

ERRORES Y OMISIONES AL APLICAR RCM: UNA VISIÓN CON APEGO METODOLÓGICO

AUTORES: CARLOS MARIO PÉREZ JARAMILLO
LAURA CÓRDOBA URIBE

PARTE 1 DE 7
CONTEXTO OPERACIONAL Y FUNCIONES

ERRORES Y OMISIONES AL APLICAR RCM: UNA VISIÓN CON APEGO METODOLÓGICO

PARTE 1 DE 7: CONTEXTO OPERACIONAL Y FUNCIONES

Soporte y Compañía es una organización que se dedica desde hace más de 30 años a capacitar y apoyar la implementación de buenas prácticas de gestión de mantenimiento; y en el intercambio normal de información al que se tiene acceso ahora, nuestros consultores reciben cada tanto tiempo preguntas, opiniones y documentos con ejemplos o casos de aplicación de diferentes métodos o metodologías comunes en el medio.

Recientemente tuvimos la oportunidad de conocer un caso de análisis donde se mencionaba que se había aplicado la metodología de *Mantenimiento centrado en confiabilidad* (RCM por sus siglas en inglés); sin embargo, encontramos errores de fondo que consideramos necesario analizar, corregir y divulgar en aras de promover un desarrollo responsable y ético de un proceso tan riguroso y estricto como lo es RCM.

RCM es una metodología con más de 50 años de trayectoria y aplicaciones exitosas alrededor del mundo; y al igual que muchos otros métodos o herramientas ha estado sujeta a modificaciones del proceso original, generalmente buscando reducir el tiempo y el esfuerzo, pero perdiendo de vista que la rigurosidad y apego metodológico son los factores claves para lograr los resultados esperados. Cuando no es así y se busca hacer las cosas más rápido, se sacrifican la profundidad, nivel de detalle y calidad de la información.

A finales de la década de los 90 un comité de la American Society of Automotive Engineers (SAE) trabajó desarrollando una norma para definir qué es y que no es RCM y normalizar la aplicación del término. La norma aprobada fue la SAE JA 1011 y su guía JA 1012, esta presenta los criterios contra los cuales se puede comparar un proceso que pretende desarrollar los principios de esta metodología. Si el proceso satisface los criterios, el usuario puede tranquilamente llamarlo un “RCM”, si por el contrario no se cumplen, el proceso o método aplicado no debería denominarse RCM.

Alineados con la norma y con una aplicación correcta de esta metodología, presentaremos en una serie de siete boletines – siendo esta la primera parte, las correcciones a los errores encontrados en el caso analizado y los fundamentos conceptuales que sustentan cada uno de los puntos que ilustraremos. Es una gran para seguir fortaleciendo las bases y el conocimiento alrededor de este proceso.

LAS 7 PREGUNTAS

El RCM se define como un proceso para determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier equipo continúe haciendo lo que sus usuarios desean que haga, en su contexto operacional actual y se desarrolla respondiendo satisfactoriamente a siete preguntas en el siguiente orden:

- ¿Cuáles son sus funciones y estándares de funcionamiento relacionados (qué quiere el usuario que haga en su contexto)?
- ¿De qué formas puede fallar (Fallas funcionales)?
- ¿Qué causa que falle (Modos de falla)?
- ¿Qué sucede cuando falla (Efectos de la falla)?
- ¿Importa si falla (Consecuencias de la falla)?
- ¿Puede hacerse algo para predecir o prevenir la falla?
- ¿Qué hacer si no se puede predecir ni prevenir la falla?

Estas preguntas aparecen en la norma SAE JA1011 de la siguiente forma:

4.1 RCM—Reliability-Centered Maintenance

5. **Reliability-Centered Maintenance (RCM)**—Any RCM process shall ensure that all of the following seven questions are answered satisfactorily and are answered in the sequence shown as follows:

- a. What are the functions and associated desired standards of performance of the asset in its present operating context (functions)?
- b. In what ways can it fail to fulfil its functions (functional failures)?
- c. What causes each functional failure (failure modes)?
- d. What happens when each failure occurs (failure effects)?
- e. In what way does each failure matter (failure consequences)?
- f. What should be done to predict or prevent each failure (proactive tasks and task intervals)?
- g. What should be done if a suitable proactive task cannot be found (default actions)?

CONTEXTO OPERACIONAL

El contexto operacional es una completa descripción del sistema a analizarse, desde lo general hasta lo más específico, y su relevancia o impacto sobre el proceso y el negocio y su definición es mandatoria en un proceso de RCM como está descrito en la norma SAE JA1011, en la página 6 en el punto 5.1.1.

