

MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONDICIÓN (MBC), APLICADO A UN ELEMENTO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN DE MEDIA TENSIÓN PARA SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Túnel San Rafael, km 6+257 a km 7+641km tramo La Paz – límite departamental con el Beni,
carretera Cotapata – Santa Bárbara

Carlos Eduardo Andrade Mallea*

RESUMEN	ABSTRACT	RESUMO
<p>El Túnel San Rafael (longitud 1384 m) del tramo La Paz – límite departamental con el Beni parte de la ruta fundamental F-03, requiere continuamente del suministro de energía eléctrica que sirve principalmente para la iluminación, mandos técnicos y señalización de tránsito, ventilación al interior y de las galerías de escape de emergencia.</p> <p>Suministro que se alimenta a través de una subestación de media tensión (24,9 Kv línea de Pichu-Túnel) y de la cual proviene su transformación a (400 V), incorporando para su trabajo ininterrumpido un sistema de protección, que como todo sistema electromecánico requiere de políticas, planes y operaciones de mantenimiento. Proponiendo en consecuencia la aplicación del MBC (Mantenimiento Basado en la Condición) a uno de sus elementos importantes (motor-reductor) tomando en cuenta el grado de criticidad que presenta.</p> <p>PALABRAS CLAVES: Mantenimiento Basado en la Condición MBC, media tensión eléctrica, protección, interruptor, motor-reductor, Indicador adecuado de la condición, Estimador adecuado de la condición.</p>	<p>The San Rafael Tunnel (length 1384 m) of the La Paz section - the departmental boundary with the Beni part of the fundamental route F-03, requires continuous supply of electrical energy that serves mainly for lighting, technical controls and traffic signaling, ventilation To the interior and of the emergency escape galleries.</p> <p>Supply that is fed through a medium voltage substation (24.9 Kv Pichu-Tunnel line) and from which it comes its transformation to (400 V), incorporating for its uninterrupted work a protection system, which like any system Electromechanical requires policies, plans and maintenance operations. Proposing therefore the application of the MBC (Condition-Based Maintenance) to one of its important elements (motor-reductor) taking into account the degree of criticality that it presents.</p> <p>KEYWORDS: Maintenance Based on Condition MBC, medium voltage, protection, switch, motor-reducer, Relevant Condition Indicator RCI, Relevant Condition Predictor RCP.</p>	<p>Túnel San Rafael (comprimento 1384 m) do La Paz - departamental limite com Beni parte da rota básica F-03, exige continuamente a fonte de alimentação que serve principalmente para a iluminação, controle técnico e sinalização de tráfego, ventilação dentro e galerias de fuga de emergência.</p> <p>De alimentação que alimenta por meio de uma subestação de média tensão (24,9 kV Pichu-túnel) e que trata de processamento (400 V), incorporando para o sistema de proteção de trabalho ininterrupto, como todos os sistemas que eletromecânico requer políticas, planos e operações de manutenção. Consequentemente propôs a aplicação de MBC (Condition Based Maintenance) a um dos seus principais elementos (moto-reductor), tendo em conta o grau de criticidade apresentada.</p> <p>PALAVRAS-CHAVE: Based Maintenance Condição MBC, interruptor de proteção de média tensão, reductor do motor, o indicador apropriado da condição, estimador da condição adequada.</p>
<p>History of the Article: Received 30/06/2017. Style review 05/07/2017. Accepted 09/07/2017</p>		

INTRODUCCIÓN

Mantenimiento Basado en la Condición MBC

Política de mantenimiento basada en el (Examination Based Maintenance, EBM), donde se ejecutan tareas de control condicional a través de exámenes periódicos que determinan la condición¹ observada en el elemento o sistema, hasta donde sea necesario efectuar una acción de mantenimiento preventivo. Sin embargo, para aumentar el tiempo de utilización de los elementos y partes que son sustituidos preventivamente, conservando una baja probabilidad de falla durante la operación, es importante conseguir más información sobre su comportamiento a lo largo del proceso de operación. En consecuencia, una información más completa del proceso de cambio en la condición, deriva en un tiempo más alto de utilización de los elementos, disminuyendo también la probabilidad de falla durante la operación.

Por otra parte el (Examination Based Maintenance, EBM), es un proceso dinámico, porque el tiempo para la realización del siguiente examen se determina a partir de la condición real del sistema al efectuar cada examen. Este control dinámico de las tareas de mantenimiento según el nuevo modelo, permite que cada sistema individual realice la función requerida con la probabilidad de falla exigida, similar al mantenimiento preventivo basado en la vida del sistema, pero con una utilización más completa del ciclo operativo, reduciendo de esta manera el costo total de operación y producción.

