



# EXPERIENCIA DE MEJORA DE LA DISPONIBILIDAD Y REDUCCIÓN DE COSTES DE MANTENIMIENTO MEDIANTE LA MONITORIZACIÓN DE LOS ACCIONAMIENTOS DE AGUJA EN METRO DE BARCELONA

Ignasi Oliver González  
Director de Mantenimiento de Superestructuras  
TMB, Metro de Barcelona  
ioliver@tmb.cat

09 de febrero de 2016



**TMB**



Transports  
Metropolitans  
de Barcelona

TMB es la denominación común de tres empresas que gestionan:

### Metro



8 líneas (3 sin conductor ) y un funicular.  
102.6 km.  
141 estaciones.  
138 trenes en hora punta.

### Bus



100 líneas.  
870,77 km de longitud de red.  
2.544 paradas.  
1072 autobuses.  
808 autobuses en hora punta.

### Transportes de ocio



3 rutas turísticas.  
74 buses panorámicos .  
1 teleférico.  
1 tranvía histórico de 1901

La misión de TMB es ofrecer una red de transporte público que contribuya a la mejora de la movilidad ciudadana y al desarrollo sostenible del área Metropolitana, garantizando la prestación del mejor servicio al cliente, desarrollando políticas de responsabilidad social, en un marco de viabilidad y eficiencia económica.



# Información General Metro Barcelona



- Transportó 385 millones de viajeros en 2015.
- Da servicio a 8 municipios del área Metropolitana .
- Sistema tarifario integrado con autobuses, tranvía, FGC, Renfe.
- En expansión. En febrero 2015 se inaugurarán 20 nuevos kilómetros con 15 estaciones de prolongación de una línea automática sin conductor.
- Intervalos de hasta 2'58' dependiendo de la línea y de media 3'47''.
- El servicio de Metro cubre 7.642 horas anuales. Hay servicio No-Stop los sábados por la noche y vísperas de algunos festivos.
- Se disponen de 1.118h. (12.7%) para mantenimiento.

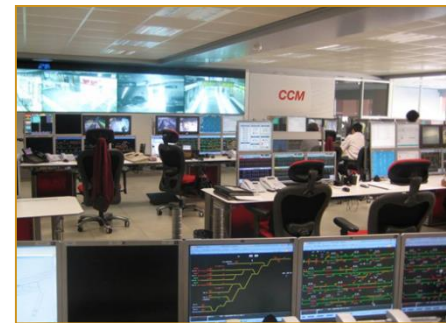




# Particularidades de la Operación en MdB.



- Venta de títulos únicamente automática.
- Una única posición de personal base de operación: conduce trenes y gestiona las estaciones.
- Operación de estaciones sin personal in situ ( incluida apertura y cierre)
- Centro de control de Metro CCM, que gestiona en una misma sala para todas las líneas:
  - Circulación de trenes
  - Asistencia en las estaciones,
  - Operación de energía
  - Información a los clientes.
  - Centro de Seguridad y Protección Civil, ubicado en el mismo edificio.
- Presencia permanente en el CCM de Ingenieros de soporte con herramientas para el mantenimiento y gestión de los sistemas de Señalización, Telecontrol y Telecomunicaciones.





# Accionamientos de agujas



- Es el dispositivo electromecánico que mediante unos tirantes de transmisión actúa sobre las agujas para cambiar la posición de los espadines y por tanto seleccionar la ruta para el paso de trenes.
- Los requisitos de seguridad típicos del accionamiento de aguja exportados al diseño del mismo son:
  - El sistema de accionamiento proporciona al enclavamiento la posición de la aguja. (vital).
  - El bloqueo de las agujas en la vía estará garantizado cuando el tren se acerque y circule sobre la aguja.
- Tipos de accionamiento de aguja en Metro de Barcelona:
  - Electromecánicos con cerrojo de uña en las líneas 2, 4,5, 9, 10 y 11.
  - Electrohidráulicos con cerrojo de uña en las líneas 1 y 3.
  - Electromecánicos sin cerrojo de uña en algunas cocheras.
- 354 accionamientos de aguja en Metro de Barcelona:



El objetivo del trabajo de mantenimiento para Metro de Barcelona es:

- Que las instalaciones cumplan los objetivos de seguridad y fiabilidad definidos en su diseño.
- Máxima disponibilidad de las instalaciones, por lo que las averías:
  - Sean las mínimas averías posibles.
  - Las que se puedan producir impacten lo mínimo posible al servicio.
  - Tengan una rápida resolución.
- Que las instalaciones se encuentren en un buen estado de conservación y proporcionen un máximo rendimiento.
- Que el coste de mantenimiento sea ajustado.

El mantenimiento de la totalidad los accionamientos lo realiza personal interno en la actualidad.

En determinadas épocas, normalmente en ampliaciones de la red se ha realizado en algunas líneas también con personal externo.



## Parque de accionamientos en vía general:

- **Electromecánicos con cerrojo de uña:**
  - Unidades: 98
  - Tasa de fallo: 0,357 fallos por accionamiento.
- **Electrohidráulicos con cerrojo de uña:**
  - Unidades: 56
  - Tasa de fallo: 0,224 fallos por accionamiento.

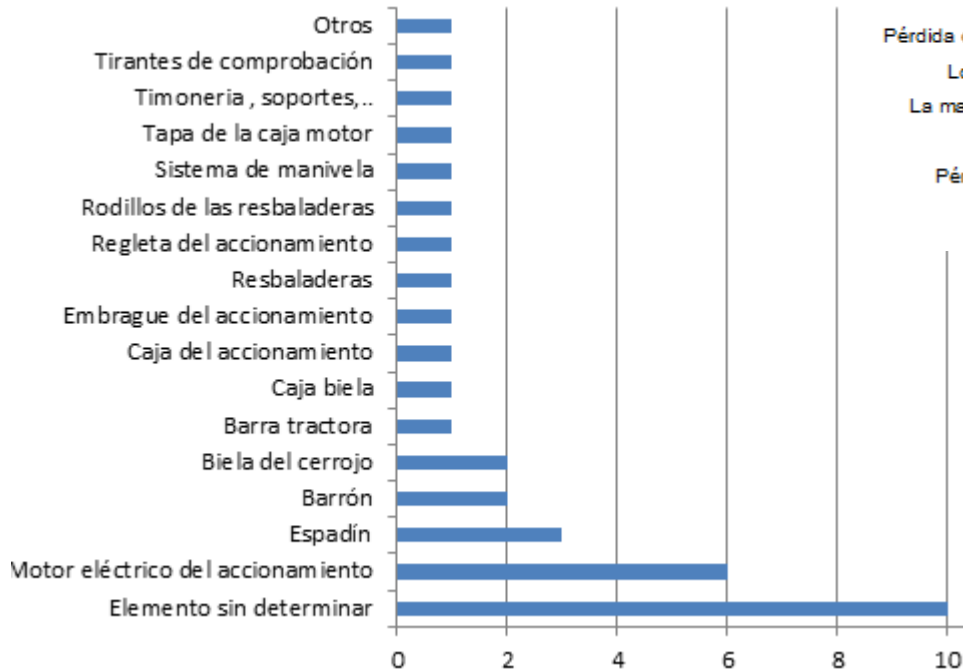
Los fallos de los accionamientos tienen afectación directa a los viajeros:

- Frecuentemente provocan un paro en la línea de metro.
- En los casos que no puedan recuperarse enviando órdenes de movimientos provocan un servicio parcial hasta que su resolución in situ.



