

Como se mencionó, la inversión en bienes de capital (CapEx), es normalmente conocida y es un valor fijo. La variable difícil de estimar son los gastos operativos (OpEx), que normalmente se basan en fallas/disponibilidad de los servicios.

Para el cálculo estático, asumiríamos una tasa de falla constante para una cantidad de sistemas y un tiempo de reparación constante (tiempo de inactividad) para cada uno de estos sistemas. Esto permitiría una estimación simple de los gastos OpEx.

Cuando se usan técnicas de simulación dinámicas, se producen cambios, por ejemplo, en datos de reservorio potencial, frecuencia de

las fallas, disponibilidad de los servicios, disponibilidad de los recursos de mantenimiento, variación de los tiempos de reparación, demandas estacionales e impacto climático al realizar las reparaciones. Este enfoque permite también al analista dar cuenta de las variaciones en el valor de la moneda en los años pronosticados, tasas de descuento, intereses, etcétera.

Otro aspecto importante de la industria del petróleo y del gas son los contratos de entrega de productos. En general, los operadores del sector del petróleo y del gas tienen contratos de entrega de productos que cumplir. La simulación dinámica permite que la metodología rastree la cantidad de contratos que se perdieron cuando no se cumplieron los objetivos de producción. Así, los contratos perdidos pueden asignarse a una multa y el costo total de perderlos puede ser cuantificado.

El cálculo financiero se puede ampliar para incorporar los precios de los productos, lo que permite una estimación de los ingresos producidos. Con los ingresos se puede calcular el Valor Actual Neto (VAN), figura financiera que permite comparaciones entre diferentes proyectos, usando todos los flujos de fondos del proyecto y ajustándolos a sus valores actuales mediante la aplicación del factor de descuento apropiado. Entonces, los proyectos pueden ser directamente

comparables. Si el valor actual de los ingresos de fondos supera aquellos valores de los egresos una vez aplicada la tasa de descuento seleccionada, el proyecto mostrará una rentabilidad de la inversión positiva en términos de flujo de fondos y cuanto mayor sea el valor, mejor será. Sin embargo, si el VAN es negativo, la rentabilidad del proyecto es menor que los egresos y, por ende, se debería tratar de minimizar el VAN.

Existen dos opciones cuando se calcula el VAN: el VAN negativo o el VAN estándar. El VAN negativo representa la pérdida potencial de ingresos, mientras que el VAN estándar detalla la ganancia.

El cálculo del VAN debería dar cuenta de lo siguiente:

Tasa de Descuento Anual.

Se debe determinar una tasa de descuento anual en forma de porcentaje. Esta relacionará el valor, en términos financieros, de una suma futura a su valor actual.

Inversión en bienes de capital. La inversión inicial de capital desembolsada al inicio del Proyecto y cualquier otro gasto incurrido durante la duración del proyecto.

Gastos operativos. Este factor consiste en el costo en tarifas diarias de los recursos usados, así como también consiste en los costos de movilización/desmovilización incurridos por su uso.



$$\text{VAN estándar} = \left(\sum_{t=1}^N \left(\frac{PP}{(1+i)^t} \right) (\text{producción anual}) \right) - (\text{CaPex}) - \left(\sum_{t=1}^N \left(\frac{PP}{(1+i)^t} \right) (\text{OpEx}) \right)$$

$$\text{VAN negativo} = (- \text{CaPex}) - \left(\sum_{t=1}^N \left(\frac{PP}{(1+i)^t} \right) (\text{OpEx}) \right) - \left(\sum_{t=1}^N \left(\frac{PP}{(1+i)^t} \right) (\text{pérdida de producción anual}) \right)$$

Precio del Producto. Representa el resultado o beneficio cuando se calcula el VAN. Al definir el precio del producto, el analista debe estipular un precio inicial por unidad, en la moneda determinada (por ejemplo, USD 120/bbl), y cualquier cambio que se produjese en este precio durante un período de tiempo específico.