¹ Estado, situación en que se encuentra algo y en especial cada uno de sus sucesivos modos de ser o estar.

Parámetros de vigilancia de la condición

En la práctica ingenieril hay dos tipos diferentes de parámetros que permiten evaluar la condición del elemento o sistema:

1 (Relevant Condition Indicator RCI) Indicador adecuado de condición

Este es un parámetro observable que indica la condición del elemento o sistema, en el instante de **comprobación**. Ejemplos típicos RCI:

- Niveles de: presión, líquido de dirección asistida, vibración, ruido, aceite, agua, líquido de frenos, anticongelante, líquido del limpiaparabrisas.
- Velocidad en (ralentí) del motor.
- Tensión de la correa del alternador o de la bomba de agua.
- Recorrido del pedal de embrague, o del freno de mano.
- Geometría de las ruedas.

La condición del elemento o sistema será satisfactoria mientras el valor del RCI se mantenga sin alcanzar un nivel crítico, RCI_{cr}. Cuando se alcanza este nivel, debe realizarse la tarea de mantenimiento necesaria, porque la falla ocurrirá tan pronto como el parámetro alcance su valor límite, RCI_{lim}.

2 (Relevant Condition Predictor RCP) Estimador adecuado de la condición

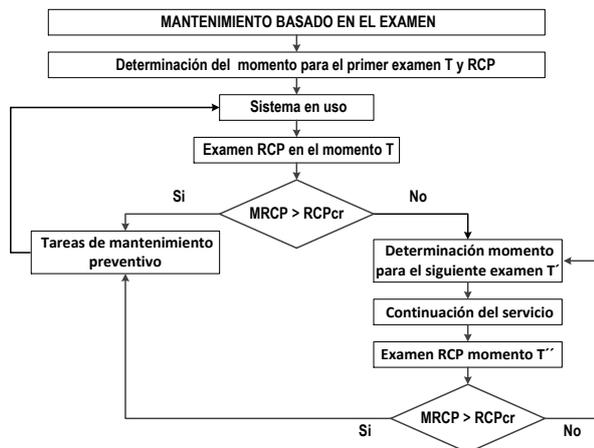
El estimador adecuado de la condición, RCP, es un parámetro observable que describe la **condición del elemento** en cada instante del tiempo operativo. Normalmente, este parámetro está relacionado directamente con la forma, geometría, peso y otras

características que describen la condición del elemento considerado. Típicos ejemplos de RCP son:

- Grosor de las paredes de tuberías, de pastillas y zapatas de freno, del disco de freno, del disco de embrague.
- Longitud de grietas, profundidad de dibujo de un neumático.
- Diámetro del cilindro, etc.

Por lo general, la condición del elemento o sistema es satisfactoria mientras el RCP mantenga un valor que no alcance su estado crítico RCPcr. En este punto deberá realizarse tareas de mantenimiento preventivo, porque la falla ocurrirá tan pronto como el parámetro alcance su valor límite RCPlim.

Es necesario indicar que el RCP no puede tener valores idénticos para dos o más instantes de tiempo. La figura 1, muestra el algoritmo de control del proceso MBC examination.



Fuente: Knezevic, J., 1996, Mantenimiento, Primera Edición., ISDEFE, Madrid – España

Figura 1: Algoritmo de control proceso MBC examination

DESARROLLO

En la actualidad la aplicación de tipos y políticas de mantenimiento complementarias a las tradicionales ha cobrado mucho interés por profesionales de distintas especialidades que pretenden subir el nivel de disponibilidad y fiabilidad de sus plantas, maquinarias y equipos. Es este sentido que una de las políticas de MBC, Maintenance Based on the Condición (Mantenimiento Basado en la Condición) puede ser aplicada principalmente cuando los niveles de criticidad² son muy altos.

Sistemas de protección de media tensión o voltaje

Utiliza interruptores de media tensión generalmente aislados en gas, que proporcionan mando y protección, desde la subestación de transformación y distribución al cliente industrial.