5.1 Functions

5.1.1 The operating context of the asset shall be defined.

El contexto operacional es muy importante en el desarrollo de un proceso de RCM, por que define las condiciones específicas que afectan a un activo de acuerdo con diferentes variables específicas.

Este documento es clave para determinar los parámetros deseados de funcionamiento, funciones secundarias de los activos y algunos modos de falla específicos que solo ocurren bajo ciertas condiciones específicas de cada empresa. Por ejemplo, si dos empresas cuentan con activos técnicamente idénticos, la política de mantenimiento puede ser diferente, si el contexto operacional es diferente.

Para desarrollar el contexto se deben tener en cuenta los siguientes factores:

- Estándares de operación y calidad
- Disponibilidad de equipos de respaldo
- Estándares medioambientales
- Disponibilidad de repuestos, herramientas y personal
- Estándares de seguridad
- Organización de turnos

Durante su elaboración es recomendable describir tres secciones:

Contexto del grupo empresarial:

- Principales divisiones de la organización o grupo
- Localización de las operaciones y capacidad

Contexto del área:

- Operaciones realizadas el área
- Proceso del que hace parte el activo
- Capacidad operacional del área o del proceso
- Área de mantenimiento: quienes conforman el área según su especialidad, divisiones, organigrama, turnos de trabajo, contratistas usados.
- Políticas de repuestos y almacén
- Políticas de herramientas, equipos de soporte y máquinas herramienta

