

Aplicación de la metodología RCM al mantenimiento de los motores de agujas en Metro LigerO Oeste

Application of the RCM methodology to the maintenance of the point machines in the West Light Rail Lines

Juan Ignacio Romero*

Director de Operación y Recursos Humanos en Metro LigerO Oeste

Óscar Díez Bayón*

Gerente de Ingeniería y Mantenimiento

Resumen

En el proyecto “Aplicación de la metodología RCM al mantenimiento de los motores de agujas en Metro LigerO Oeste”, la metodología RCM se ha aplicado sobre un motor de agujas genérico, en el que mediante un AMFE (Análisis de los Modos de Fallo y de sus Efectos) se han analizado los modos de fallo, sus causas y efectos para establecer una criticidad y, posteriormente, determinar las causas y plantear posibles acciones de mantenimiento a acometer. El mayor logro del proyecto ha sido llevar a cabo el diseño y aplicación de un proceso de análisis RCM a los motores de aguja del Metro LigerO Oeste, obteniéndose un nuevo programa de mantenimiento preventivo que permite adecuar las tareas y frecuencias aplicables según el entorno operativo específico de cada uno de los dispositivos considerados.

Palabras clave: Motores de agujas, RCM, mantenimiento, Metro LigerO, Metro LigerO Oeste, MLO.

Abstract

In the project Application of the RCM methodology to the maintenance of the point machines in the West Light Rail Lines system, the RCM methodology was applied to a generic, universal point machine. The failure modes, causes and effects of the failures were analyzed by applying an FMEA (Failure Mode and Effects Analysis), in order to establish levels of critical importance and later to determine the causes and propose possible maintenance actions to be carried out. The project's greatest achievement has been the preparation and application of an RCM analysis process to the West Light Rail Lines's point machines, creating a new preventive maintenance program that adjusts the tasks and applicable frequencies according to the specific operating environment of each of the devices included.

keywords: Point machines, RCM, maintenance, Light Rail.

* juanignacio.romero@metroligero-oeste.es, oscar.diezbayon@gmail.com

En todo sistema de transporte la prestación de servicio de manera regular y segura tiene una importancia fundamental. Para su consecución, los motores de agujas adquieren una especial relevancia dado que es el sistema que permite el desplazamiento del vehículo de una vía a otra. El proyecto ha consistido en establecer una metodología, práctica y sencilla, de mantenimiento y gestión a los motores de agujas de la explotación de Metro Liger Oeste, incrementando la eficiencia de la explotación mediante la optimización del plan de mantenimiento preventivo vigente para dichos motores de agujas.

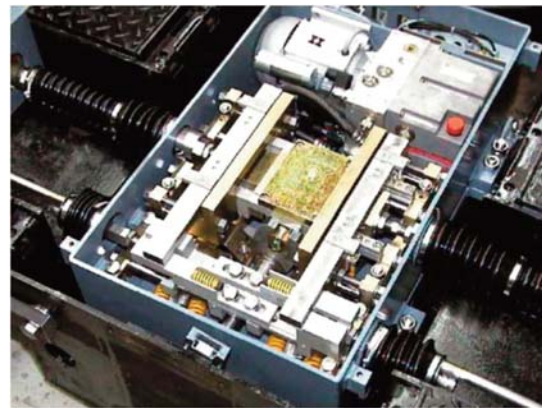


Figura 1. Motor de agujas

Para ello, se ha considerado la metodología RCM (Reliability Centered Maintenance), “Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad”, como la más apropiada para lograr tal fin, ya que sus principios conceptuales se adaptan perfectamente a la resolución de la problemática introducida por el sistema considerado, a saber: gran número de dispositivos iguales en entornos operativos distintos.

El objetivo principal del RCM es establecer el mantenimiento adecuado para conseguir el máximo beneficio en la explotación de un determinado dispositivo, centrándose en conservar la funcionalidad del sistema y teniendo en cuenta las especificidades de la instalación y su entorno operativo. Es una metodología de análisis sistemático, objetivo y documentado, aplicable a cualquier tipo de instalación industrial y muy adecuada para la implantación u optimización de un plan de mantenimiento preventivo que contribuye a la mejora de la confiabilidad de la misma y, por consiguiente, al incremento de la rentabilidad de los activos físicos implicados.

La dificultad y, a su vez, parte más creativa del trabajo realizado ha sido aplicar la metodología RCM de forma eficiente, siendo rigurosos en la aplicación de sus principios pero planteando un proceso de análisis que permitiera su desarrollo en un período de tiempo viable, dada la imposibilidad de efectuar un análisis RCM clásico a cada motor de agujas por el gran número de dispositivos de este tipo presentes en la instalación (83 motores), lo que hubiese supuesto el análisis de 7.387 modos de fallo (89 modos fallo en cada motor).

El proceso general de la metodología RCM conlleva una serie de tareas: definir claramente el sistema objeto del proyecto, sus interfaces con otros sistemas de la instalación y los componentes que lo forman, para posteriormente realizar el análisis de criticidad, permitiendo la selección de tareas de mantenimiento, la implantación de recomendaciones y el seguimiento de resultados. A la metodología general del RCM se ha añadido la determinación de las “tipologías de motores de agujas” lo que ha permitido, mediante la variación de la frecuencia de las tareas de mantenimiento propuestas para un motor genérico, adecuarlas a las particularidades de cada motor de agujas según su ubicación y entorno operativo.

La metodología RCM se ha aplicado sobre un motor de agujas genérico, en el que mediante un AMFE (Análisis de los Modos de Fallo y de sus Efectos) se han analizado los modos de fallo, causas y efectos de los fallos, para establecer una criticidad y posteriormente determinar las causas y plantear posibles acciones de mantenimiento a llevar a cabo.