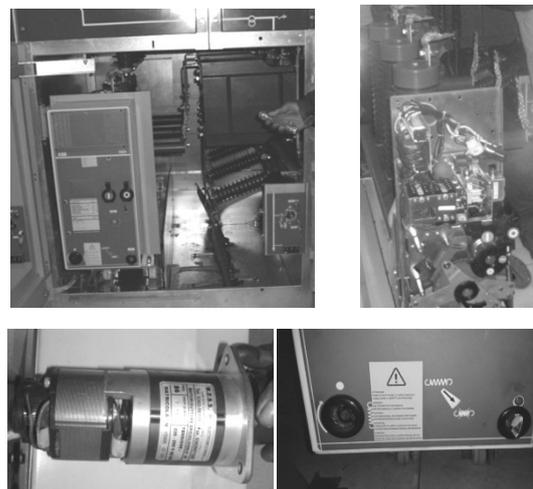
Protección media tensión, Túnel San Rafael

En el caso específico del suministro de energía eléctrica a lo largo del túnel San Rafael, se opera con un **interruptor de media tensión** refrigerado por gas

² Es un indicador proporcional al riesgo que permite establecer una estructura de categorías o prioridades, facilitando así la toma de decisiones y la concentración de esfuerzos y recursos en las áreas donde es urgente mejorar la confiabilidad y reducir el riesgo de procesos, sistemas y equipos.

hexafluoruro de azufre³ (SF₆) para distribución secundaria HD4 ABB, que consta entre todos sus componentes de **un motor reductor de 24 VC** que automáticamente realiza el tensado de los **resortes** del mando tras la maniobra de cierre, y de un **interruptor magnetotérmico** de protección. Cuyas Características eléctricas son las siguientes:

- Potencia de arranque 1500 VA / W.
- Potencia continuativa 400 VA / W.
- Tiempo de carga de 7 a 10 s.
- 4L 230 (220/240 V) 50 Hz.



Crédito: C.E. Andrade M., 2016

La operación que realiza es alimentar el motor - reductor de carga de los resortes con la tensión asignada correspondiente. Los resortes cierre del mando del interruptor se cargan regularmente, tras cada maniobra de cierre del sistema, con los resortes cargados, el motor-reductor deja de funcionar. La señal de la acción realizada se evidencia con la aparición del indicador “amarillo” de resorte cargado.

En caso de falta de tensión durante la carga, el motor deja de funcionar y retoma automáticamente la recarga cuando vuelve la alimentación.

Aplicación MBC

El objetivo principal de esta investigación fue establecer criterios de sustitución de los elementos de mayor desgaste en el **motor-reductor** y determinar una estrategia para el control, a fin de alcanzar los siguientes objetivos específicos:

- Suministrar el nivel exigido de fiabilidad.
- Prolongar la vida operativa alcanzable.
- Reducir los costes de mantenimiento.

Para alcanzar estos objetivos mediante el mantenimiento basado en el examen, deben considerarse las cinco actividades o etapas siguientes:

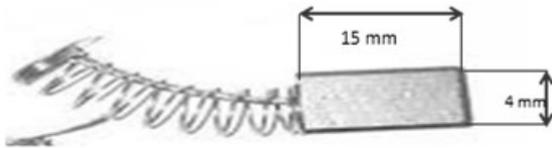
1. Identificación de un **Estimador de Condición (RCP)**.
2. Identificación del **Estimador de Mantenimiento (RMP)**.
3. Determinar las condiciones reales de operación del componente.

³ Gas refrigerante aislador de aire de alta fuerza dieléctrica y estabilidad termal; aplicable para ambos, equipos de medio y alto voltaje.

4. Ejecución de las pruebas de duración para simular las condiciones operativas actuales.
5. Establecer una estrategia de mantenimiento apropiada.

1. Identificación de un Estimador de Condición (RCP)

La posibilidad de no suministrar continuamente energía eléctrica al sistema se debe a deficiencias en el funcionamiento del motor-reductor y del interruptor automático, que a su vez tiene como una de las principales causas el desgaste de los carbones, que por recomendación de los fabricantes no debería llegar a ser menor de 4mm. (Las dimensiones del carbón inicial son: L=15 mm; A=4 mm; H=4 mm).



Mínima dimensión de desgaste que se alcanzaría llegando a 320 pulsaciones aproximadamente.

2. Identificación del Estimador de Mantenimiento (RMP)

El motor-reductor comienza su funcionamiento inmediatamente después de efectuado el cierre (energización), con el pulsador, el mismo que tarda 10 s, registrándose en el contador una acción más, es decir que existe una relación directa entre la pulsación, la operación del motor-reductor y el incremento en el contador; por lo que se adoptó este último como el **estimador adecuado de mantenimiento**.



