

## PMO Y RCM: DESAFÍOS DEL MANTENIMIENTO Y CÓMO EL PMO COMPLEMENTA AL RCM

Jose Alfredo Theran Castellar  
jose.theran@strategy.com.co  
STRATEGY AM AND PSM S.A.S  
Carrera 7ª # 156-10 Ofc 1901 Torre Krystal  
Bogotá- Colombia

### Resumen

Este artículo analiza los beneficios que abordamos con PMO (Optimización del mantenimiento planeado) como una metodología complementaria al RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad). Mientras RCM se enfoca en identificar funciones, fallas funcionales, modos de falla, efectos y sus consecuencias para definir políticas de mantenimiento en la fase de incorporación del ciclo de vida de los activos, PMO entra como complemento para ofrecer un enfoque sistemático y optimizado para la gestión de activos físicos. Esta metodología permite mejorar la eficiencia y confiabilidad mediante un análisis detallado y racionalización de las tareas y políticas de mantenimiento actuales en la fase de Operación y Mantenimiento. A través de casos de estudio con equipos críticos de la industria Oil And Gas, se busca demostrar que PMO mejora la eficiencia operativa, justifica costos y adapta estrategias de mantenimiento a variaciones en el entorno operativo o a transformaciones en el estado de la condición o integridad del activo a lo largo de su vida útil. Ambas metodologías, RCM y PMO, son complementarias y se utilizan en diferentes fases del ciclo de vida de los activos, estableciendo un nuevo estándar para la gestión de activos en las industrias.

### 1. Introducción

#### 1.1. Contexto de la Optimización del Mantenimiento en la Industria

En industrias con entornos operativos desafiantes, como la del petróleo y gas, los activos críticos (por ejemplo, turbocompresores en estaciones de compresión de gas natural y bombas de crudo en estaciones de rebombeo) están expuestos a condiciones extremas que incluyen altas presiones, temperaturas, corrosión y contaminantes. Estas condiciones aumentan la probabilidad de fallas, lo que puede resultar en paradas no planificadas, impactos ambientales severos y costos elevados.

En este contexto, mientras que el RCM busca cubrir todos los modos de falla posibles mediante

la implementación de tareas costo-riesgo-efectivas, el PMO se centra adicionalmente en la optimización de las estrategias de mantenimiento, planteando preguntas que permitan racionalizar las tareas a partir del análisis de lo que ha ocurrido en la fase de operación y mantenimiento del activo. El RCM, al poder aplicarse desde la etapa de incorporación, puede presentar un sesgo significativo debido al desconocimiento del comportamiento real de los activos en condiciones operativas, lo que puede llevar a la implementación de controles basados en riesgos residuales teóricos. Por su parte, el PMO busca eliminar esta incertidumbre al incorporar datos reales de operación, permitiendo reconocer las tasas de falla antes de aplicar controles y, de esta manera, enfocarse en gestionar el riesgo real en lugar del riesgo residual. Esta evolución representa una mejora sustancial, ya que no solo optimiza la

eficiencia del mantenimiento, sino que también justifica costos y aumenta la confiabilidad de los equipos al basarse en información actualizada y precisa.

## 1.2. Objetivo y Alcance del Trabajo

Este artículo tiene como objetivo analizar cómo la metodología de Optimización del Mantenimiento Planificado (PMO) complementa y enriquece al Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) en la gestión de activos críticos, con un enfoque específico para cuestiones de estudio en la industria de petróleo y gas, particularmente en turbocompresores de estaciones de compresión de gas natural y bombas de crudo en estaciones de rebombeo. A través de un enfoque sistemático, se busca demostrar cómo el PMO, al integrar datos operativos en tiempo real y análisis predictivos, supera las limitaciones del RCM en entornos dinámicos y variables, optimizando la eficiencia operativa y justificando costos. Para ello, se abordarán tres dimensiones clave:

**Adaptabilidad operativa:** El RCM, al ser aplicado en la fase de incorporación de los activos, establece intervalos de mantenimiento basados en datos históricos y análisis teóricos de modos de falla. Sin embargo, su enfoque inicial puede presentar limitaciones en entornos operativos dinámicos, como plataformas de extracción y tratamiento de crudo, donde las condiciones pueden variar significativamente y afectar el comportamiento de los activos. Aquí es donde el PMO complementa al RCM, permitiendo ajustar dinámicamente los intervalos y estrategias de mantenimiento basándose en métricas actualizadas como el MTBF (Mean Time Between Failures) y el análisis de tendencias en tiempo real. Mientras el RCM proporciona una base sólida para identificar riesgos y definir políticas de mantenimiento, el PMO enriquece este enfoque al incorporar datos operativos reales, lo que permite adaptar las estrategias a las condiciones cambiantes del entorno. Esta sinergia entre ambas

metodologías no solo mejora la precisión en la planificación del mantenimiento, sino que también optimiza la disponibilidad y confiabilidad de los activos en escenarios operativos complejos.

**Gestión integral de riesgos:** El RCM, en su fase inicial, identifica y prioriza los modos de falla mediante un análisis detallado de funciones, fallas funcionales y sus consecuencias, lo que permite establecer políticas de mantenimiento basadas en riesgos teóricos. Sin embargo, este enfoque puede verse limitado por la falta de datos operativos reales, especialmente en entornos dinámicos donde las condiciones cambian frecuentemente. Aquí es donde el PMO complementa al RCM, utilizando herramientas como matrices RAM (Risk Assessment Matrix) para evaluar los impactos multidimensionales de las fallas. Mientras el RCM proporciona un marco teórico para entender los riesgos, el PMO enriquece este análisis al incorporar datos operativos actualizados, considerando no solo los aspectos económicos, sino también los riesgos para la seguridad del personal, el medio ambiente y la reputación corporativa. Esta combinación permite priorizar acciones de mantenimiento basadas en el riesgo real, reduciendo la incertidumbre y mejorando la toma de decisiones.

**Eficiencia costo-beneficio:** El RCM establece una base sólida para definir tareas de mantenimiento preventivo y predictivo desde la fase de diseño, maximizando la confiabilidad y minimizando costos a largo plazo. Sin embargo, su dependencia de datos históricos y supuestos iniciales puede llevar a tareas de mantenimiento innecesarias o poco eficientes. El PMO complementa este enfoque al racionalizar todas las tareas de mantenimiento, considerando su criticidad, tasas de falla y planes actuales. Mientras el RCM identifica tareas críticas, el PMO utiliza datos operativos actualizados para racionalizarlas, logrando un equilibrio entre confiabilidad y eficiencia económica. Esta sinergia asegura que las estrategias de mantenimiento se adapten a las

condiciones reales de operación, mejorando la gestión de recursos.

## 2. Justificación y Alcance

El RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad) y el PMO (Optimización del Mantenimiento Planificado) son metodologías complementarias que abordan diferentes fases del ciclo de vida de los activos, cada una con ventajas y enfoques específicos. El RCM se aplica principalmente en la fase de incorporación de los activos, donde su enfoque sistemático permite identificar funciones, fallas funcionales, modos de falla y sus consecuencias, estableciendo políticas de mantenimiento costo-riesgo-efectivas desde el diseño. Este enfoque es particularmente efectivo, ya que proporciona una base sólida para gestionar riesgos y garantizar la confiabilidad operativa desde las etapas iniciales.

Por otro lado, el PMO se enfoca en la fase de operación y mantenimiento, donde su objetivo principal es optimizar los planes de mantenimiento existentes mediante el análisis de datos operativos actualizados. A diferencia del RCM, que depende en gran medida de datos históricos, recomendaciones del fabricante y supuestos teóricos en su fase inicial, el PMO se apoya en tecnologías como el monitoreo en tiempo real y algoritmos predictivos para ajustar las estrategias de mantenimiento según las condiciones operativas actuales. Esto permite racionalizar las tareas de mantenimiento, priorizándolas según su criticidad, tasas de falla y planes actuales, lo que resulta en una gestión más eficiente de los recursos y una justificación de costos.