La solución propuesta permite, tras la identificación de los mecanismos de fallo del dispositivo genérico “motor de agujas”, el establecimiento de distintas tipologías de motores según su impacto funcional sobre la explotación y la selección de tareas de mantenimiento apropiadas, adecuando sus frecuencias y contenidos a la criticidad o importancia de cada motor de agujas en particular. El resultado del proyecto se materializa en la formulación de un plan de mantenimiento preventivo eficiente y adecuado a su entorno operativo para los motores de agujas, y en la elaboración de un cuadro de mando basado en indicadores que permita su evaluación y seguimiento, así como la adaptación de dicho plan a las futuras necesidades y circunstancias en base a los resultados que se obtengan.



Figura 2. Etapas del análisis RCM

1. Cálculo de la criticidad: componentes y modos de fallo críticos

El proceso de evaluación de criticidad determina qué componentes son críticos para llevar a cabo la funcionalidad del sistema en su conjunto. Se han establecido una serie de criterios comunes que resumen el impacto que tiene el fallo de cada uno de los componentes en la pérdida de la funcionalidad del motor de agujas. Los aspectos tomados en cuenta para calcular la criticidad son los siguientes:

- **Impacto en la operación.** Pérdida de control sobre el motor de agujas (mando local, remoto o falta de comprobación).
- **Impacto en la seguridad.** Afección a la seguridad.
- **Detectabilidad.** Tiempo que abarca desde que sucede el fallo del componente hasta que éste es detectado.
- **Coste del mantenimiento correctivo.** Coste de la reparación, hasta la recuperación de la funcionalidad.
- **Tiempo de reparación.** Tiempo de resolución, desde la detección hasta la recuperación de la funcionalidad.

La determinación de los criterios y asignación de valores se ha realizado conjuntamente con el responsable del puesto de mando, conocedor del impacto en la operación, y técnicos de mantenimiento de instalaciones fijas, capaces de determinar la afección a la seguridad, la detectabilidad y los tiempos de reparación.

Una vez calculados los cinco factores ponderamos según se ha estimado en importancia, obteniendo un valor de criticidad para cada modo de fallo de cada componente. La criticidad total de cada uno de los componentes se calcula como el producto de la probabilidad de ocurrencia de fallo multiplicado por el daño ocasionado (o severidad), obteniendo la “matriz de riesgo o criticidad”.

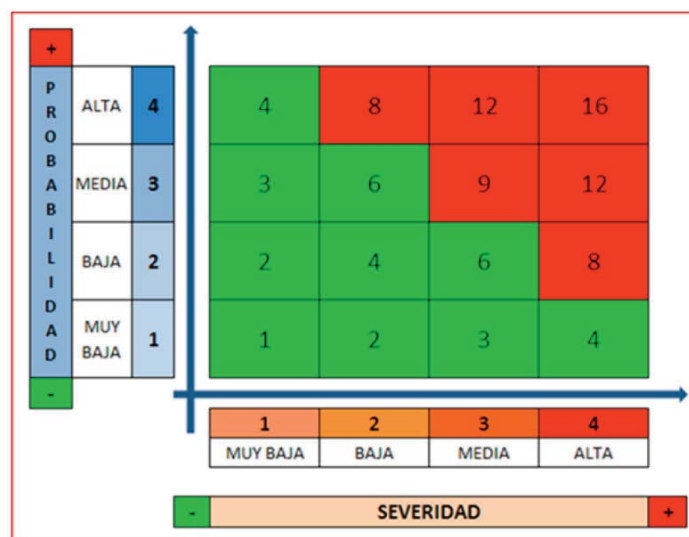


Figura 3. Matriz de criticidad (probabilidad x severidad)

En la figura 4 se puede ver el detalle del análisis de criticidad para varios componentes del motor de agujas:

ID Componente	ID Modo de fallo	Coste de mant. correct (0-3)		10%		Tiempo de reparación (0-3)		10%		Impacto en la operación (funciones)				Impacto Operación [F1-F2-F4] (0-3)		Impacto seguridad [F3-F5-F6] (0-3)		Detectabilidad (0-3)		100%		P Probabilidad (1-4)	P x D Criticidad	>
		0-baja 1-bajo 2-medio 3-alto		Ponderación	0-bajo 1-medio 2-alto 3-muy alto		Ponderación	Mando remoto (F1)	Mando manual (F2)	Comprobación (F4)	Total	Ponderación	0-nulo 1-bajo 2-medio 3-alto		Ponderación	0-alta 1-media 2-baja 3-nula		Ponderación	D VALOR DAÑO (1-4)					
		1 (no)	0 (si)		1 (no)	0 (si)		1 (no)	0 (si)	0	1		2	3		1.muy baja	2.baja			3.media	4.alta			
C01	MF01	2	0.2	1	0.1	0	0	1	0.4	1.2	0.36	2	0.6	0	0	2.26	3	6.78	NC					
	MF02	0	0	1	0.1	0	0	1	0.4	1.2	0.36	2	0.6	0	0	2.06	3	6.18	NC					
C02	MF03	1	0.1	1	0.1	0	0	1	0.4	1.2	0.36	2	0.6	1	0.2	2.36	3	7.08	C					
	MF04	1	0.1	1	0.1	1	0	1	0.7	2.1	0.63	2	0.6	0	0	2.43	2	4.86	NC					
	MF05	0	0	1	0.1	1	0	1	0.7	2.1	0.63	2	0.6	0	0	2.33	3	6.99	C					
C04	MF06	2	0.2	2	0.2	0	1	0	0.3	0.9	0.27	0	0	3	0.6	2.27	2	4.54	NC					
	MF07	0	0	1	0.1	0	0	0	0	0	0	2	0.6	2	0.4	2.1	3	6.3	NC					
	MF08	1	0.1	2	0.2	0	0	0	0	0	0	2	0.6	2	0.4	2.3	3	6.9	NC					
	MF09	1	0.1	2	0.2	0	0	0	0	0	0	2	0.6	2	0.4	2.3	3	6.9	NC					
C06	MF10	2	0.2	2	0.2	0	0	1	0.4	1.2	0.36	2	0.6	0	0	2.36	1	2.36	NC					
C07	MF11	2	0.2	1	0.1	0	0	1	0.4	1.2	0.36	1	0.3	1	0.2	2.16	2	4.32	NC					
	MF12	2	0.2	2	0.2	0	0	1	0.4	1.2	0.36	2	0.6	1	0.2	2.56	3	7.68	C					
	MF13	0	0	1	0.1	0	0	1	0.4	1.2	0.36	2	0.6	1	0.2	2.26	3	6.78	NC					
C09	MF14	1	0.1	1	0.1	0	0	0	0	0	0	1	0.3	2	0.4	1.9	3	5.7	NC					
C10	MF15	2	0.2	2	0.2	1	1	0	0.6	1.8	0.54	3	0.9	2	0.4	3.24	2	6.48	NC					
C11	MF16	2	0.2	2	0.2	1	1	0	0.6	1.8	0.54	3	0.9	2	0.4	3.24	1	3.24	NC					
C12	MF17	2	0.2	2	0.2	1	1	0	0.6	1.8	0.54	3	0.9	2	0.4	3.24	2	6.48	NC					
	MF18	0	0	1	0.1	0	0	1	0.4	1.2	0.36	2	0.6	1	0.2	2.26	3	6.78	NC					
C13	MF19	2	0.2	2	0.2	1	1	0	0.6	1.8	0.54	3	0.9	2	0.4	3.24	2	6.48	NC					
	MF20	0	0	1	0.1	1	1	0	0.6	1.8	0.54	3	0.9	2	0.4	2.94	3	8.82	C					
	MF21	2	0.2	2	0.2	1	1	0	0.6	1.8	0.54	3	0.9	2	0.4	3.24	3	9.72	C					
C14	MF22	0	0	2	0.2	1	1	0	0.6	1.8	0.54	3	0.9	2	0.4	3.04	3	9.12	C					
C15	MF23	1	0.1	1	0.1	0	0	0	0	0	0	1	0.3	3	0.6	2.1	3	6.3	NC					
C16	MF24	2	0.2	3	0.3	0	0	0	0	0	0	3	0.9	3	0.6	3	1	3	NC					
C17	MF25	2	0.2	3	0.3	0	0	0	0	0	0	3	0.9	3	0.6	3	1	3	NC					
C18	MF26	2	0.2	3	0.3	0	0	0	0	0	0	3	0.9	2	0.4	2.8	1	2.8	NC					
C19	MF27	0	0	1	0.1	0	0	0	0	0	0	3	0.9	3	0.6	2.6	4	10.4	C					
C20	MF28	2	0.2	3	0.3	0	0	0	0	0	0	3	0.9	3	0.6	3	1	3	NC					

Figura 4. Ejemplo de criticidad de componentes

A modo de resumen indicar que se han diagnosticado un total de 14 modos de fallo críticos (un 15 % del total de modos de fallo descritos) que corresponden únicamente a 13 componentes críticos (un 17 % del total de componentes).

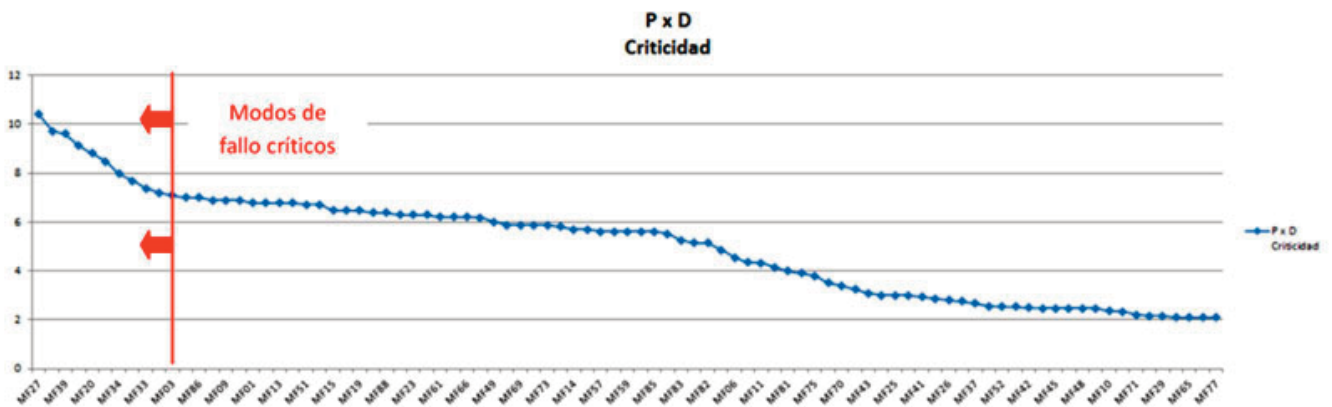


Figura 5. Gráfica de modos de fallo

2. Selección de las Tareas de Mantenimiento

Determinados los límites del sistema, componentes, modos de fallo y causa que origina cada modo de fallo, se lleva a cabo el AMFE (Análisis de Modos de Fallo y Efectos), utilizando el Árbol Lógico de Decisión (ALD), para de este modo determinar las tareas de mantenimiento (preventivo y correctivo) que se van a llevar a cabo sobre el motor de agujas genérico.

El sistema de análisis, motor de agujas, tiene un número asequible de componentes y modos de fallo, esto nos ha permitido realizar un análisis de causas y la selección de tareas (según ALD), de todos los componentes, no únicamente sobre los críticos. De este modo se plantean dos soluciones de tareas propuestas, un RCM puro con únicamente los componentes/modos de fallo críticos (13 componentes / 14 modos de fallo), y otro completo, más conservador, que atiende a todos los componentes/modos de fallo (76 componentes / 89 modos de fallo).

Existen varios modos de fallo y componentes críticos para los cuales no se ha encontrado una tarea “adecuada”, técnica y económicamente hablando, de mantenimiento preventivo (predictivo o sistemático) y a pesar que dichos modos de fallos se pueden tolerar, según aplicación del ALD, se ha propuesto una serie de mejoras de diseño para alguno de ellos.