Efectuando en los interruptores pruebas sobre el número de pulsaciones y el funcionamiento del motor-reductor, además de contabilizar las mismas, comparadas con la duración de los carbones respectivos, los datos actuales de cada uno de los interruptores, proporciona que el promedio de pulsaciones corresponde a 280 en 15 meses.

3. Determinar las condiciones reales de operación del componente

El ritmo de deterioro del sistema y en especial de los carbones está en relación con el número de veces que fue operado el motor-reductor. Se debe tomar en cuenta que el interruptor no puede ser pulsado sino después de tres minutos, estas pulsaciones dependerán de la necesidad de cerrar el interruptor cada vez que éste se activa ya sea por causa de sobre tensiones, faltas de fase o corto circuito y/o por el accionamiento de las protecciones.

4. Ejecución de las pruebas de duración para simular las condiciones operativas actuales

Prueba de desgaste acelerado: se tomaron tres juegos de carbones, reduciendo a la mitad su longitud, es decir de 15 mm a 7,5mm, probándolos con procedimientos iguales y bajo las mismas condiciones es posible efectuar en el transcurso de una hora 15 pulsaciones y durante 10 horas 150 pulsaciones, que representa aproximadamente a 7,5 meses de funcionamiento normal (que teóricamente estaría próximo a la falla por debajo de los 4mm).

Es importante considerar que se ha incrementado un minuto como margen de seguridad, por lo que solo se puede oprimir el pulsador después de cuatro minutos. Por otra parte el tiempo de la toma de mediciones, que implica la apertura del sistema, la

extracción de los carbones y la toma de dimensiones, que suman 15 minutos, se ha establecido también que las medidas estarán registradas cada hora, es decir, después de 15 pulsaciones, lo que representa un trabajo total de nueve horas.

5. Establecer una estrategia de mantenimiento apropiada

Se determinó como un Estimador de Condición (RCP) a la longitud de los carbones del motor-reductor y como Estimador de Mantenimiento» (RMP) al número de pulsaciones que tiene el interruptor HD4. Así, la estrategia de mantenimiento estará basada en el **seguimiento del número de pulsaciones del interruptor HD4**, lo que permitiría determinar el **estado de condición de los carbones** componentes del **motor-reductor**, a fin de efectuar su **reposición** en el momento más oportuno.

CONCLUSIONES

El MBC (Mantenimiento Basado en la Condición) a través de la aplicación del MBC examination y la identificación de estimadores de condición RCP y de mantenibilidad RMP, presenta las siguientes ventajas:

- Proporciona el nivel de fiabilidad requerido para el motor-reductor, disminuyendo el riesgo de falla.
- Reduce el coste de mantenimiento como resultado de:
 - Una vida operativa más larga para los carbones como elemento individual, que en el caso de aplicar el mantenimiento preventivo basado en el ciclo de vida del elemento.
 - Mayor disponibilidad del elemento (carbones) gracias a la reducción del número de inspecciones, comparado con un mantenimiento basado en la inspección.

Desde la perspectiva del apoyo logístico, influye en una mejor planificación de los trabajos de mantenimiento, permitiendo programar con mayor detalle los tiempos de reposición.

Efectuado el análisis y aplicación del Mantenimiento Basado en la Condición (MBC), para un elemento del sistema de protección de media tensión motor-reductor. Se puede generalizar indicando que el MBC, es aplicable a casi a todos los elementos de la Ingeniería.

BIBLIOGRAFÍA

- Supervisión carretera Cotapata - Santa Bárbara Túnel San Rafael, <https://www.connalsrl.com/preliminar/obras.aspx>, Consulta: 20/06/2017,
- Knezevic, J., 1996, Mantenimiento, 1^{era} Ed., ISDEFE, Madrid – España,
- Peralta, U. R., 2002, Principios y fundamentos de la Ingeniería de Mantenimiento, La Paz – Bolivia,
- Tavares, L., Administración moderna del mantenimiento,
- ABB, Manual HD4/R interruptor de media tensión aislado en gas SF₆ para distribución secundaria,
- Amendola, L., 2002, Organización y Gestión del mantenimiento, Valencia – España,
- ABC, 2005, Manual del mantenimiento sistemas electromecánicos TSR,
- Meccanica elettromeccanica, Manual motoreductor, S.S.MESS SRL, Lombardía – Italia.

(*), MSc. Ingeniero Mecánico, Docente Carrera de Mecánica Automotriz y actual Director Instituto de Investigaciones y Aplicaciones Tecnológicas IIAT, Facultad de Tecnología – UMSA.