El VAN (Khan, 1993) debería presentar el valor del flujo de fondos descontado nuevamente a su presente valor o bien al precio del producto (PP) estimado actual. El flujo de entrada de efectivo y el flujo de salida de efectivo se suman y entonces el VAN es la suma de los términos siguientes:

Donde:

- t es el año de referencia
- i es la tasa de descuento
- PP es el precio del producto

Caso práctico

Una plataforma *offshore* de producción de petróleo diseñada para operar en aguas poco profundas en forma remota a través de procesos au-

tomatizados y sin la presencia de personal. Este tipo de plataforma requiere de una estrategia de mantenimiento singular cuya eficacia puede verse muy influenciada por diversos parámetros, como los tiempos de viaje, la limitación de los recursos de mantenimiento, el tiempo de movilización y las prioridades en las reparaciones.

El modelo consiste en una plataforma *offshore* con 4 (cuatro) pozos petroleros y 1 (uno) sistema de inyección de agua. El flujo esperado de petróleo de cada pozo es de 12.000 bbls (barriles por día) (figura 1).

- Todo el flujo proveniente de los pozos converge en la plataforma normalmente sin personal, operada de manera remota (NUI, por sus siglas en inglés) atravesando un sistema de inyección de agua.
- Todos los pozos tienen un sistema similar que incluye válvulas y tuberías. Cada 6 (seis) meses se lleva a cabo una inspección planificada de la válvula de seguridad de fondo de pozo (SSSV).
- La plataforma NUI consta de diferentes sistemas, por ejemplo, el

sistema de separación, el sistema de agua salada, el sistema de telecomunicaciones y la unidad de generación de energía.

- Cada vez que existe una falla que conduce a una parada total, la plataforma NUI debe reiniciarse manualmente.
- El personal de mantenimiento viaja en helicóptero para reparar las fallas. Existe un mantenimiento no programado para abordar las fallas críticas de producción y visitas semanales programadas para abordar las fallas que no son críticas.

Cada pozo tiene su propio perfil de producción (el perfil de producción total de cada pozo se muestra en la figura 2).

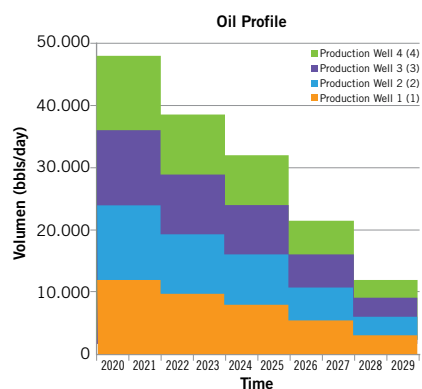


Figura 2. Perfil de producción.

Eventos

En los desarrollos de petróleo y de gas, los eventos se pueden separar, principalmente, en tres categorías: no programados, programados y condicionales. A continuación se definen estos tres eventos básicos:

