



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



Estudio de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad Utilizando Inteligencia Artificial

Autor: Ricardo Vieira do Amaral

E.mail: Ricardo.amaral@ctscompass.com

São Paulo - Brasil

Resumen:

El estudio presenta una aplicación de la **Inteligencia Artificial (IA)** en el desarrollo de análisis de **Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)**, lo que genera un **aumento de la eficiencia y de la velocidad del análisis**, a través del procesamiento rápido de grandes volúmenes de datos históricos, informes de mantenimiento, manuales, patrones de fallas y causa-raíz. Esto se logra de una manera mucho más rápida que el análisis manual realizado por expertos, y con una consecuente reducción en las reuniones de *brainstorming* necesarias para la construcción de la estructura del RCM. Al automatizar la fase de recopilación y procesamiento de datos, los ingenieros del grupo de trabajo pueden dedicar más tiempo a la validación de *insights* y a la implementación de estrategias, en lugar de emplear tiempo en la clasificación de datos brutos.

Se presentará un estudio de caso real implementado en una empresa minera y los resultados obtenidos al comparar el RCM IA propuesto con las tareas de mantenimiento actualmente en uso.

La ganancia inicial generada fue del 20% en reducción de Horas Hombre (HH), la cual será mucho mayor con la replicación de los estudios en equipos similares.

Objetivo:

Establecer estudios de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), **con soporte de la tecnología IA** con el fin de definir políticas de mantenimiento técnica y económicamente justificadas, basadas en las funciones de los activos, sus modos de falla y las consecuencias asociadas, garantizando seguridad, confiabilidad, disponibilidad y cumplimiento normativo.

Términos y Definiciones:

- RCM2: Evolución del RCM clásico que prioriza el análisis de consecuencias de las fallas.
- Función: Lo que el activo debe hacer en un contexto operacional específico.
- Falla Funcional: Incapacidad de cumplir una función requerida dentro de los estándares definidos.
- Modo de Falla: Evento específico que provoca una falla funcional.
- Contexto Operacional: Condiciones reales bajo las cuales el activo opera.

Metodología aplicada:

Los estudios de RCM (Reliability Centered Maintenance) son una metodología estructurada utilizada para definir estrategias de mantenimiento basadas en la confiabilidad de los activos. El estudio de RCM analiza:



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



- Las funciones del activo y los estándares de desempeño esperados
- Los modos de falla funcional y sus causas
- Las consecuencias de cada falla (operativas, de seguridad, ambientales y económicas).
- Las tareas de mantenimiento más adecuadas para prevenir o mitigar las fallas.

Como resultado, el RCM permite seleccionar planes de mantenimiento preventivo, predictivo o correctivo optimizados, enfocados en la criticidad real de cada equipo.

Inicialmente deben ser definidos los Roles y Responsabilidades.

Rol	Responsabilidad
Responsable Corporativo de Mantenimiento	Aprobar el procedimiento y los resultados
Facilitador RCM	Garantizar el cumplimiento metodológico
Equipo Multidisciplinario	Aportar conocimiento técnico y operacional
Ingeniería / Confiabilidad	Documentar, analizar y consolidar resultados

Tabla 1: Roles y Responsabilidades.

Analice de la Taxonomía de Activos:

- Verificar estructura jerárquica de activos, alineada a ISO 14224: Planta, Área, Sistema, Subsistema y Equipo
- Garantizar que la taxonomía refleje la función del activo en el proceso.

Análisis Documental y Definición del Contexto

Operacional:

- Revisar la documentación técnica aplicable: Manuales del fabricante, Diagramas de proceso y control, Procedimientos operativos y Historial de fallas
- Definir y documentar el contexto operacional, incluyendo: Régimen de operación, Condiciones ambientales, Demandas de desempeño y Límites operativos.

Análisis RCM con IA:

El análisis deberá realizarse mediante utilización del algoritmo de IA alimentado con informaciones del contexto operacional, y de la taxonomía, generando los planes de mantenimiento iniciales y su criticidad.

El modelo de analices tradicional consiste en realizar reuniones estructuradas de Brainstorm, facilitadas conforme la metodología RCM, para obtener resultados similares. Con la aplicación del algoritmo de RCM IA, **las reuniones de Brainstorm son reducidas entre 40 a 60% en cantidad y tiempo. El tiempo de ejecución del RCM también es reducido** en función del tiempo disponible del equipo multidisciplinario y del facilitador. Usualmente se hace una reunión semanal de 2 a 4 horas.



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



El equipo multidisciplinario y el facilitador son utilizados para revisar y validar el estudio del RCM IA y para validar el estudio con ejecución.

Definición e Implementación del Plan de Mantenimiento:

- Consolidar las tareas definidas en el análisis RCM.
- Definir frecuencias, recursos y criterios de intervención.

Carga del plan en el CMMS:

Esta es una etapa crítica de la implementación de la metodología RCM. Muchas veces el proceso para en esta etapa y no se hace carga en el CMMS.