# Modos de fallo en 2004 en accionamientos electromecánicos

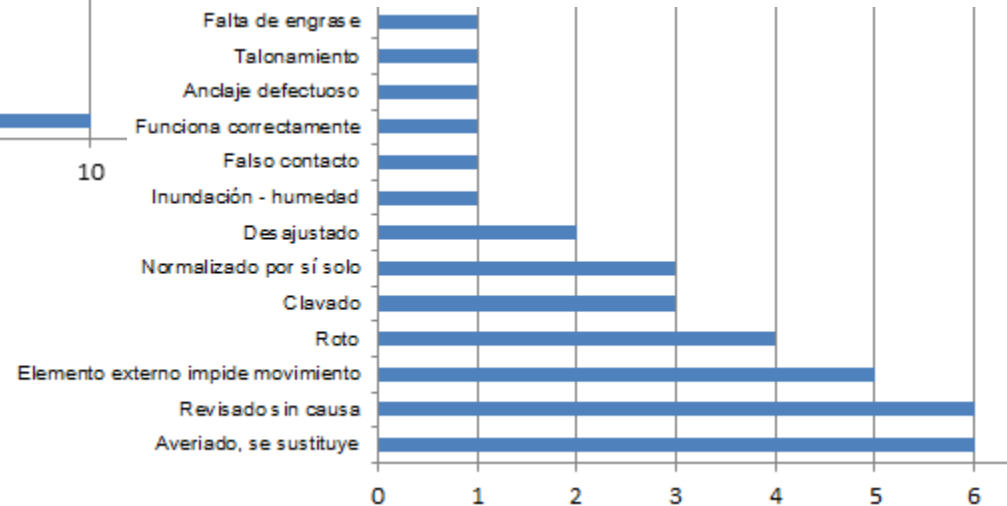
## Elemento



## Síntoma



## Causa

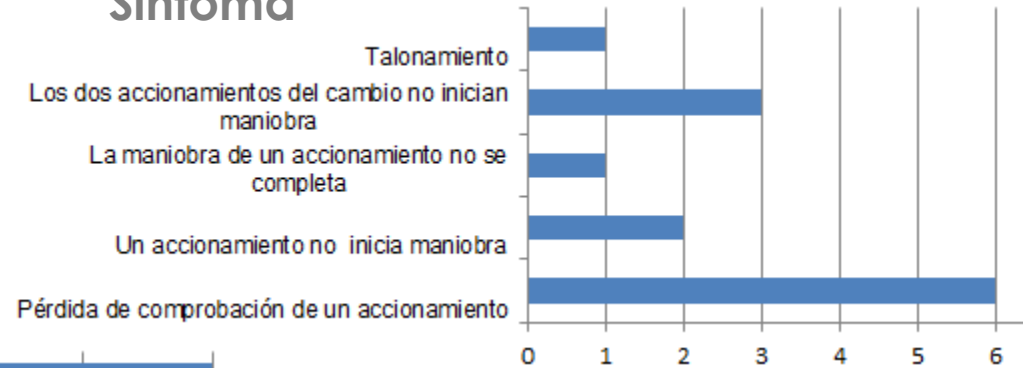




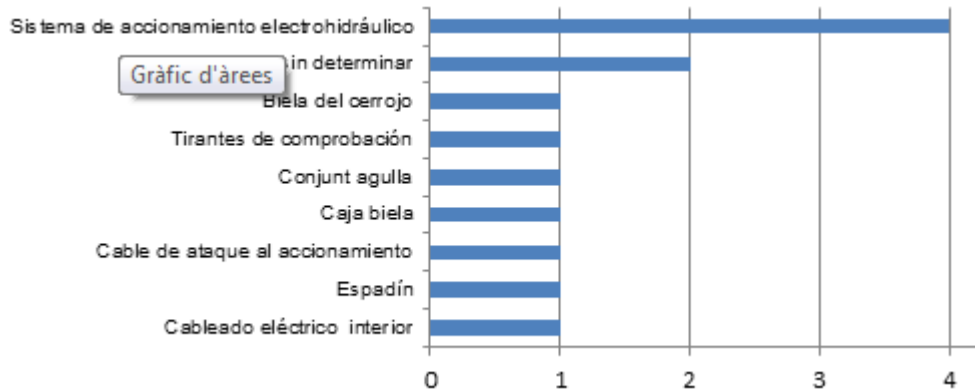


# Modos de fallo en 2004 en accionamientos Electrohidráulicos

## Síntoma

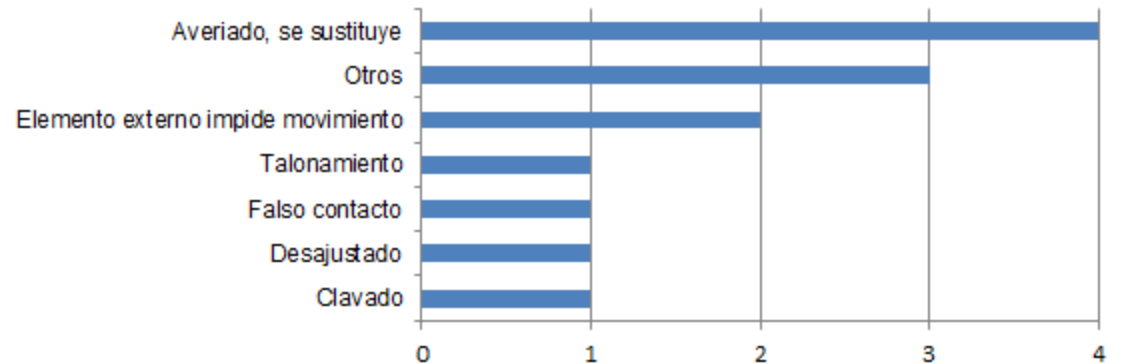


## Elemento



Gràfic d'àrees

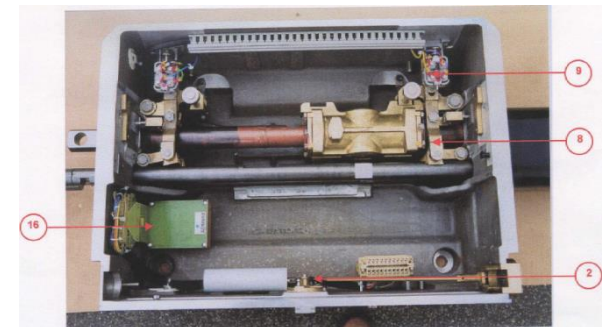
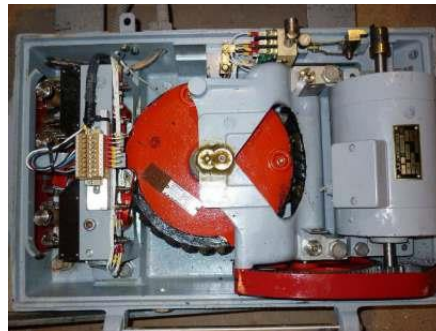
## Causa



Importante afectación al servicio por averías en accionamientos

## CASUÍSTICA MÁS FRECUENTE:

- Síntoma: Pérdida de comprobación
- Elemento que provoca la avería: Sin determinar.
- Causa: Revisado sin causa / Otros / Averiado se sustituye





## PROBLEMÁTICA:

- AVERIAS PUNTUALES
- NO SE ENCUENTRA CAUSA CLARA
- NO SE REPRODUCEN EN LA REVISIÓN NOCTURNA
- SE REPITEN DESPUES DE LA REVISIÓN NOCTURNA

## DEBIDO A:

- LA GRAN INFLUENCIA DEL ENTORNO EN EL FUNCIONAMIENTO DEL ACCIONAMIENTO.
- LAS CONDICIONES DEL ENTORNO Y DEL ACCIONAMIENTO CON SERVICIO DE TRENES DIFIEREN DE LAS DE LA BANDA DE MANTENIMIENTO.