Por ejemplo, en una estación de compresión de gas natural, el RCM puede establecer políticas de mantenimiento preventivo para los turbocompresores basándose en modos de falla predecibles, como el desgaste de los álabes debido a partículas abrasivas. Sin embargo, en la fase de operación, el PMO puede ajustar estos intervalos

de mantenimiento al monitorear en tiempo real variables como la presión diferencial y la concentración de  $H_2S$ , optimizando así las intervenciones y evitando fallas no detectadas. De manera similar, en una estación de rebombeo de crudo, el PMO puede adaptar las estrategias de mantenimiento de las bombas Sulzer según la viscosidad del crudo y otras condiciones operativas variables, algo que el RCM, por su enfoque inicial, no podría hacer de manera tan dinámica.

En resumen, mientras el RCM es una herramienta invaluable en la fase de incorporación de los activos, proporcionando un marco teórico robusto para la gestión de riesgos y la definición de políticas de mantenimiento, el PMO complementa este enfoque en la fase de operación y mantenimiento, optimizando las estrategias existentes mediante el uso de datos operativos actualizados. Ambas metodologías, aunque aplicables en diferentes fases del ciclo de vida, trabajan de manera complementaria para garantizar la confiabilidad, eficiencia y rentabilidad de los activos en industrias con entornos operativos desafiantes.

### 2.1. Metodología RCM aplicada en la Fase de Incorporación de Activos

El enfoque del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) es altamente efectivo para garantizar que los activos cumplan con sus funciones y estándares de desempeño, aunque su adaptabilidad en tiempo real puede verse limitada en entornos dinámicos o con fallas impredecibles. Esto se debe a que el RCM depende en gran medida de datos históricos y supuestos teóricos, lo que puede generar planes de mantenimiento no completamente costo-efectivos en ciertos escenarios. A continuación, se profundiza en los aspectos clave del RCM, basados en la norma **SAE JA 1011/1012** [6], siguiendo un proceso estructurado de siete pasos que incluye la identificación de funciones del activo y sus

estándares de desempeño, la determinación de fallas funcionales y sus modos de falla, la evaluación de los efectos y la criticidad de cada falla, y la selección de estrategias de mantenimiento preventivo, predictivo o correctivo, seguido de una revisión y optimización continua.

### 2.1.1 Identificación de Funciones y Estándares de Desempeño

El RCM comienza definiendo las funciones del activo y los estándares de desempeño asociados. Estas funciones se clasifican en:

**-Funciones Principales:** Representan el propósito central del activo. Por ejemplo, en una planta de Oil & Gas, una bomba debe transportar crudo a una tasa mínima de 2,500 barriles por hora.

**-Funciones Secundarias:** Incluyen aspectos como el cumplimiento ambiental, la integridad estructural, el control, la apariencia y los dispositivos protectores. Aunque no son el objetivo principal, su pérdida puede tener consecuencias significativas.

Cada función debe describirse de manera clara y cuantificable, utilizando un verbo, un objeto y un estándar de desempeño. Por ejemplo: *"Transferir crudo desde la estación A hasta la estación B, a no menos de 2,500 barriles por hora"*.

### 2.1.2. Determinación de Fallas Funcionales

El RCM analiza cómo un activo puede fallar en cumplir sus funciones. Las fallas se clasifican en:

**-Fallas Totales:** Incapacidad completa del activo para realizar su función.

**-Fallas Parciales:** El activo funciona, pero no cumple con los estándares requeridos.

Es importante identificar tanto las fallas totales como las parciales, ya que sus modos de falla y consecuencias pueden diferir significativamente.