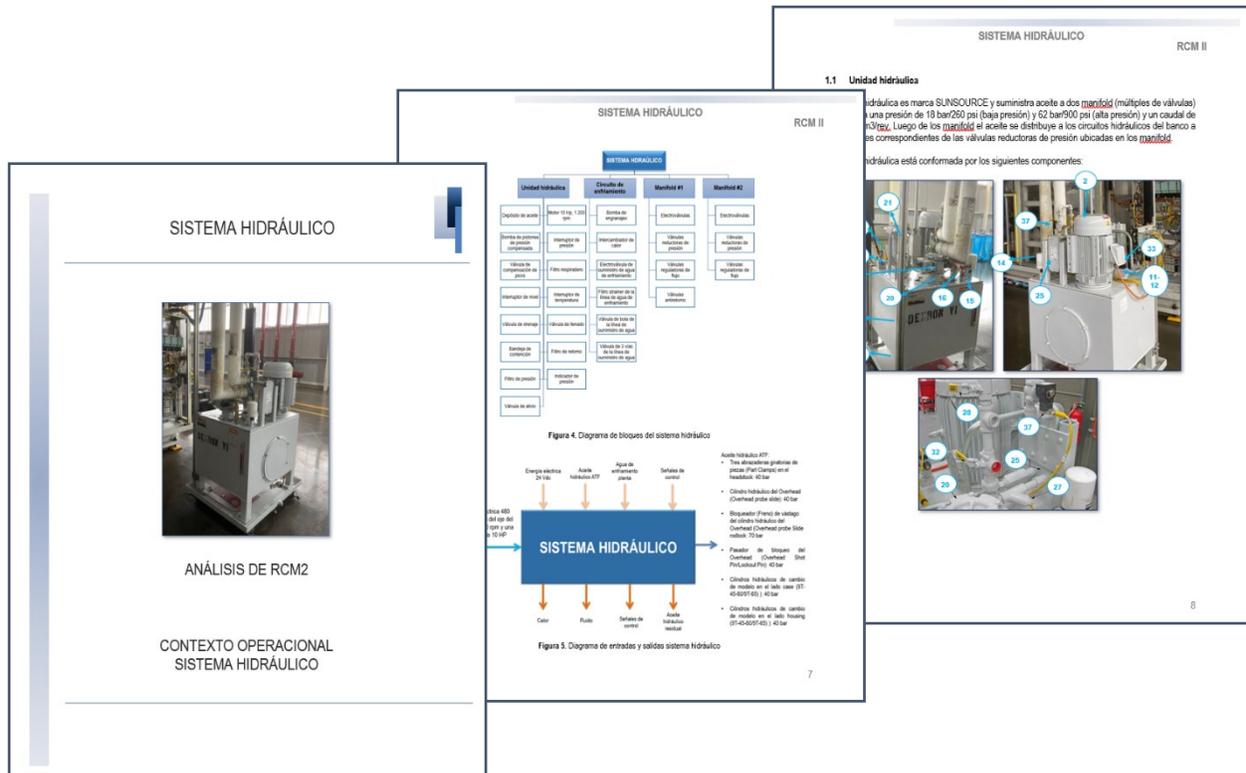
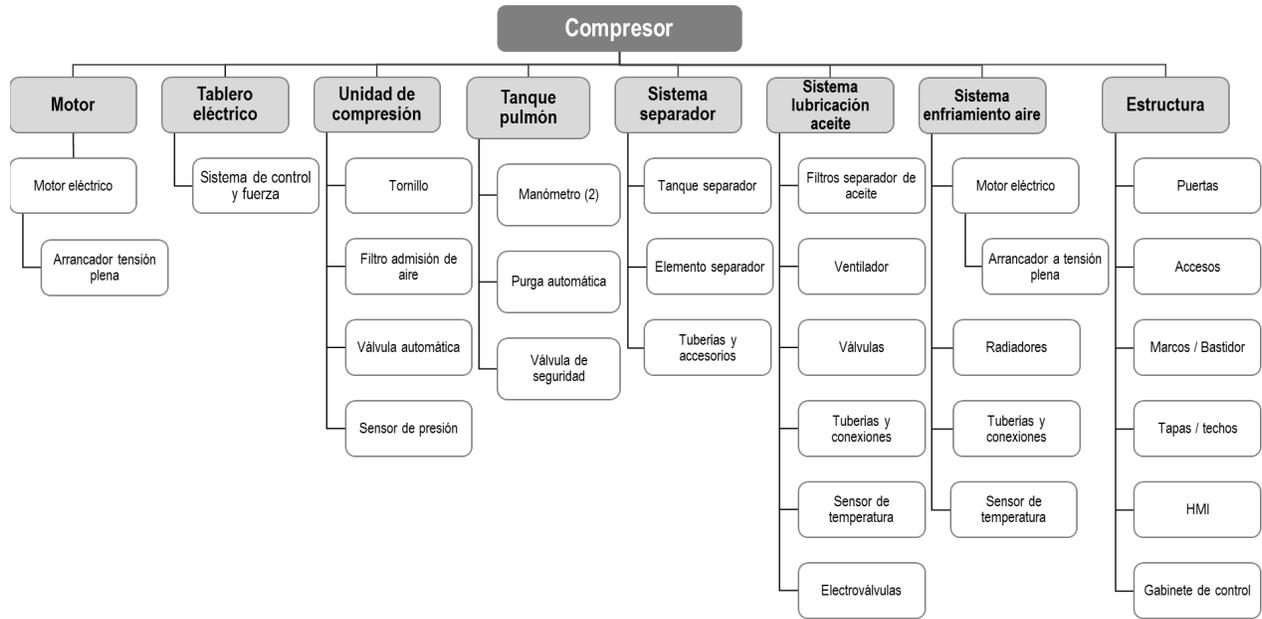
Contexto operacional del activo:

- Descripción del activo: función, parámetros de funcionamiento, análisis de identidad (único o hay más), ambiente de operación, funcionamiento continuo o por lotes, manual o automático, equipos de respaldo, estándares de calidad, medioambientales, riesgos para la seguridad, turnos de trabajo, tiempo de reparación, demanda del activo y abastecimiento del activo
- Diagramas eléctricos, neumáticos, eléctricos, P&D, entre otros.
- Fotos, esquemas, planos, etc.
- Diagrama de bloques del activo
- Diagrama de entradas y salidas
- Consecuencias de la no operación del activo: ¿Qué pasa si el equipo deja de operar?, ¿Cuánto le cuesta a la empresa?, ¿Qué pasa si el equipo opera por debajo del nivel deseado?, ¿Qué procesos afecta?
- Descripción de componentes: función del componente, parámetros de funcionamiento, capacidad del componente, equipos de respaldo del componente, condiciones de operación, materiales de fabricación, descripción de los dispositivos de protección como alarmas, detenciones, interlock, permisivos, entre otros.

Finalmente, el listado de funciones debe estar en la parte final del contexto operacional.

Los contextos operacionales requieren de diagramas de bloques que, además de facilitar la descripción, permitan revisar los elementos para definir las funciones. Por su parte, los elementos deben estar coordinados en cuanto a nombres, códigos o indicativos para que haya coherencia entre el texto y los esquemas.

A continuación, un ejemplo de un diagrama de bloques y de las páginas de un contexto.