## CONSECUENCIA:

- IMPORTANTE AFECTACIÓN AL SERVICIO
- EXCESO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO, SIN RESULTADOS POSITIVOS.



Disponer del estado de los parámetros más significativos en tiempo real del sistema de accionamiento de agujas:

- **Disminuir la afectación al servicio de averías en accionamientos.**
  - **Cómo:** Mejorando la resolución de incidencias.
  - **Medición:** Tiempo de paro de la línea o de servicios parciales por incidencias en accionamientos.
- **Evitar averías previsibles.**
  - **Cómo:** Registrando datos para disponer de un histórico de cada motor. Analizando los datos para realizar una detección temprana de degradación.
  - **Medición:** Número medio de averías por accionamiento.
- **Racionalizar el mantenimiento preventivo para evitar costes innecesarios.**
  - **Cómo:** Analizando la evolución temporal de las medidas.
  - **Medición:** Número de revisiones por accionamiento, coste de la actividad de mantenimiento por accionamiento.

# 2005: Definición y colaboración con la UPC

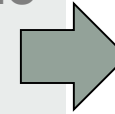
No se encuentra en el mercado ningún producto que cubra la necesidad detectada.

Los fabricantes de nuestros accionamientos y enclavamientos no han desarrollado esta aplicación.

Queríamos una solución que podría ser utilizado en todo tipo de accionamiento, independientemente de su fabricante.

El diseño del equipo de los sensores para medir los diferentes parámetros y su ubicación se ha de realizar bajo las premisas de nula interferencia con el funcionamiento del dispositivo tanto a nivel mecánico como eléctrico ni con la seguridad del mismo.

La solución debe utilizar la infraestructura existente, evitando tener que instalar más cables, fibra óptica, etc. .

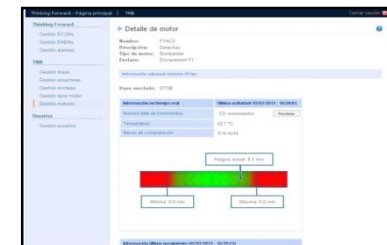
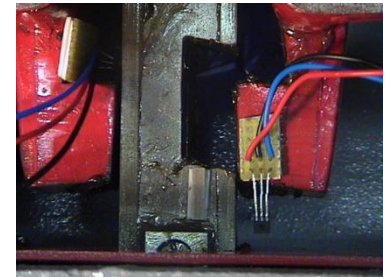
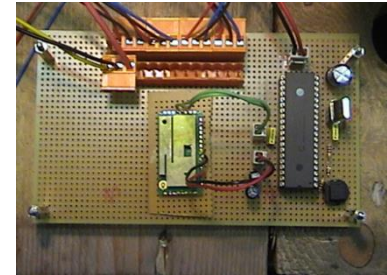


Acuerdo de colaboración con la Universitat Politècnica de Catalunya para desarrollar este dispositivo.



## 1. Desarrollo de componentes:

- Dispositivo electrónico para el control de los parámetros del accionamiento: mecánicos, eléctricos, temperatura y nivel de inundación.
- Sistema de transmisión de los datos recogidos en el accionamiento a la sala del enclavamiento utilizando infraestructura de cables existente.
- Transmisión de los datos al puesto central y base de mantenimiento.
- Aplicación informática para recibir, almacenar y controlar el estado de los accionamientos, así como generar alertas en caso de mal funcionamiento o deterioro de los parámetros.



## 2. Pruebas de prototipo.

1. Laboratorio.

2. En accionamientos línea real de Metro.

## 3. Validación.

## 4. Patente conjunta UPC- TMB

5. Industrialización: Transferencia de tecnología a Thinking Forward. Empresa Spin-off de l'UPC creada por emprendedores que des del inicio formaron parte del proyecto.