Usualmente construimos una tabla DE X PARA con las informaciones de estudio actual cargado en el CMMS y con el nuevo RCM propuesto.

Los procedimientos de mantenimiento también son revistos de modo a incluir o retirar tareas y generar impacto mínimo en los procedimientos de mantenimiento.

Indicadores de Desempeño Sugeridos:

- Porcentaje de activos críticos analizados con RCM.

- Cumplimiento del plan de mantenimiento definido
- Reducción de fallas funcionales críticas
- Incidentes de seguridad asociados a fallas de activos

Control de Cambios y Revisión:

El RCM deberá revisarse cuando ocurra cualquiera de las siguientes condiciones:

- Cambios significativos en el contexto operacional.
- Modificaciones de diseño.
- Fallas relevantes o recurrentes.
- Revisión del sistema de gestión ISO.

Referencias Normativas Y Documentales:

- RCM2 – John Moubray.
- SAE JA1011 / JA1012.
- ISO 55000 / ISO 55001 – Gestión de Activos.
- ISO 14224 – Datos de confiabilidad y mantenimiento.
- Documentación técnica del fabricante.
- Historial de operación y mantenimiento.
- Análisis de Causa Raíz (RCA).

Preparación para auditorías ISO 55001 de Gestión de Activos de los Estudios de RCM (Reliability Centered Maintenance):

Sugiere-se a las corporaciones, definir y estandarizar el proceso corporativo para la ejecución de estudios de RCM, asegurando que las decisiones de mantenimiento estén alineadas con la política, los objetivos y el plan estratégico de gestión de activos, conforme a los requisitos de la



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



ISO 55001, con enfoque en riesgo, ciclo de vida y mejora continua. Este proceso se aplica a:

- Activos físicos **clasificados como críticos o significativos**
- Sistemas nuevos, modificados o existentes
- Todas las unidades operativas bajo el Sistema de Gestión de Activos (SGA)

Cláusula ISO 55001	Alineación del Procedimiento - RCM
4.3	Definición del alcance del RCM
5.1	Liderazgo y aprobación del estudio
6.1	Gestión de riesgos y oportunidades
7.2	Competencia del equipo RCM
7.5	Información documentada
8.1	Planificación y control operacional
8.2	Gestión del cambio
9.1	Seguimiento del desempeño
10.2	Mejora continua

Tabla 2 – Relación ISO 55001 x RCM.

Términos, definiciones y abreviaturas (4.3):

Deben estar de acuerdo con los requisitos de ISO 55001, ISO 14224 y RCM – John Moubray.

Liderazgo y aprobación del estudio:

Definición de Roles y Responsabilidades.

5.1 Rol	Responsabilidades Clave
Dirección de Gestión de Activos	Aprobar alcance, recursos y aceptación de riesgos
Responsable Corporativo de Mantenimiento	Garantizar la aplicación del procedimiento
Facilitador RCM	Conducir el análisis conforme a RCM
Equipo Multidisciplinario	Aportar conocimiento técnico y operativo
Confiablez / Ingeniería	Asegurar calidad técnica y trazabilidad

Tabla 3 – Liderazgo y aprobación del estudio.

Gestión del Riesgo de Falla (6.1 / 8.1):

El análisis se realizará siguiendo estrictamente las **7 preguntas del RCM**, documentando:

- Funciones y estándares
- Fallas funcionales
- Modos de falla
- Efectos y consecuencias
- Clasificación del riesgo
- Selección de tareas o aceptación del riesgo

Toda **aceptación de riesgo** deberá:

- Estar documentada
- Ser aprobada por la autoridad definida
- Estar alineada con la política de gestión de riesgos

Registros: Hojas RCM completas y aprobadas

Competencias (7.2):

- Formación en RCM
- Conocimiento del proceso y activos analizados.
- Experiencia en mantenimiento, operación o ingeniería.
- Evidencia documentada de competencia (registros de capacitación).

Taxonomía de Activos (4.3 / 7.5):

- Definir jerarquía de activos conforme ISO 14224.
- Validar coherencia con el Plan Estratégico de Gestión de Activos (SAMP).
- Registrar y controlar la taxonomía en el CMMS.

Entradas: Lista de activos, SAMP

Salidas: Taxonomía aprobada

Registros: Estructura de activos controlada



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



Control Documental (7.5):

- Documento controlado
- Versionado
- Acceso restringido
- Historial de cambios documentado

Definición del Plan de Mantenimiento (8.1):

- Traducir resultados del RCM en tareas ejecutables.
- Definir:
 - Tipo de tarea.
 - Frecuencia.
 - Recursos.
 - Criterios de intervención.
- Integrar al CMMS.

Registros: Plan de mantenimiento RCM.

Gestión del Cambio (8.2):

Cualquier cambio en:

- Contexto operacional
- Diseño
- Estrategia de mantenimiento

Debe activar:

- Revisión del RCM
- Actualización documental
- Evaluación de riesgos

Registros: Solicitud y evaluación de cambio.