3. Tipología de motores de agujas

Una vez seleccionadas las tareas de mantenimiento a realizar para un motor genérico, para poder extrapolar estos resultados se corrigen las frecuencias de las mismas acorde a las particularidades de cada motor de agujas según su ubicación y entorno operativo. Para ello se establecen una serie de parámetros que caracterizan el motor en su entorno: uso, impacto, seguridad, etc. a lo que se ha denominado “tipología de los motores de agujas” y que permite adecuar el mantenimiento a realizar a la casuística propia de cada motor de agujas:

- **Número de maniobras anual** sobre un determinado motor de agujas.
- **Impacto.** Dificultad de establecimiento del itinerario alternativo en caso de fallo.
- Número de **usuarios afectados** en caso de fallo.
- **Seguridad.** Paso o no de punta del Metro Liger sobre la aguja en operación normal.

Se ha observado que hay dos tipos de tareas de mantenimiento, las que no actúan sobre el uso y las que tienen una relación directa con el uso, que actúan sobre el desgaste de los componentes, y por ende afectadas por el número de maniobras que se realiza sobre ellas. Por lo tanto parece oportuno disgregar la criticidad global de los motores de agujas en dos categorías, por un lado el factor cuantitativo “número de maniobras” y por otro los restantes tres factores cualitativos (impacto, usuarios afectados y seguridad) que se han reagrupado mediante una ponderación en lo que se ha llamado “criticidad sin maniobras”. Esta reclasificación en dos categorías nos permite simplificar la tabla de tipologías y facilitar su uso para finalmente disponer de nueve categorías/tipologías distintas, tal y como muestra la figura 6.

Número Maniobras	MuyAlta-Alta			Media-Baja			MuyBaja-CasiNula		
	X			X			X		
Criticidad (sin maniobras)	ALTA	MEDIA	BAJA	ALTA	MEDIA	BAJA	ALTA	MEDIA	BAJA
	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	6			29			48		
Número de motores de aguja	1	3	2	17	2	10	10	24	14

Figura 6. Tabla Tipología / Clasificación de los Motores de Agujas

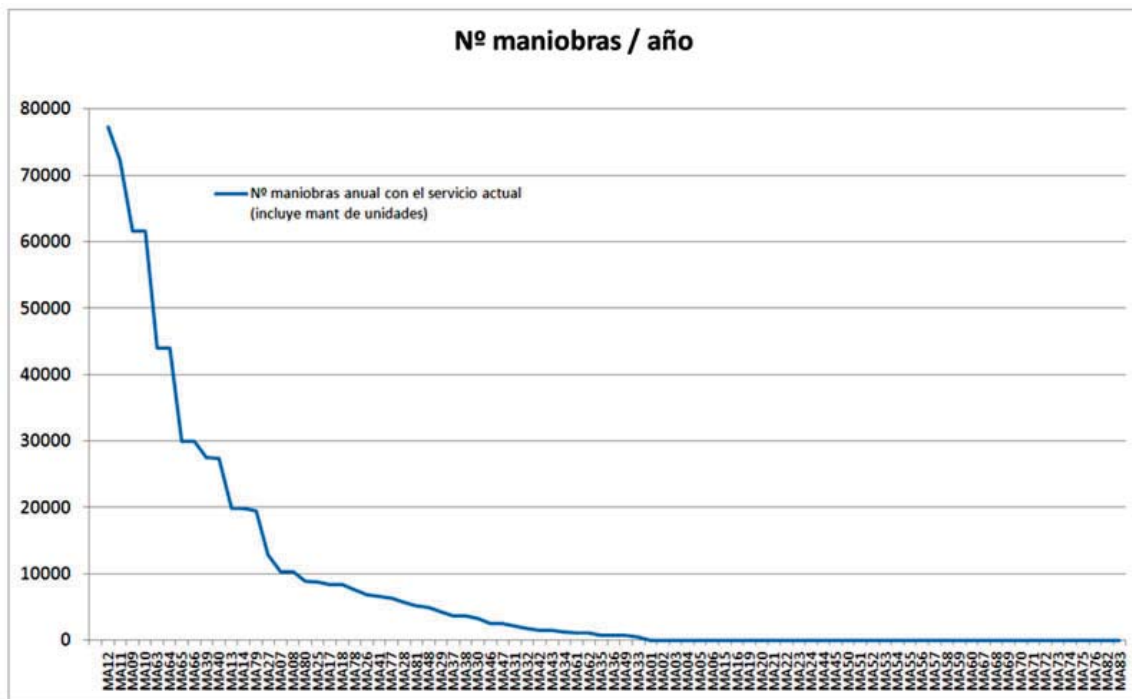


Figura 7. Número de maniobras por agujas de mayor a menor

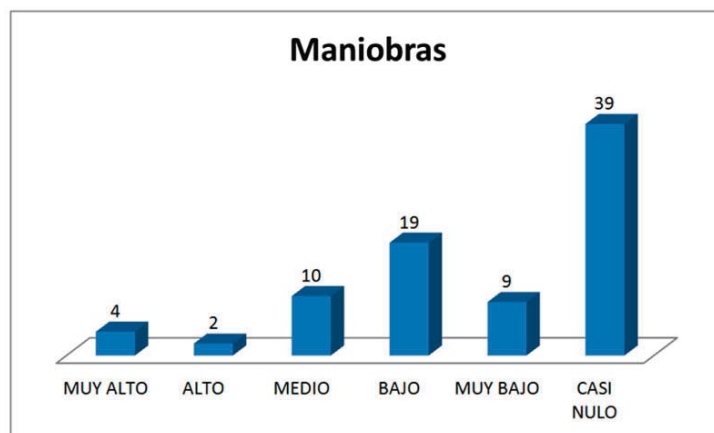


Figura 8. Clasificación de los motores de agujas por número de maniobras al año

Analizado el número de maniobras anuales de cada motor de agujas, se observa la impactante diferencia de uso entre unos motores de agujas de uso prácticamente nulo (ubicados en vías de trayecto con uso únicamente en modos degradados) y los más usados que alcanzan las 80.000 maniobras (ubicados en las terminales). Según se observa en la tabla casi la mitad de los motores de agujas (39) no tienen ninguna maniobra operativa a lo largo del año, a excepción de las maniobras de mantenimiento preventivo programadas, y por contra hay 4 agujas superan las 60.000 maniobras anuales.