### 2.1.3. Evaluación de los Efectos y Consecuencias de las Fallas

El análisis de los efectos de las fallas es fundamental para comprender su impacto en la operación. Las consecuencias se evalúan en términos de:

**-Seguridad:** Riesgo para las personas.

**-Medio Ambiente:** Impacto ambiental.

**-Económicas:** Costos directos e indirectos.

**-Reputación:** Daño a la imagen de la organización.

Esta evaluación permite priorizar las acciones de mantenimiento, enfocándose en mitigar los impactos más graves.

### 2.1.4. Identificación de Modos de Fallas

Los modos de falla son las causas específicas que llevan a una falla funcional. El RCM busca identificar todas las posibles causas de falla, tanto técnicas como operativas, para poder abordarlas de manera preventiva.

### 2.1.5. Selección de Estrategias de Mantenimiento

Basado en el análisis de modos de falla y sus consecuencias, el RCM define tareas de mantenimiento específicas. Estas tareas incluyen:

**-Mantenimiento Predictivo:** Monitoreo de condición para detectar fallas incipientes.

**-Mantenimiento Preventivo:** Actividades programadas para evitar fallas.

**-Búsqueda de Fallas:** Identificación de fallas ocultas.

**-Rediseño o Redundancia:** Modificaciones para mejorar la confiabilidad.

**-Run to Failure (RTF):** Permitir que el equipo falle si el costo de mantenimiento supera el impacto de la falla.

Cada tarea debe estar claramente definida, con instrucciones precisas, límites aceptables y acciones correctivas detalladas.

### **2.1.6. Implementación de las Tareas de Mantenimiento**

Una vez definidas las estrategias, se procede a implementar las tareas de mantenimiento. Esto incluye la asignación de recursos, la programación de actividades y la capacitación del personal.

### **2.1.7. Revisión y Optimización Continua**

El RCM no es un proceso estático; requiere una revisión y optimización continua para adaptarse a cambios en las condiciones operativas, nuevos datos o tecnologías emergentes. Esto asegura que las estrategias de mantenimiento sigan siendo efectivas.

## **2.2. Metodología PMO Aplicada en la Fase de Operación y Mantenimiento**

### **2.2.1. Recopilación de Tareas de Mantenimiento**

Comienza documentando el programa de mantenimiento existente, formal o informal, en una base de datos. Es importante reconocer que el mantenimiento es realizado por un amplio grupo, incluyendo operadores, y que a menudo no está formalmente documentado. En tales casos, se debe registrar lo que el personal ya realiza. La mayoría de las organizaciones tienen algún tipo de mantenimiento preventivo (PM), ya sea formal o informal.

### **2.2.2. Análisis de Modos de Falla (FMA)**

En este paso, se involucra a todo el personal de la planta en equipos multidisciplinarios para identificar los modos de falla a los que están dirigidas las tareas de mantenimiento. Lo ideal es partir de los modos de falla ya identificados en análisis RCM anteriores, lo que proporciona una base sólida para el análisis. Luego, se complementa con nuevos modos de falla determinados durante este proceso, asegurando una cobertura completa y actualizada de los riesgos. Este enfoque permite optimizar las tareas de mantenimiento, enfocándose en las fallas más relevantes y actuales.

### **2.2.3. Racionalización y Revisión de Modos de Falla (FMA)**

En esta etapa, se organiza la información de mantenimiento por modos de falla para identificar duplicidades de tareas y optimizar los recursos. El objetivo es revisar si múltiples tareas de diferentes especialidades (instrumentistas, eléctricos, mecánicos) están abordando el mismo modo de falla con frecuencias de intervención distintas, lo que puede generar paradas innecesarias y aumentar el downtime. Además, se identifican nuevos modos de falla que no estaban contemplados inicialmente y se les asigna un plan de mantenimiento adecuado según su criticidad y naturaleza.