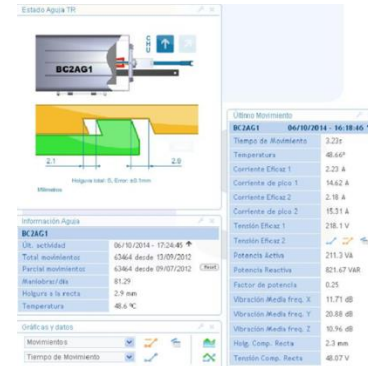
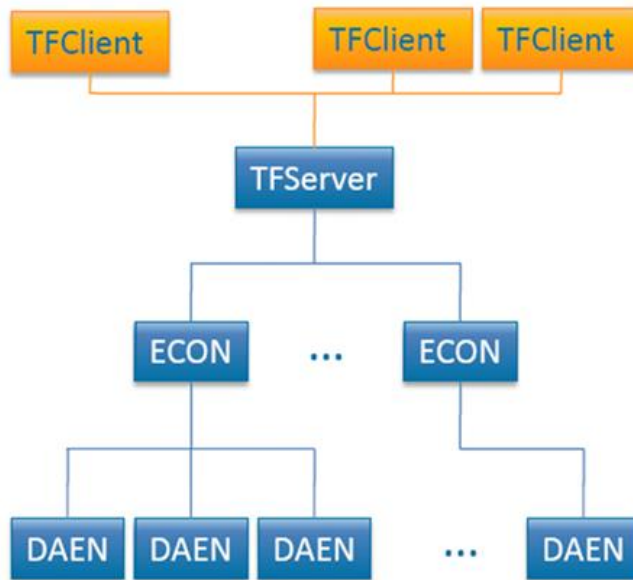


6. Implantación en Metro de Barcelona y otras empresas

## Medida de:

- Tensión de alimentación, eficaz y pico.
- Corrientes de alimentación, eficaz y pico.
- Potencia de alimentación, eficaz y pico.
- Temperatura de funcionamiento.
- Duración de la maniobra.
- Posición de la barra de comprobación.
- Vibración en 3 ejes.
- Inundación, 2 niveles.
- Número de maniobras







## El uso de la herramienta Smart Motors se divide en tres ámbitos

1. Alarmas: Reporta las alarmas de un evento que ya aparecido para realizar un tratamiento o resolución adecuada.



Fecha Inicial	04/09/2014 - 05:
Últ. desactivación	04/09/2014 - 05:
Tipo alarma	Tensión eficaz 2
Descripción	Desviación grave en la tensión eficaz 2 medida en el motor
Num. ocurrencias	1
Activa	NO
Reconocida	NO
Últ. Criticidad	Alta
Últ. valor alarma	171.16

**Detalle report**

Tipo Report: Tensión eficaz  
 Descripción: Hay un problema con la tensión eficaz del motor  
 Estado:

Aguja: FD1AG3  
 DAEN: 70295  
 Última actualización: 05/10/14 - 17:31:03  
 Primera actualización: 30/09/14 - 13:13:45

**Actualizaciones 11**

Tensión eficaz	05/10/14 - 17:31:03	
Tensión eficaz	05/10/14 - 13:50:49	
Mantenimiento nocturno - galgas	05/10/14 - 01:17:33	
Tensión eficaz	04/10/14 - 09:51:45	
Mantenimiento nocturno - galgas	04/10/14 - 01:15:28	
Tensión eficaz	03/10/14 - 07:27:49	
Mantenimiento nocturno - galgas	03/10/14 - 02:07:38	
Tensión eficaz	01/10/14 - 08:45:45	
Tensión eficaz	30/09/14 - 23:36:46	
Tensión eficaz	30/09/14 - 14:08:08	
Tensión eficaz	30/09/14 - 13:13:45	