PREGUNTA 1: FUNCIONES

De acuerdo con la norma SAE JA1011 es necesario listar todas las funciones (las primarias y secundarias, incluyendo los dispositivos de protección), con todos sus parámetros de funcionamiento asociados (cuantificados siempre que sea posible).

Las funciones permiten definir qué hace un activo o sistema, o “que quiere el usuario que se mantenga”. Si las funciones de los activos no son definidas, no se sabe a ciencia cierta para qué se deben hacer las tareas de mantenimiento.

5.1.2	All the functions of the asset/system shall be identified (all primary and secondary functions, including the functions of all protective devices).
5.1.3	All function statements shall contain a verb, an object, and a performance standard (quantified in every case where this can be done).
5.1.4	Performance standards incorporated in function statements shall be the level of performance desired by the owner or user of the asset/system in its operating context.

La descripción debe incluir:

UN VERBO + UN OBJETO + UN PARÁMETRO DE FUNCIONAMIENTO

Para ilustrar cómo debe llevarse a cabo este paso, se tomará el caso analizado y mencionado al inicio, para señalar los errores y presentar la forma correcta de hacerlo.

- **Sistema:** tratamiento de agua de producción - inyección de agua
- **Equipos principales:** motobombas de inyección de agua - motor Toshiba - bomba multietapas Summit Halliburton

Forma incorrecta de describir la función		Forma correcta	
1	Bombear (Inyectar) agua tratada a una presión de descarga de 2100 PSI y un caudal de 30000 Bls/día a manifold de descarga direccionado hacia los pozos inyectoros.	1	Suministrar agua tratada a una presión de 2,100 psi y un caudal de 30,000 Bls/día a los pozos inyectoros.
2	Garantizar la contención del fluido de proceso - Sistema de Sellado	2	Contener el fluido de proceso
3	Mantener el aceite de la cámara de empuje refrigerado. Sistema de refrigeración de aceite.	3	Mantener el aceite de la cámara de empuje entre xx °C y xx °C
4	Generar una potencia de 1750 HP a un voltaje de 4160 V y corriente de 155 A. Motor Eléctrico MT	4	Transmitir movimiento a la bomba de suministro de agua tratada a un torque de XX N.m y velocidad de XXX rpm

Forma incorrecta de describir la función		Forma correcta	
5	Permitir el arranque y regular la frecuencia de operación del motor eléctrico principal de acuerdo a las condiciones de proceso. Variador de Frecuencia	5	Variar la frecuencia de operación del motor de la bomba de 0 a 60 HZ haciendo que el motor gire en un rango de 0 a xxx rpm
6	Eleva el voltaje de salida del variador de frecuencia y reducir los armónicos de corriente de entrada (THD) a niveles inferiores al 10%. Transformador SUT y Hexafasico	6	Convertir el voltaje de salida del variador de frecuencia de XXX V a XXX V
		7	Reducir los armónicos de corriente de entrada (THD) al variador de frecuencia a niveles inferiores al 10%.
7	Aliviar presión en la descarga de la bomba. Válvula de Seguridad de Descarga.	8	Liberar la presión a la atmósfera en el evento que la presión en la descarga de la bomba exceda XXX psi
8	Aliviar presión en la succión de la bomba. Válvula de Seguridad de Succión.	9	Liberar la presión a la atmósfera en el evento que la presión en la succión de la bomba exceda XXX psi
9	Controlar las diferentes variables de operación de la unidad funcional *Temperatura rodamientos Motor Principal. * Temperatura Devanado Motor Principal * Flujo (Alta . Baja) *Presión de Succión (Baja-Alta) * Presión descarga (Baja - alta) * Vibración Cámara de Empuje * Vibración Bomba. * Temperatura Aceite Cámara de empuje (Alta)	10	Indicar en el cuarto de control la temperatura de los rodamientos del motor de la bomba con una desviación máxima de ± 1 % del valor real
		11	Activar una alarma visual en el cuarto de control cuando la temperatura de los rodamientos del motor de la bomba exceda XXX °C
		12	Detener el motor de la bomba cuando la temperatura de los rodamientos del motor de la bomba exceda XXX °C
		13	Indicar en el cuarto de control la temperatura del devanado del motor de la bomba con una desviación máxima de ± 1 % del valor real
		14	Activar una alarma visual en el cuarto de control cuando la temperatura del devanado del motor de la bomba exceda XXX °C
		15	Detener el motor de la bomba cuando la temperatura del devanado del motor de la bomba exceda XXX °C
		16	Indicar en el cuarto de control el flujo de agua tratada con una desviación máxima de ± 1 % del valor real
		17	Activar una alarma visual en el cuarto de control cuando el flujo de agua tratada sea mayor a XXX l/s
		18	Detener el motor de la bomba cuando el flujo de agua sea mayor a XXX l/s