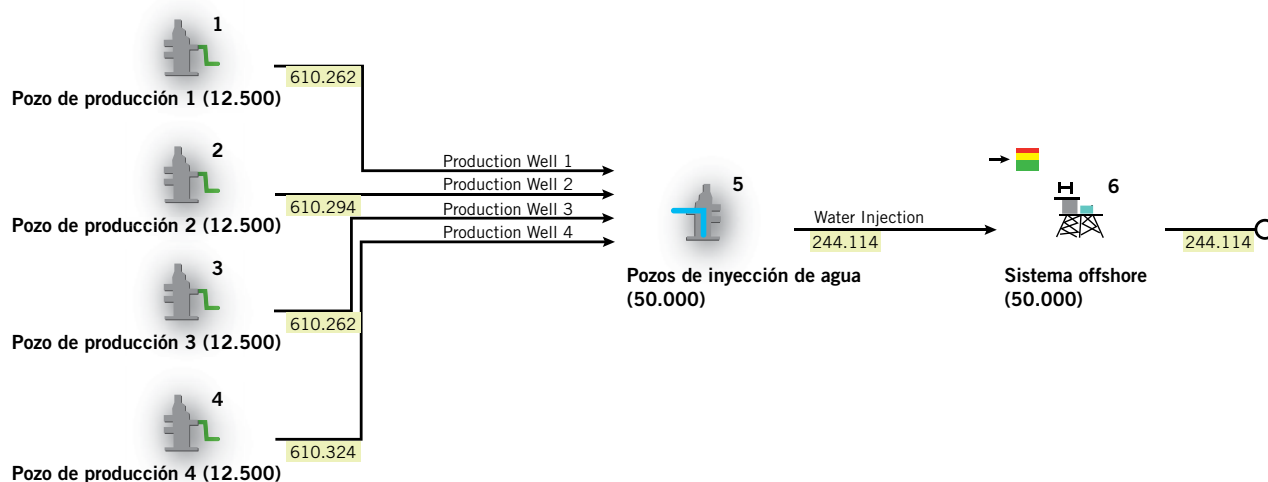


Figura 1. Red de flujo de los pozos.

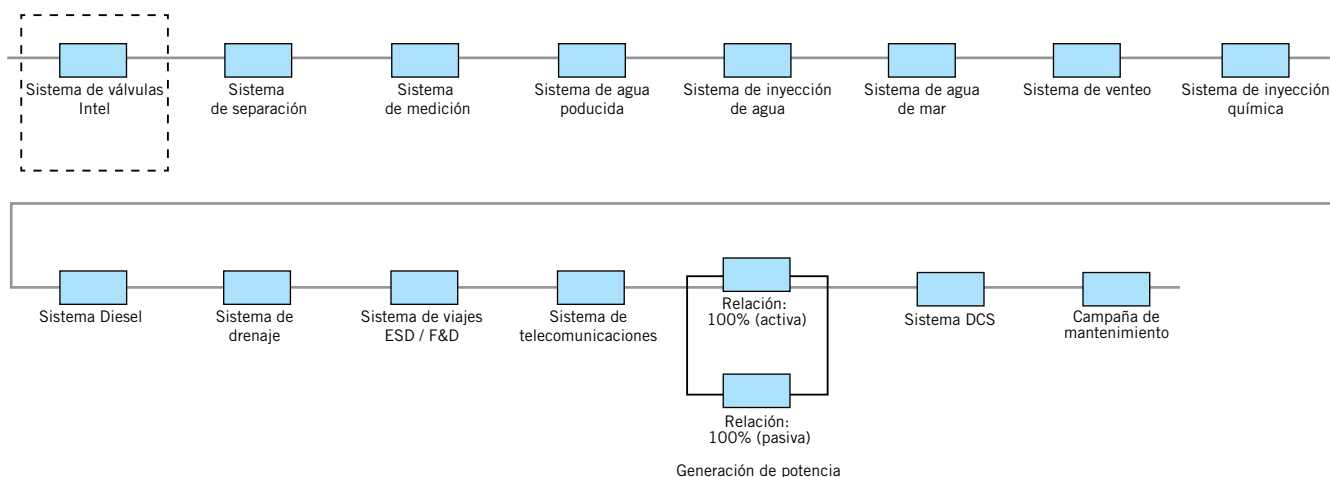


Figura 3. Diagramas de bloques de confiabilidad (RBD) para una planta *offshore*.

Equipo	Tipo de falla	Impacto ante falla	Impacto ante reparación	Tipo de falla	MTTF	Tipo de reparación	Mín. (horas)	Máx. (horas)
Filtro de agua salada	Crítica	100%	100%	Exponencial	3,03	Rectangular	2	8
	Deterioro	50%	100%	Exponencial	3,03	Rectangular	2	8
	Incipiente	0%	100%	Exponencial	2,941	Rectangular	2	8
Bomba de elevación/ caisson o cajón neumático	Crítica	100%	100%	Exponencial	10	Rectangular	72	96
	Crítica	100%	100%	Weibull (sin demora)	0,5	Rectangular	72	96

- Los eventos no programados son aquellos eventos no planificados que ocurren aleatoriamente. Sin embargo, su acontecimiento normalmente corresponde a una distribución estadística particular. Ejemplo: fallas en los equipos.
- Eventos programados son aquellos eventos donde el acontecimiento es conocido. Ejemplo: una inspección de rutina.
- Eventos condicionales son aquellos eventos que se inician por el acontecimiento de otros eventos a través de una expresión lógica booleana. Ejemplo: calentamiento

de un equipo en estado de espera (*standby*).