#### **2.2.3.1 Objetivos de la Racionalización:**

**Identificar Duplicidades:** Revisar si múltiples tareas de diferentes especialidades (instrumentistas, eléctricos, mecánicos) están abordando el mismo modo de falla con frecuencias de intervención distintas.

**Optimizar Recursos:** Eliminar tareas redundantes y ajustar frecuencias de mantenimiento para reducir costos y mejorar la eficiencia operativa.



**Identificar Nuevos Modos de Falla:** Detectar modos de falla no contemplados inicialmente y asignarles un plan de mantenimiento adecuado según su criticidad y naturaleza.

### 2.2.3.2. Tabla de Tipos de Tareas bajo Criterios de PMO

A continuación, se presenta una tabla que resume los tipos de tareas de mantenimiento y los criterios para su implementación en la metodología PMO:

**Tabla 1. Tipos de tareas bajo criterios de PMO**

Tipo de Tarea de Mantenimiento	Criterios para su Implementación
Extensión de Vida Útil o RTF	Riesgo bajo o medio.
Actividades de Mantenimiento Predeterminadas	Riesgo intermedio, alto o muy alto. Fallos evidentes. Tasa de falla predecible.
Mantenimiento Basado en la Condición (CBM)	Riesgo intermedio, alto o muy alto. Fallos evidentes u ocultos. Tasa de falla impredecible.
Rediseño o Estudio de Confiabilidad (RBD/FTA)	Riesgo intermedio, alto o muy alto. Tasa de falla impredecible. Modo de falla súbito.
Continuar con la Actividad de Mantenimiento Actual	Riesgo intermedio, alto o muy alto. Tasa de falla impredecible. La actividad actual reduce la tasa de falla.
Eliminar la Actividad de Mantenimiento	Riesgo intermedio, alto o muy alto. Tasa de falla impredecible. La actividad actual no prolonga la vida útil.
Tareas de Búsqueda de Fallas	Riesgo intermedio, alto o muy alto. Fallos ocultos. Tasa de falla predecible.

Esta tabla sirve como guía para la toma de decisiones en la fase de racionalización, permitiendo seleccionar la estrategia de mantenimiento más adecuada según el riesgo, la criticidad del equipo y el modo de falla.

### 2.2.3.3. Contexto operacional

Los **turbocompresores** tienen la función principal comprimir gas natural a presiones superiores a 1250 psi para su transporte eficiente a través de gasoductos. Cualquier desviación en este parámetro, como una caída del 15% en la presión de descarga, indica fallas potenciales en álabes o cojinetes. Por su parte, las **bombas de crudo Multietapas** deben mantener un caudal mínimo de 800 m<sup>3</sup>/h al manejar crudos pesados; una reducción del 20% sugiere problemas de cavitación o desgaste en impulsores.

**Tabla 2: Contexto Operacional Turbocompresor**

Modo de Falla Identificado	Tareas Existentes	Duplicidad Detectada	Acción de Racionalización
<b>Erosión de álabes por partículas abrasivas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Mecánicos:</b> Cambio de filtros cada 6 meses.</li> <li>- <b>Instrumentistas:</b> Calibración de sensores de vibración mensual.</li> <li>- <b>Eléctricos:</b> Revisión de motores trimestral.</li> </ul>	Las tareas de cambio de filtros y calibración de sensores están abordando el mismo modo de fallas con frecuencias diferentes.	Unificar las tareas en un plan de mantenimiento basado en condición (CBM) que utilice sensores de vibración en tiempo real, eliminando la calibración mensual y ajustando la frecuencia de cambio de filtros según los datos de monitoreo.
<b>Desgaste acelerado de cojinetes debido a altas concentraciones de H<sub>2</sub>S</b>	- <b>Nuevo Modo de Falla Identificado</b>	-	Implementar un programa de lubricación especializada cada 3 meses y monitoreo continuo de temperatura y vibración por parte de los mecánicos.