4. Establecimiento de frecuencias para las tareas de Mantenimiento Preventivo

Una vez establecidas las tareas de mantenimiento para un motor de agujas genérico y determinadas las distintas tipologías de motores de aguja se pueden establecer las frecuencias más adecuadas.

Puesto que tenemos dos soluciones, una del RCM puro actuando únicamente sobre componentes/modos de fallo críticos y otra más conservadora atendiendo a todos, del mismo modo se han obtenido dos tablas-plantillas de mantenimiento con las tareas y frecuencias propuestas.

Por cada tarea de mantenimiento se establecen 9 frecuencias dependiendo de la tipología: la categoría “Número de Maniobras” (3 valores) y “Críticidad sin maniobras” (3 valores).

						Número Maniobras											
						MA-A	M-B	MB-CN									
						x	x	x									
						Críticidad (sin maniobras)											
						A	M	B									
						x	x	x									
						x	x	x									
						1	3	2									
						17	2	10									
						10	10	24									
						14											
Con.	M	C/L	T	Tarea A	D Ta	TAREAS MP			FRECUENCIAS								
TAREAS MANTENIMIENTO PREDICTIVO																	
C13	MF20	C	N		TPR02	Inspección visual y medición del nivel de desgaste y holgura del bulón (sustitución) - Cabeza barra articulada	12	12	12	12	18	18	12	18	18		
TAREAS MANTENIMIENTO PREVENTIVO SISTEMÁTICO																	
C14	MF22	C	C	MP.12.12	TPS02	Reapriete del tornillo con cabeza de martillo de las barras de mando	12	12	12	12	18	18	12	18	18		
C15	MF05	C	C	MP.12.15	TPS05	Reapriete y comprobación de bornas del cajetín de bornes del motor	12	18	24	12	18	24	12	18	24		
C16	MF27	C	C	MP.12.03	TPS08	Galgado del Motor (normal e invertido) - Regleta guía	3	3	3	3	6	6	3	6	6		
C19	MF27	C	N		TPS09	Reapriete de los tornillos de sujeción de la regleta guía	3	3	3	3	6	6	3	6	6		
C19	MF27	C	N	MP.12.18	TPS10	Comprobación de caída del perno (cerrojo)	3	3	3	3	6	6	3	6	6		
C20	MF13	C	C	MP.12.12	TPS11	Reapriete de las tuercas hexagonales M16 del dispositivo de cerrojo	12	12	12	12	18	18	12	18	18		
C26	MF34	C	C	MP.12.12	TPS12	Reapriete del perno de ajuste del dispositivo de cerrojo	12	12	12	12	18	18	12	18	18		
C36	MF44	C	C	MP.12.13	TPS15	Reapriete del husillo de ajuste del paquetes de resortes	12	18	24	12	18	24	12	18	24		
C49	MF81	C	N		TPS17	Sustitución antes de fin de vida útil del condensador	72	72	72	72	72	72	72	72	72		
C76	MF95	C	C	MP.12.06	TPS20	Reapriete de las bornas de conexión del armario de interconexión, mando y comprobación del motor	3	6	12	3	6	12	3	6	12		
PRUEBAS E INSPECCIONES																	
C14	MF21	C	N		IP04	Inspección visual: del desgaste del tornillo con cabeza de martillo de la barra de accionamiento	12	12	12	12	18	18	12	18	18		
C11	MF35	C	N		IP06	Inspección visual: del talón de cerrojo del dispositivo de enclavamiento (corazón)	12	12	12	12	18	18	12	18	18		

Figura 9. Frecuencia de tareas de mantenimiento en función de la tipología de motor de agujas

5. Valoración económica de la aplicación del proyecto

Con la finalidad de establecer un criterio de valoración de los beneficios económicos de la aplicación del proyecto se calculan los costes del mantenimiento actual y del mantenimiento propuesto.

Los costes del mantenimiento durante un periodo de explotación bajo análisis serán la suma del Coste de Confiabilidad, el que se incurre para la conservación o mejora de la confiabilidad del dispositivo y del Coste de No Confiabilidad, los costes provocados por las indisponibilidades: el mantenimiento correctivo, el coste de pérdida de producción y el coste de indemnización.

Se ha realizado una aproximación al coste de mantenimiento actual en base al histórico de los años 2007 y 2013, valoración de las tareas de mantenimiento aplicadas, las reparaciones correctivas efectuadas, los costes de pérdida de producción y las indemnizaciones.

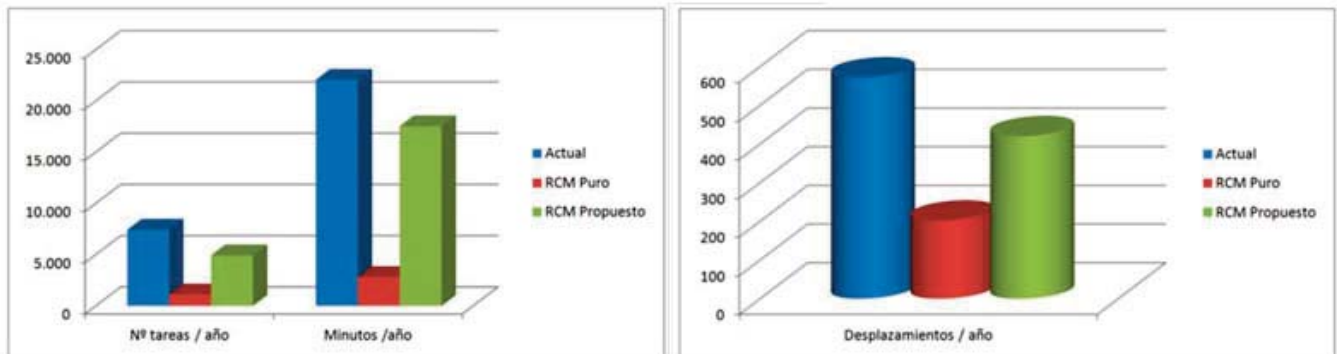


Figura 10. Comparativa del mantenimiento preventivo actual y el propuesto por el RCM en número y tiempo de ejecución de las tareas y el número de desplazamientos