Los Diagramas de Bloques de Confiabilidad (RBD, por sus siglas en inglés) se usan para describir las relaciones lógicas entre los diferentes eventos. Cada uno de los bloques en un RBD representa un “evento” que puede conducir a pérdidas de producción. Los RBD son la representación lógica de la conexión del sistema, teniendo en cuenta la trayectoria exitosa de la misión del sistema; en este caso, el flujo. Si tenemos ítems en serie, cuando uno de ellos está en estado de falla, no hay forma de que

el sistema avance. Sin embargo, si tenemos ítems en paralelo, esto significa que hay más de una trayectoria “exitosa” en el sistema.

En el caso específico de este modelo, cada uno de los bloques representa un ítem de equipos. Debajo del nivel de equipos, el usuario debe definir los modos de falla, es decir, las diferentes maneras en que los equipos pueden fallar (ver figura 3).

Cada unidad incluirá sus propios datos de confiabilidad; por ejemplo, los datos extraídos del sistema de agua salada se muestran de la siguiente manera:



Logística de los recursos de mantenimiento

Se debe tener en cuenta un amplio número de recursos de mantenimiento al realizar un estudio RAM. Es importante comprender cómo se manifiesta esta logística en la simulación. Consideremos un evento genérico, una falla o una parada planificada. En tiempo real, esta falla comenzará a ser reparada con cierta demora como consecuencia del tiempo requerido para diagnosticar el problema y organizar los recursos de reparación a fin de realizar las reparaciones necesarias. Una vez que todos los recursos se encuentran en el lugar de trabajo, el procedimiento de reparación puede comenzar. La acción de reparación en sí misma puede impactar en la producción de alguna otra manera.

La diagramación de la logística del mantenimiento implica determinar la porción de “demora de la reparación” en la secuencia antes descrita. Esto se logra definiendo la ubicación, la cantidad y la limitación de los diversos recursos involucrados en el proceso de reparación. Entonces se realiza la simulación para determinar cada demora en la reparación, dependiendo de lo mencionado anteriormente y de la carga de trabajo en el momento de la falla. No se trata simplemente de especificar la demora en la reparación por tarea.

Este modelo presenta un alto nivel de detalle con respecto a la estrategia de mantenimiento, recuerde que esta plataforma no cuenta con personal, por lo tanto, se necesita de un tipo especial de estrategia de mantenimiento.

A continuación se detallan algunas consideraciones para el caso práctico:

- Las fallas se dividen en “incipientes” y “críticas”. Las fallas críticas requieren de una atención in-

mediata, mientras que las fallas no críticas, es decir, incipientes, podrían esperar hasta el próximo mantenimiento planificado o la próxima falla crítica.

- Existe una inspección semanal de la plataforma soportada por un helicóptero.
- Está siempre disponible un helicóptero sin tareas programadas y que se usa para casos urgentes de fallas críticas.
- Se necesita una serie de recursos de mantenimiento para realizar las reparaciones, por ejemplo, la tarifa diaria por perforación y buque de apoyo para operaciones

submarinas (DSV, por sus siglas en inglés).

Datos financieros

Se supone que la plataforma está operativa y, por lo tanto, la inversión inicial en bienes de capital (CapEx) ya fue recuperada. Por una cuestión de simplificación, el caso práctico supone que solo los gastos operativos (OpEx) son los que interesan, además de las cifras CapEx para las diferentes opciones de diseño.