**Tabla 3: Contexto Operacional Bomba de Crudo Multietapa**

Modo de Falla Identificado	Tareas Existentes	Duplicidad Detectada	Acción de Racionalización
<b>Cavitación recurrente debido a alta viscosidad del crudo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Mecánicos:</b> Revisión de impulsores cada 6 meses.</li> <li>- <b>Instrumentistas:</b> Verificación de presión diferencial diaria.</li> <li>- <b>Eléctricos:</b> Revisión de motores trimestral.</li> </ul>	La verificación de presión diferencial y la revisión de impulsores están abordando el mismo modo de falla con frecuencias diferentes.	Integrar las tareas en un plan de mantenimiento predictivo que utilice sensores de presión y ultrasonido en tiempo real, eliminando la verificación diaria y ajustando la frecuencia de revisión de impulsores según los datos recopilados.
<b>Corrosión de sellos debido a crudos ácidos (TAN &gt;1.0 mg KOH/g)</b>	- Nuevo Modo de Falla Identificado	-	Implementar un programa de inspección trimestral con materiales resistentes a la corrosión y monitoreo continuo de fugas por parte de los mecánicos.

### 2.2.4. Análisis Funcional

Este paso es opcional y se aplica principalmente a equipos críticos o complejos. Consiste en identificar las funciones que se pierden con cada falla, lo que ayuda a diseñar un programa de mantenimiento más sólido. Para equipos menos críticos o sistemas simples, este análisis puede no ser necesario debido al tiempo y costo adicional que implica.

### 2.2.5. Evaluación de Consecuencias

En este paso, se analiza cada modo de falla para determinar si son ocultas o evidentes. Para las fallas evidentes, se realiza un análisis de riesgos y consecuencias operacionales. Esto permite priorizar las fallas según su impacto en la operación y seguridad.

### 2.2.6. Definición de la Política de Mantenimiento

Basado en los principios del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), este paso establece o revisa las políticas de mantenimiento. Se enfoca en las consecuencias de las fallas más que en los activos en sí, asegurando que las estrategias de mantenimiento sean efectivas y eficientes.

Estos pasos complementan la racionalización al asegurar que las tareas de mantenimiento estén bien fundamentadas y priorizadas según la criticidad y consecuencias de las fallas.

## 3. Comparación y Complementariedad de RCM y PMO en la Gestión de Activos Críticos: Casos Prácticos en Turbocompresores y Bombas de Crudo Multietapa

### 3.1. Introducción a la Comparación RCM y PMO

En este capítulo, se analiza cómo el RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad) y el PMO (Optimización del Mantenimiento Planificado) se complementan en la gestión de activos críticos, tomando como ejemplo el Turbocompresor y la Bomba de Crudo Multietapa. El objetivo es demostrar cómo el RCM establece las bases para los planes de mantenimiento iniciales durante la fase de incorporación del activo, mientras que el PMO ajusta y optimiza estos planes durante la fase de operación y

mantenimiento, basándose en datos operativos reales.

### **3.1.1. Fase de Incorporación: Aporte del RCM**

El RCM se aplica en la fase de incorporación del activo, donde se identifican las funciones, fallas funcionales, modos de falla, efectos y consecuencias. Este análisis permite definir políticas de mantenimiento iniciales que son costo-riesgo-efectivas. A continuación, se presenta cómo el RCM aborda los casos del Turbocompresor y la Bomba de Crudo Multietapa:

#### **3.1.1.1 Turbocompresor**

**-Funciones principales:** Comprimir gas natural a presiones superiores a 1250 psi.

**-Modos de falla identificados:**  
Erosión de álabes por partículas abrasivas.  
Desgaste acelerado de cojinetes debido a altas concentraciones de H<sub>2</sub>S.

**-Políticas de mantenimiento iniciales:**  
Cambio de filtros cada 6 meses.  
Calibración de sensores de vibración mensual.  
Revisión de motores trimestral.