La propuesta de plan de mantenimiento planteada supone un ahorro de costes del 23% respecto al mantenimiento preventivo realizado en la actualidad, constatando una reducción significativa tanto del número de tareas, como en el tiempo dedicado a las mismas.

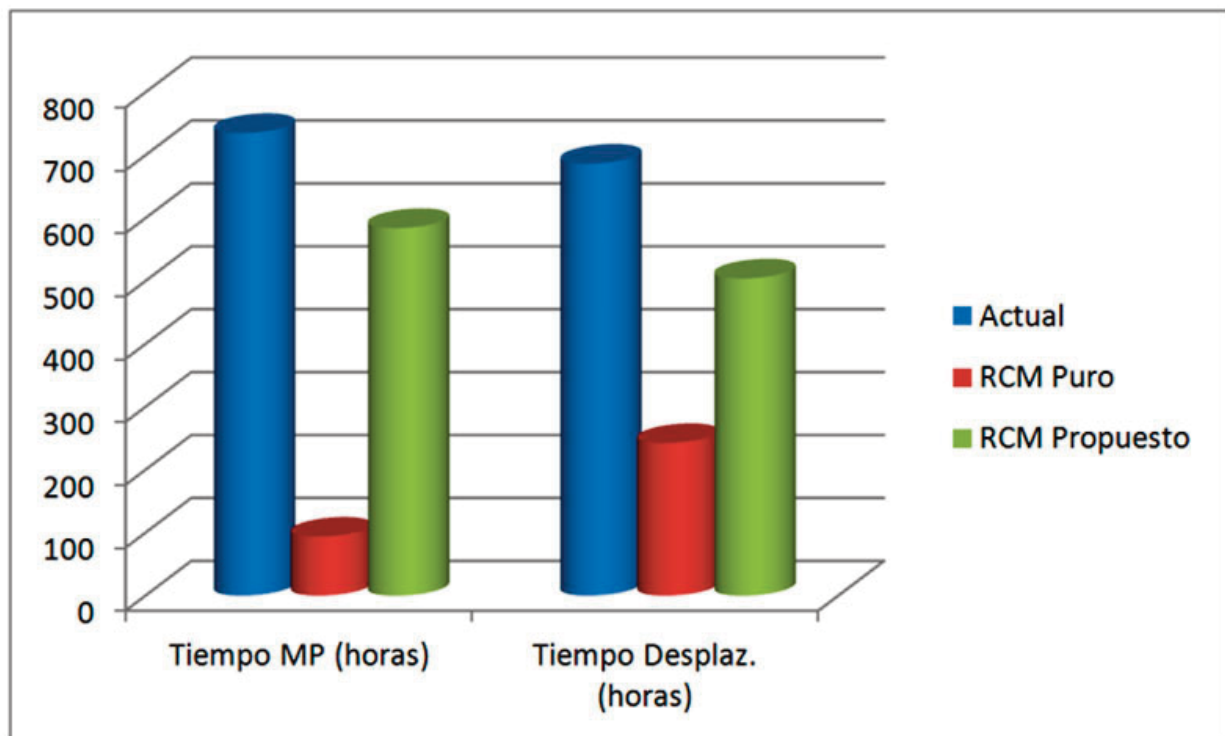


Figura 11. Comparativa del tiempo de ejecución de las tareas de mantenimiento preventivo y los desplazamientos necesarios.

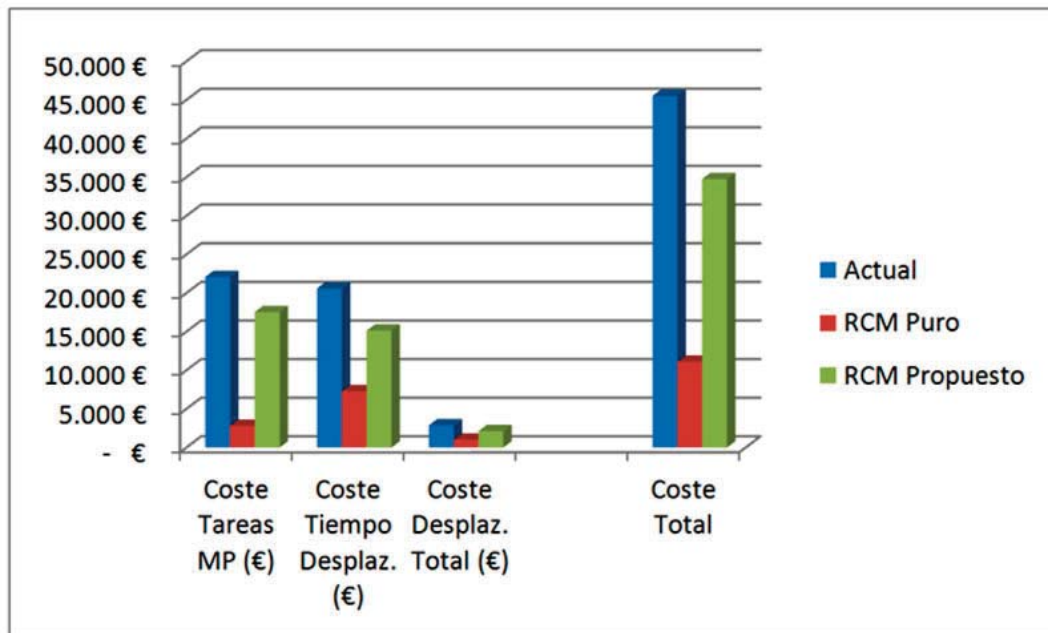


Figura 12. Comparativa de los costes del mantenimiento preventivo actual y el RCM propuesto

Es importante señalar que a pesar del ahorro obtenido, la propuesta de plan de mantenimiento planteado tiene carácter conservador, al haberse desarrollado sobre la totalidad de componentes y no únicamente sobre los críticos. Existe un margen de mejora significativo y se ha considerado conveniente ir analizando el resultado del plan propuesto para ir tomando las decisiones oportunas con el menor riesgo posible.