Se proporcionan los datos de costos para:

- Visita programada del helicóptero: USD 12.000.
- Visita no programada del helicóptero: USD 15.000.
- Tarifa diaria por perforación: USD 60.000.
- Tarifa diaria por buque de apoyo para operaciones submarinas: USD 45.000.
- Precio del petróleo: USD 20/bbl.
- Tasa de descuento: 10%

Resultados

La metodología presenta, entre una serie de resultados, tres “Indicadores Clave del Rendimiento” (KPI, por sus siglas en inglés):

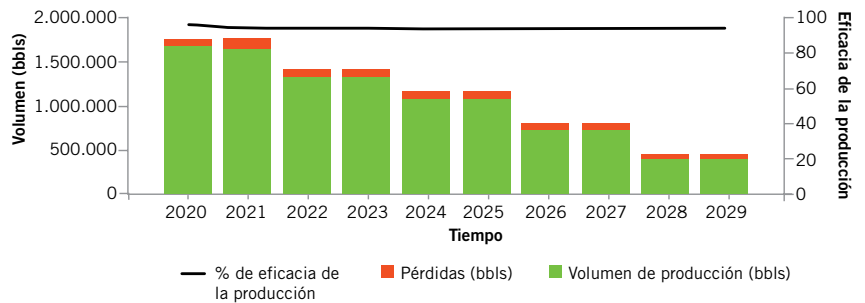


Figura 4. Producción anual.

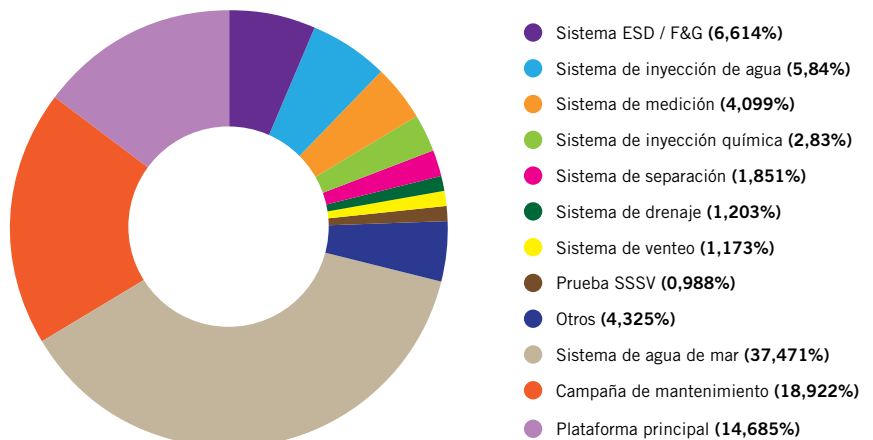


Figura 5. Criticidad del subsistema.

- El rendimiento total del sistema para el caso base es del 93,950% +/- 0,334%
- El gráfico de producción anual muestra las pérdidas durante la vida útil del sistema.

El análisis de criticidad pone énfasis en los elementos/sistemas más críticos de los equipos.

En base a la criticidad del subsistema (ver figura 5), el Sistema más crítico es el sistema de agua salada, responsable del 37,471% de las pérdidas.

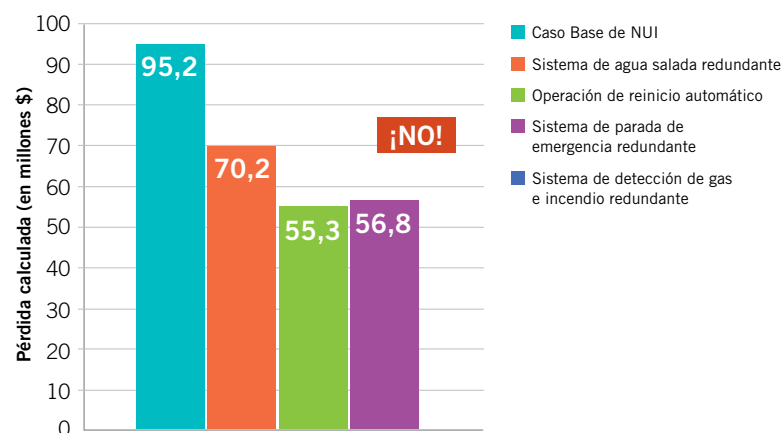
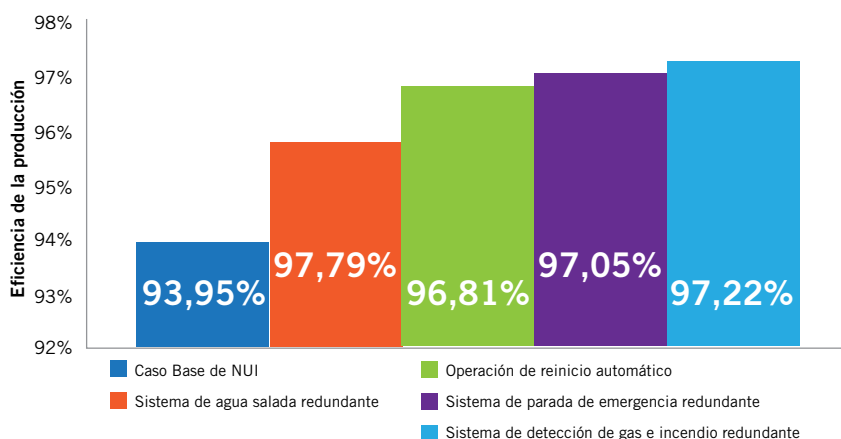
- El análisis económico proporciona el VAN del proyecto, y es resumido. En este caso, existe una pérdida de USD 95,2 millones durante la vida útil del sistema.