#### **3.1.1.2. Bomba de Crudo Multietapa**

**-Funciones principales:** Mantener un caudal mínimo de 800 m<sup>3</sup>/h al manejar crudos pesados.

**-Modos de falla identificados:**  
Cavitación recurrente debido a alta viscosidad del crudo.  
Corrosión de sellos debido a crudos ácidos (TAN >1.0 mg KOH/g).

**-Políticas de mantenimiento iniciales:**  
Revisión de impulsores cada 6 meses.  
Verificación de presión diferencial diaria.  
Revisión de motores trimestral.

### **3.1.2. Fase de Operación y Mantenimiento: Aporte del PMO**

El PMO entra en acción durante la fase de operación y mantenimiento, donde se ajustan y optimizan los planes de mantenimiento iniciales basándose en datos operativos reales. A continuación, se presenta cómo el PMO complementa el RCM en los casos del Turbocompresor y la Bomba de Crudo Multietapa:

#### **3.1.2.1. Turbocompresor**

**-Ajustes basados en datos operativos:**

**Erosión de álabes:** Se implementa un plan de mantenimiento basado en condición (CBM) utilizando sensores de vibración en tiempo real, eliminando la calibración mensual y ajustando la frecuencia de cambio de filtros según los datos de monitoreo.

**Desgaste de cojinetes:** Se implementa un programa de lubricación especializada cada 3 meses y monitoreo continuo de temperatura y vibración.

#### **3.1.2.2. Bomba de Crudo Multietapa**

**Ajustes basados en datos operativos:**

**Cavitación:** Se integran las tareas en un plan de mantenimiento predictivo que utiliza sensores de presión y ultrasonido en tiempo real, eliminando la verificación diaria y ajustando la frecuencia de revisión de impulsores.

**Corrosión de sellos:** Se implementa un programa de inspección trimestral con materiales resistentes a la corrosión y monitoreo continuo de fugas.



### 3.2. Comparación Práctica: RCM vs. PMO

A continuación, se presenta una comparación práctica de cómo el RCM y el PMO se complementan en la gestión de los activos críticos:

Tabla 4: Comparación RCM vs. PMO

Aspecto	RCM (Fase de Incorporación)	PMO (Fase de Operación y Mantenimiento)
<b>Definición de Planes</b>	Establece planes de mantenimiento iniciales basados en modos de falla teóricos.	Ajusta y optimiza los planes de mantenimiento basándose en datos operativos reales.
<b>Datos Utilizados</b>	Datos históricos y recomendaciones del fabricante.	Datos operativos en tiempo real (vibración, temperatura, presión, etc.).
<b>Flexibilidad</b>	Limitada, basada en supuestos iniciales.	Alta, adapta estrategias según condiciones operativas actuales.
<b>Optimización de Costos</b>	Define tareas costo-riesgo-efectivas desde el diseño.	Racionaliza tareas, elimina redundancias y ajusta frecuencias basándose en datos actuales.
<b>Gestión de Riesgos</b>	Identifica riesgos teóricos y establece controles basados en análisis inicial.	Gestiona riesgos reales basándose en datos operativos actualizados.

### 3.3. Tabla de Decisiones para la Optimización de Planes de Mantenimiento

A continuación, se presenta una tabla que resume cómo el PMO ajusta los planes de mantenimiento iniciales definidos por el RCM, basándose en los siguientes parámetros:

Tabla 5: Optimización del Mantenimiento Planeado

Actividad de Mantenimiento	Requisitos para Considerarla	Aplicación en Turbocompresor	Aplicación en Bomba de Crudo Multietapa
<b>Extensión de Vida Útil o RTF</b>	Riesgo bajo o medio.	Ajuste de intervalos de lubricación basado en monitoreo de temperatura y vibración.	Ajuste de intervalos de inspección de sellos basado en monitoreo de fugas.
<b>Actividades de Mantenimiento Predeterminadas</b>	Riesgo intermedio, alto o muy alto. Fallos evidentes. Tasa de falla predecible.	Cambio de filtros según datos de monitoreo de partículas.	Revisión de impulsores según datos de presión y ultrasonido.
<b>Mantenimiento Basado en la Condición (CBM)</b>	Riesgo intermedio, alto o muy alto. Fallos evidentes u ocultos. Tasa de falla impredecible.	Monitoreo continuo de vibración y temperatura para cojinetes.	Monitoreo continuo de presión y ultrasonido para detectar cavitación.
<b>Rediseño o Estudio de Confiabilidad (RBD/FTA)</b>	Riesgo intermedio, alto o muy alto. Tasa de falla impredecible. Modo de falla súbito.	Estudio de materiales para álabes en caso de erosión recurrente.	Estudio de materiales para sellos en caso de corrosión recurrente.
<b>Continuar con la Actividad de Mantenimiento Actual</b>	Riesgo intermedio, alto o muy alto. Tasa de falla impredecible. La actividad actual reduce la tasa de falla.	Continuar con lubricación especializada si reduce el desgaste de cojinetes.	Continuar con inspecciones trimestrales si reducen la corrosión de sellos.
<b>Eliminar la Actividad de Mantenimiento</b>	Riesgo intermedio, alto o muy	Eliminar calibración mensual de	Eliminar verificación diaria de

Actividad de Mantenimiento	Requisitos para Considerarla	Aplicación en Turbocompresor	Aplicación en Bomba de Crudo Multietapa
	alto. Tasa de falla impredecible. La actividad actual no prolonga la vida útil.	sensores si no aporta valor.	presión si no aporta valor.
<b>Tareas de Búsqueda de Fallas</b>	Riesgo intermedio, alto o muy alto. Fallos ocultos. Tasa de falla predecible.	Implementar monitoreo continuo de H <sub>2</sub> S para detectar fallos ocultos en cojinetes.	Implementar monitoreo continuo de fugas para detectar fallos ocultos en sellos.

#### 4. Conclusión

La combinación de RCM y PMO ofrece un enfoque integral para la gestión de activos críticos. Mientras el RCM establece una base sólida para los planes de mantenimiento iniciales, el PMO ajusta y optimiza estos planes durante la fase de operación, basándose en datos operativos reales. Esta sinergia permite una mejor relación costo/riesgo/desempeño, adaptándose a las condiciones cambiantes del entorno operativo y maximizando la confiabilidad y eficiencia de los activos.

En el caso del Turbocompresor y la Bomba de Crudo Multietapa, se demuestra cómo el PMO complementa al RCM al ajustar las estrategias de mantenimiento según los modos de falla, la criticidad del equipo y los datos operativos actuales, logrando una gestión más eficiente y adaptativa.

#### Referencias

- [1] ISO 17359:2018. Condition monitoring and diagnostics of machines
- [2] ISO 14224:2016. Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment.
- [3] Moubray, *Reliability-centered maintenance*, 2nd ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1997.
- [4] ISO 55002:2018. Asset management — Management systems — Guidelines for the application of ISO 55001.
- [5] ISO 5500:2014. Asset management — Overview, principles and terminology.
- [6] SAE JA1011/12. Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes.

#### Jose Alfredo Theran Castellar.

Ingeniero mecánico con estudios de postgrado en Gerencia de Mantenimiento Industrial y Confiabilidad. Soy Consultor en Ingeniería de Mantenimiento y Confiabilidad con más de 5 años de experiencia en la gestión y optimización de estrategias de mantenimiento para la industria Oil and Gas. Especialista en metodologías RCM/RBD/RAM/LCC/CRITICIDAD/RCS y PMO, con amplia experiencia en la implementación de sistemas de gestión de activos.

#### Datos de Contacto

**Nombre:** Jose Alfredo Theran Castellar

**Teléfono:** 3016251656

**Email:** [Jose.Theran@Strategy.com.co](mailto:Jose.Theran@Strategy.com.co)

**País:** Colombia