6. Cuadro de Mando

Con el objetivo de poder medir la eficiencia de la explotación en el aspecto de confiabilidad, es decir, Fiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad y Seguridad (RAMS/FDMS), en un determinado periodo de tiempo, se ha establecido un Cuadro de Mando con una serie de indicadores o KPIs (Key Performance Indicators) que nos facilita la toma de decisiones y el control del sistema.

El periodo de tiempo más adecuado para el caso de MLO es el año, principalmente por los componentes de estacionalidad que tienen la demanda y el servicio prestado.

Los parámetros e indicadores que se van a medir para obtener la eficacia y graficar el cuadro de mando son los siguientes:

- Factor de Fiabilidad (Fr)
- Factor de Mantenimiento Correctivo (Fmc)
- Factor de Mantenimiento Preventivo (Fmp)
- Factores de Disponibilidad (Fdf)
- Factor de Seguridad (Fs)

Al representar las cinco variables que caracterizan la eficacia de la explotación de un sistema, en un gráfico en el que los ejes tengan un desfase angular igual de 72°, se forma un pentágono regular cuyo área encerrada nos indicará la eficacia del sistema, tal y como se muestra en el gráfico Figura 13.

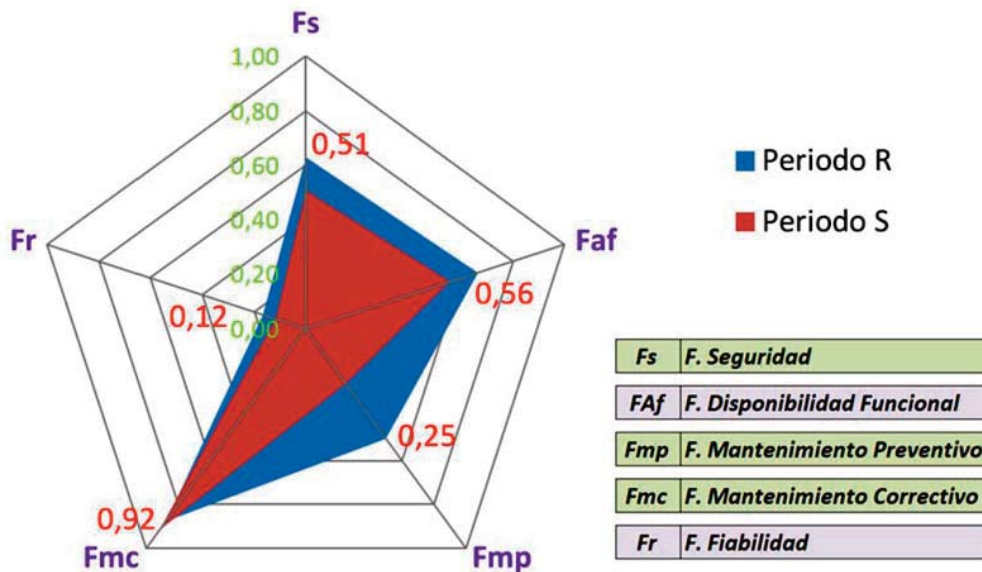


Figura 13. Ejemplo del Cuadro de Mando, con los 5 factores-indicadores elegidos, donde el área representa la eficacia para dos periodos.

Evaluando dos periodos, distintos y comparables entre sí, y representándolos en un único gráfico, nos permite extraer conclusiones sobre la evolución de los indicadores en los periodos comparados, calculando el área encerrada por los dos pentágonos se obtiene el nivel de eficacia alcanzado por el sistema en cada periodo.

	Indicadores	Periodo R	Periodo S	% Dif S-R	Área R	Área S	% Dif S-R
Factor Seguridad	Fs	0,63	0,51	-20%	0,182	0,122	
Factor de Disp. Funcional	Faf	0,67	0,56	-17%	0,144	0,060	
Factor Mant. Preventivo	Fmp	0,50	0,25	-50%	0,189	0,099	
Factor Man. Correctivo	Fmc	0,88	0,92	5%	0,063	0,046	
Factor Fiabilidad	Fr	0,17	0,12	-30%	0,046	0,026	
	Área total				0,625	0,353	-43%

Figura 14. Ejemplo de Indicadores para construir el Cuadro de Mando en dos periodos distintos

7. Conclusiones

El mayor logro del proyecto ha sido llevar cabo el diseño y aplicación de un proceso de análisis RCM a los motores de aguja del Metro Liger Oeste, obteniéndose un nuevo programa de mantenimiento preventivo que permite adecuar las tareas y frecuencias aplicables, según el entorno operativo específico de cada uno de los dispositivos considerados.

Cabe destacar la contribución que este proyecto ha tenido para, en el transcurso de estos últimos nueve meses de su desarrollo, sentar las bases de una cultura de mantenimiento científica, sistemática, tecnificada y orientada a la maximización de la eficiencia, fundamentada en la prevención y enfocada a la mejora continua en la organización de la explotación de Metro Liger Oeste.