Análisis de sensibilidad

Provisto de la información sobre la criticidad del subsistema, el análisis puede sugerir cambios de diseño o de estrategia de mantenimiento. Esto proporciona una guía sobre las medidas de mitigación para la optimización del sistema. Una vez que se ha verificado una sugerencia, esta se puede aceptar o no dependiendo de los beneficios en el rendimiento.

Se han realizado cuatro sugerencias para optimizar el diseño del sistema modelado:

- Sistema de agua salada redundante.
- Operación de reinicio automático.
- Sistema de parada de emergencia redundante.
- Sistema de detección de gas e incendio redundante.



Pérdida financiera por escenario

Opción de diseño	Pérdida financiera por escenario (millones de USD)
Caso base de NUI	95,2
Sistema de agua salada redundante	70,2
Operación de reinicio automático	55,3
Sistema de parada de emergencia redundante	56,8
Sistema de detección de gas e incendio redundante	55,9

Si evaluamos solamente la cifra de la eficacia de la producción, podemos concluir que todas las sugerencias deberían ser aceptadas, ya que todas ellas presentan un aumento del rendimiento.

Sin embargo, cuando tomamos en cuenta la inversión en bienes de capital (CapEx) requerida para cada sugerencia, la conclusión es ligeramente diferente. Suponiendo que cada opción requiere una inversión CapEx de:

- Sistema de agua salada redundante: USD 1,5 M
- Operación de reinicio automático: USD 1,0 M
- Sistema de parada de emergencia redundante: USD 5,0 M
- Sistema de detección de gas e incendio redundante: USD 2,5 M
- Entonces, puede calcularse la rentabilidad de la inversión para cada caso. El VAN negativo muestra la oportunidad perdida (pérdidas financieras) al operar el sistema.

Este gráfico muestra que la opción 4, sistema de parada de emergencia redundante, no es viable. Básicamente, la inversión CapEx para implementar este cambio es mayor que la producción extra proveniente de la mayor disponibilidad del sistema.

Conclusiones

El análisis RAM tiene un rol clave en el análisis de las combinaciones óptimas de la configuración del sistema, de la estrategia de mantenimiento y de las reglas operativas en la industria del petróleo y del gas. Se pueden tomar decisiones informadas y la incertidumbre con respecto al comportamiento de la producción puede predecirse con exactitud, y por lo tanto, evitarse o reducirse.

A partir de un caso base se puede diseñar una lista de opciones posibles. Estas opciones pueden clasificarse según la eficacia y los beneficios financieros de cada una de ellas. ■

Victor Borgez es Gerente de producto Ram en DNV GL Software (Det Norske Veritas).

Es ingeniero químico con experiencia en la realización de análisis de riesgos y confiabilidad de activos en la industria de petróleo y del gas. Es responsable de los softwares de simulación Maros (mantenibilidad, disponibilidad, fiabilidad, operabilidad, simulación) y Taru (fiabilidad total de los activos y optimización).