Forma incorrecta de describir la función		Forma correcta	
9	<p>Controlar las diferentes variables de operación de la unidad funcional</p> <ul style="list-style-type: none"> *Temperatura rodamientos Motor Principal. * Temperatura Devanado Motor Principal * Flujo (Alta . Baja) *Presión de Succión (Baja-Alta) * Presión descarga (Baja - alta) * Vibración Cámara de Empuje * Vibración Bomba. * Temperatura Aceite Cámara de empuje (Alta) 	19	Activar una alarma visual en el cuarto de control cuando el flujo de agua sea menor a XXX l/s
		20	Detener el motor de la bomba cuando el flujo de agua tratada sea menor a XXX l/s
		21	Indicar en el cuarto de control la presión de succión de la bomba con una desviación máxima de $\pm 1\%$ del valor real
		22	Activar una alarma visual en el cuarto de control cuando la presión de succión de la bomba sea menor a XXX psi
		23	Detener el motor de la bomba cuando la presión de succión de la bomba sea menor a XXX psi
		24	Activar una alarma visual en el cuarto de control cuando la presión de succión de la bomba sea mayor a XXX psi
		25	Detener el motor de la bomba cuando la presión de succión sea mayor a XXX psi
		26	Indicar en el cuarto de control la presión de descarga de la bomba con una desviación máxima de $\pm 1\%$ del valor real
		27	Activar una alarma visual en el cuarto de control cuando la presión de descarga de la bomba sea mayor a XXX psi
		28	Detener el motor de la bomba cuando la presión de descarga sea mayor a XXX psi
		29	Activar una alarma visual en el cuarto de control cuando la presión de descarga de la bomba sea menor a XXX psi
		30	Detener el motor de la bomba cuando la presión de descarga sea menor a XXX psi
		31	Indicar en el cuarto de control la vibración en la cámara de empuje con una desviación de $\pm 0.5\%$ del valor real
		32	Activar una alarma visual en el cuarto de control cuando la vibración en la cámara de empuje exceda XXX mm/s
33	Detener el motor de la bomba cuando la vibración en la cámara de empuje exceda XXX mm/s		
34	Indicar en el cuarto de control la vibración en la bomba con una desviación máxima de $\pm 0.5\%$ del valor real		

Forma incorrecta de describir la función		Forma correcta	
9	Controlar las diferentes variables de operación de la unidad funcional *Temperatura rodamientos Motor Principal. * Temperatura Devanado Motor Principal * Flujo (Alta . Baja) *Presión de Succión (Baja-Alta) * Presión descarga (Baja - alta) * Vibración Cámara de Empuje * Vibración Bomba. * Temperatura Aceite Cámara de empuje (Alta)	35	Activar una alarma visual en el cuarto de control cuando la vibración en la bomba exceda XXX mm/s
		36	Detener el motor de la bomba cuando la vibración en la bomba exceda XXX mm/s
		37	Indicar en el cuarto de control la temperatura del aceite en la cámara de empuje con una desviación de $\pm 1\%$ del valor real
		38	Activar una alarma visual en el cuarto de control cuando la temperatura del aceite en la cámara de empuje exceda XXX °C
		39	Detener el motor de la bomba cuando la temperatura del aceite en la cámara de empuje exceda XXX °C
10	Permitir la apertura y cierre del paso de la energía eléctrica. Celda Eléctrica	40	Análisis por separado (*)

El análisis anterior fue elaborado con la información registrada en el caso en mención, sin embargo, además de los errores presentados, se identifica la ausencia de algunas funciones claves y que se indican a continuación. Es importante tener en cuenta que, si el listado de funciones no está completo, no será posible identificar todas las fallas funcionales, ni todos los modos de falla posibles y así las estrategias no serán adecuadas.