Aunque los resultados obtenidos permitirían una mayor modificación del plan de mantenimiento preventivo vigente, se ha optado por proponer una modificación menos agresiva que permita minimizar potenciales resistencias al cambio planteado y lograr una transición de forma cauta, paulatina y robusta hacia la nueva cultura de ingeniería de mantenimiento que se desea implantar.

A efecto de seguimiento de la adecuación de las medidas recomendadas se ha elaborado un cuadro de mando, constituido por un conjunto de indicadores, que facilitará dicha evaluación y la identificación de posibles aspectos de mejora.

Una de las mayores dificultades del método es disponer del indispensable conocimiento del sistema con una profundidad adecuada para identificar potenciales mecanismos de fallo, determinar su impacto sobre la explotación de la instalación y evaluar su criticidad.

Parte del éxito del trabajo realizado radica en cómo se ha planteado el trabajo al personal de la instalación involucrado en el mismo, salvando sus posibles reticencias iniciales en base a formación, explicación adecuada del objeto del análisis, puesta en valor de su trabajo y conocimiento técnico y dotación de una herramienta de apoyo a la toma de sus decisiones. Se ha evidenciado que para la aplicación de la metodología no es necesario disponer de nuevos recursos, simplemente se ha tratado de reorientar los existentes con un enfoque diferente.

El proyecto ha obtenido el Premio Confiabilidad 2013 de la Asociación Española para la Calidad (AEC) por el Proyecto Fin de Carrera Aplicación de la metodología RCM al mantenimiento de los motores de agujas en Metro Liger Oeste.

Bibliografía y referencias relevantes

[1] CENELEC EN-50126. “IEC 62278: Railway applications - Specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety (RAMS)”.

[2] UNE-EN-50129. “Railway applications – Communication, signaling and processing systems – Safety related electronic systems for signaling”

[3] Manual de instrucciones Motor de aguja electrohidráulico HWE61 AVV-ZVV (HANNING & KAHL - N° de documento 32808181). *[Reproducción parcial autorizada por el fabricante de los capítulos 10, 11 y 12]*

[4] Apuntes asignatura “Gestión de Mantenimiento”. Ingeniería en Organización Industrial. Universidad Europea de Madrid. Profesor: D. Antonio José Fernández Pérez.

[5] Memoria sostenibilidad MLO 2012 y otra documentación interna de MLO.

[6] Consorcio de transportes de Madrid. www.crtm.es

[7] UNE 20812:1995 - Técnicas de análisis de la fiabilidad de sistemas. Procedimiento de análisis de los modos de fallo y de sus efectos (AMFE).

[8] MIL-STD-721C, Military Standard: definitions of terms for reliability and maintainability (12 jun 1981).

[9] MIL-HDBK-217, Reliability Prediction of Electronic Equipment (02 dec 1991)

[10] UNE-EN 60300-1. “Gestión de la Confiabilidad. Parte 1: Gestión del programa de confiabilidad”. Septiembre 1996.

- [11] UNE-EN 60300-2. “Gestión de la Confiabilidad. Parte 2: Elementos y tareas del programa de confiabilidad”. Diciembre 1997.
- [12] UNE-EN 61025:2011 - Análisis por árbol de fallos (AAF)
- [13] UNE-EN 61078. “Técnicas de análisis de la confiabilidad. Método del diagrama de bloques”. Septiembre 1996.
- [14] UNE 200001-3-1. “Gestión de la Confiabilidad. Parte 3: Guía de aplicación. Sección 1. Técnicas de análisis de la Confiabilidad: Guía metodológica”. Enero 1998.
- [15] UNE 200001-3-11. “Gestión de la Confiabilidad. Parte 3-11: Guía de aplicación. Mantenimiento centrado en la Fiabilidad”. Octubre 2003.
- [17] UNE 20-512. “Fiabilidad de equipos y componentes electrónicos. Terminología”. 1976/1978.
- [18] UNE 20 654-1. “Guía de mantenibilidad de equipos. Parte 1. Introducción, exigencias y programa de mantenibilidad”. Noviembre 1992.
- [19] UNE 20 654-2. “Guía de mantenibilidad de equipos. Parte 2. Sección cinco: Estudios de mantenibilidad durante la fase de diseño”. Julio 1995.
- [20] UNE 20 812. “Técnicas de análisis de la fiabilidad de sistemas. Procedimiento de análisis de los modos de fallo y de sus efectos (AMFE)”. Marzo 1995.
- [21] UNE 21 406. “Aplicación de las técnicas de Markov”. Abril 1997.
- [22] UNE 21 925. “Análisis por árbol de fallo (AAF)”. Diciembre 1994.
- [23] Blanchard, B. S. y Lowery, E. E., “Maintainability: Principles and Practices”. McGraw-Hill Book Company. 1969.
- [24] Dhillon, B. S. y Singh, Ch., “Engineering Reliability: New Techniques and Applications”. John Wiley & Sons. 1981.
- [25] Henley, E. J. y Kumamoto, H., “Probabilistic Risk Assessment: Reliability Engineering, Design and Analysis”. IEEE Press. 1992.
- [26] International Atomic Energy Agency, “Reliability-Centred Maintenance Tutorial”. IAEA-J4-TC-771. Mayo 1991.
- [27] Knezevic, J., “Mantenibilidad”. Isdefe. Febrero 1996.
- [28] Moubray, J., “Reliability-centred Maintenance”. Butterworth-Heinemann Ltd. 1992.
- [29] Nachlas, J. A., “Fiabilidad”. Isdefe. Junio 1996.
- [30] Ramakumar, R., “Engineering Reliability: Fundamentals and Applications”. Prentice Hall International. 1993.
- [31] Smith, A. M., “Reliability-Centered Maintenance”. McGraw-Hill, Inc. 1993.
- [32] Villemeur, A., “Reliability, Availability, Maintainability and Safety Assessment”. John Wiley & Sons. 1991.
- [33] Warleta, J., “Fiabilidad. Bases teóricas y prácticas”. Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial. 1973.