Segmento y medición (9.1):

Indicadores mínimos:

- % de activos críticos con RCM vigente.
- Cumplimiento del plan RCM.
- Reducción de fallas funcionales críticas.
- Eventos de seguridad asociados a activos.

Auditoria y mejora continua (9.2 / 10.2):

- El procedimiento es auditable interna y externamente.

- Los hallazgos generan acciones correctivas.
- El RCM se revisa periódicamente como parte del SGA.

Registros obligatorios:

- Taxonomía de activos.
- Matriz de criticidad.
- Contexto operacional.
- Hojas RCM.
- Plan de mantenimiento.
- Gestión del cambio.

Estudio de Caso:

Planta de procesamiento de hierro, adaptada para procesar mineral de bajo tenor de **hierro**, es decir, minerales con menor contenido de Fe y mayor presencia de contaminantes como sílice y fósforo. Este tipo de mineral requiere tecnologías de beneficio más avanzadas para alcanzar los estándares comerciales de calidad.

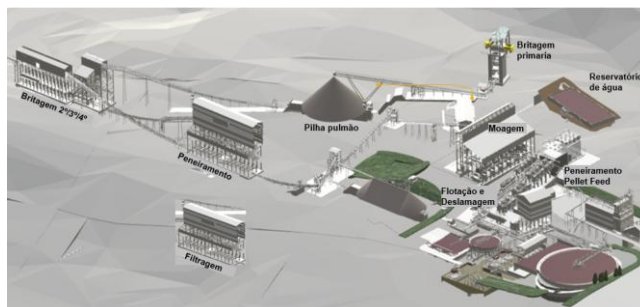


Figura 1: Croquis de la Planta Minera.

La unidad fue diseñada con una capacidad de procesamiento superior a 19 millones de toneladas por año ($\approx 19,5$ Mtpa) de mineral beneficiado.

La planta opera de forma integrada a una cadena de procesos dentro del Complejo, que incluye:



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



- Extracción del mineral y transporte hasta las plantas de beneficio.
- Procesamiento y beneficio de mineral de hierro de bajo tenor.
- Transporte a silos de distribución y embarque, utilizando principalmente la Ferrovía para exportación o suministro a plantas siderúrgicas.

Fueron seleccionadas 21 familias de activos críticos, para realizar los estudios de RCM IA [1]:

- Bombas de Pulpa
- Alimentador de Banda
- Molino de Bolas
- Hidrociclón
- Transportador de Banda
- Criba Vibratória
- Celda de Flotación
- Trituradora
- Subestación Primaria
- Subestación Secundaria
- Puente Grúa
- Espesador
- Balsa
- Bomba de Vacío
- Filtro de Disco
- Soplador
- Montacargas
- Alimentador Vibratorio
- Agitador
- Compresor
- Bombas de Pulpa Sumergida

La próxima etapa es replicar esos estudios para otros equipos similares de la Planta.

Resultados:

A duración del estudio fue de 12 meses.

Fue obtenida una reducción de 29,5% en el HH utilizado para mantenimiento.

Fueron analizados en el 5º nivel de la jerarquía:

- 169 sistemas
- 648 conjuntos
- 18491 modos de falla
- 411 grupos de Tareas
- 278 procedimientos de mantenimiento:
 - 168 ajustados / criados
 - 53 inactivados
 - 64 mantenidos
- 175 rutas analizadas

Principales ajustes hechos en los procedimientos de mantenimiento:

- Mantenimientos detectivos – Pruebas de funcionamiento de componentes, calibración de instrumentos, verificaciones de condición con el activo detenido.
- Ensayos con megóhmetro en todos los motores eléctricos.
- Frecuencia de los planes y HH de las listas de tareas.
- Estandarización al modelo de registro.
- Agrupación de actividades por sistemas.
- Descripción de las actividades.



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



Conclusión:

Solamente con la utilización del RCM IA fue posible desarrollar el trabajo en 12 meses.

El RCM IA no sustituye el analista, el ayuda el proceso.

Fue obtenida una reducción de 29,5% en el HH utilizado para mantenimiento.

53 procedimientos de mantenimiento fueran cancelados.

RCM	Mecánica	Eléctrica	Instrumentación	Total
Actual	14.622	589	356	15.568
Propuesto	9.763	631	586	10.980
Saldo	-4.859	42	230	-4.588

Tabla 4 – Reducción de HH con el nuevo RCM propuesto.

Con la replicación de los estudios de RCM para los equipos similares la ganancia del proyecto debe ser mayor.

Bibliografía:

[1] Andrade Leonardo, Teixeira Rayner, Lopes Vitor - **RCM com algoritmo Compass AI e Processo “De x Para” visando carga no CMMS** - 20º Simpósio Internacional de Confiabilidade – 2025.

NOTA

1. Ricardo Vieira do Amaral
2. Celular: +55 11 993746588
3. Dirección Oficina:
 - CTS Compass
 - Rua Domingos de Morais, 2187, sala 612 – Vila Mariana, São Paulo/SP, Brasil.
 - Email: Ricardo.amaral@ctscompass.com