- Indicar localmente la presión en la descarga de la bomba con una desviación máxima de $\pm 1.6\%$ del valor real
- Indicar localmente la presión en la succión de la bomba con una desviación máxima de $\pm 1.6\%$ del valor real
- Prevenir que partículas superiores a $5\ \mu\text{m}$ ingresen a la bomba
- Soportar hasta **XX kg** del conjunto motor-bomba
- Soportar hasta **XX kg** de las tuberías
- Contener agua tratada en caso de derrames
- Indicar las características técnicas de la bomba a una persona de visión normal a 30 cm de distancia
- Indicar los códigos de construcción de los activos del sistema de suministro de agua tratada a una persona de visión normal a 20 cm de distancia
- Lucir de acuerdo con los estándares corporativos

- Los parámetros se encuentran marcados en color rojo y con letras “XXX” debido a que no se cuenta con el contexto operacional, documento en el cual deben estar registrados estos valores. Adicionalmente, es posible que algunas funciones no estén siendo consideradas; esto ilustra lo importante de redactar el contexto operacional como primer paso en cualquier análisis, no realizarlo desencadena que la información y decisiones que se tomen en los siguientes pasos no sean correctas.
- (*) Las celdas eléctricas de media tensión (4.160 V) se deben realizar como un análisis por separado ya que pueden tener más de 40 funciones dependiendo del tipo de celda y las protecciones eléctricas configuradas. Si no se realiza el análisis de la celda, el análisis del sistema de bombeo queda incompleto.
- Los motores eléctricos también se deben realizar como un análisis por separado. A continuación, se muestra un ejemplo del listado de funciones de un motor:
 1. Transmitir movimiento al equipo con un torque de **XX N.m** y una velocidad de **xx rpm**
 2. Permitir agregar grasa a los rodamientos del motor del equipo
 3. Permitir drenar la grasa de los rodamientos del motor del equipo
 4. Prevenir el contacto directo de las personas no autorizadas y el ingreso de objetos extraños con la caja de conexiones
 5. Prevenir el contacto directo con el ventilador del motor
 6. Disipar el calor del interior del motor
 7. Detener el motor del equipo en el evento que la corriente sea mayor de **xx A** por más de **yy seg** durante el arranque
 8. Detener el motor del equipo en el evento que la corriente sea mayor de **xx A** por más de **yy seg** en operación normal
 9. Detener el motor del equipo en el evento que se produzca un corto circuito
 10. Detener el motor del equipo en el evento que la tensión sea mayor de **xx V** por más de **zz seg**
 11. Detener el motor del equipo en el evento que la tensión sea menor de **xx V** por más de **zz seg**
 12. Prevenir la formación de corrientes parasitas y estáticas en el motor del equipo
 13. Activar una alarma visual y sonora en cuarto de control de alta temperatura de bobinado del motor del equipo cuando es superior a **xx °C**
 14. Activar una alarma visual y sonora en cuarto de control de alta-alta temperatura y detener el motor del equipo cuando la temperatura de bobinado del motor es superior a **xx °C**
 15. Permitir izar el motor
 16. Indicar las características técnicas del motor a una persona de visión normal a **xx cm** de distancia
 17. Indicar que existe “riesgo eléctrico” en el motor del equipo a una persona de visión normal a **xx cm** distancia
 18. Lucir de acuerdo con los estándares corporativos

Como conclusión de esta primera entrega, queremos resaltar que el apego metodológico nunca debe ser negociable en un profesional de ingeniería especialmente cuando se enseña, divulga, aplica y revisa.

BIBLIOGRAFÍA

JA1011_199908: Evaluation criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) processes - SAE international. (s/f). Sae.org, de https://www.sae.org/standards/content/ja1011_199908/

JA1012_201108: A Guide to the Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard - SAE international. (s/f). Sae.org, de https://www.sae.org/standards/content/ja1012_201108/

Moubray, J. (2004). Reliability Centered Maintenance (2a ed.). Aladon.

Pérez J, Carlos. (2020). Recomendaciones para la aplicación de RCM2. Soporte y Compañía S.A.S.

Todos los derechos de autor reservados corresponden a Soporte y Compañía S.A.S. Ninguna parte de este artículo se puede reproducir, traducir, transmitir, distribuir, exhibir, divulgar, almacenar o explorar en un sistema de recuperación para cualquier propósito, en cualquier forma, o por ningún medio, electrónico o mecánico, incluyendo la fotocopia y la registración, sin el permiso escrito expreso de Soporte y Compañía S.A.S. La infracción de dichos derechos puede constituir un delito contra la propiedad intelectual.

**SI DESEA CONOCER MÁS INFORMACIÓN SOBRE LA
CORRECTA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE RCM, LO
INVITAMOS A VISITAR NUESTRA PÁGINA WEB:**

WWW.SOPORTEYCIA.COM