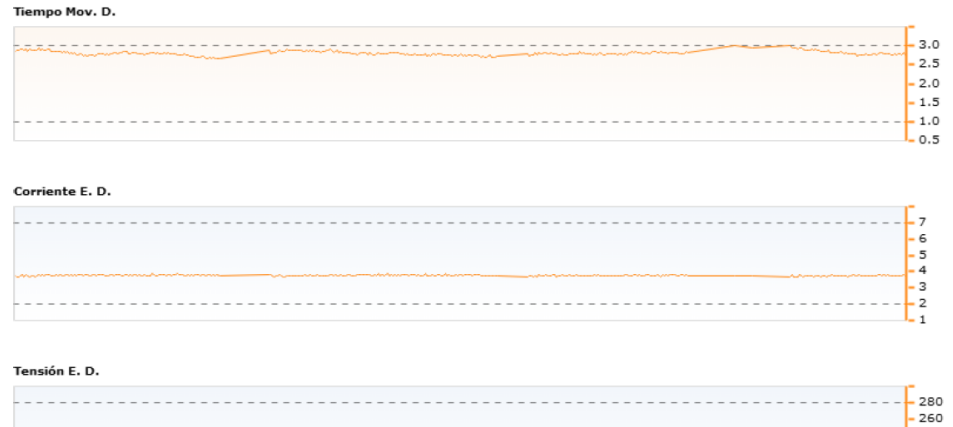
Ayuda al mantenimiento Correctivo

## 2. Informes de evolución de parámetros almacenados:

Gráficas combinando múltiples parámetros y seguimiento de tendencias.

Comparando con patrones conocidos para hacer un análisis predictivo y anticiparnos a la incidencia.

smart motors  
Fecha desde: 25/09/2014 - 5:24    Fecha hasta: 25/09/2014 - 5:24  
Motor: ZU3AG1    Movimientos a la desviada



Mantenimiento Predictivo

### 3. Ayuda del mantenimiento preventivo :

Las medidas que se toman en la revisión se pueden hacer de forma remota:

Reducir el número de visitas y/o agilizarlas.

Revisar las medidas del motor antes de la visita para saber que te vas a encontrar a priori.

Estado Aguja TR

BC2AG1

CHU

2.1 2.9

Holgura total: 5, Error: ±0.1mm

Milímetros

Información Aguja

BC2AG1	
Últ. actividad	06/10/2014 - 17:24:45 ↑
Total movimientos	63464 desde 13/09/2012
Parcial movimientos	63464 desde 09/07/2012 <span>Reset</span>
Maniobras/día	81.29
Holgura a la recta	2.9 mm
Temperatura	48.6 °C

Gráficas y datos

Movimientos

Tiempo de Movimiento

Último Movimiento

BC2AG1 06/10/2014 - 16:18:46 ↑	
Tiempo de Movimiento	3.23s
Temperatura	48.66°
Corriente Eficaz 1	2.23 A
Corriente de pico 1	14.62 A
Corriente Eficaz 2	2.18 A
Corriente de pico 2	15.31 A
Tensión Eficaz 1	218.1 V
Tensión Eficaz 2	
Potencia Activa	211.3 VA
Potencia Reactiva	821.67 VAR
Factor de potencia	0.25
Vibración Media freq. X	11.71 dB
Vibración Media freq. Y	20.88 dB
Vibración Media freq. Z	10.96 dB
Holg. Comp. Recta	2.3 mm
Tensión Comp. Recta	48.07 V

Mantenimiento Preventivo

Utilización de cables de reserva existente entre el enclavamiento y la caja de señales más próxima al accionamiento. 4 hilos por grupo de accionamientos. *Personal interno.*

Tendido de cable entre esta caja más próxima al accionamiento y el accionamiento. *Personal interno.*

Montaje del DAEN por Thinking Forward.

Utilización de vlan existente para mantenimiento en la red gigabit entre el puesto central y cada enclavamiento.

Año	Accionamientos totales	Accionamientos monitorizados	
2009	263	2	0,76%
2010	283	31	10,95%
2011	308	106	34,42%
2012	310	106	34,19%
2013	356	153	42,98%
2014	354	211	59,60%

# Detall millora de la disponibilitat

AÑO	INVENTARIO ACCIONAMIENTOS			AVERIAS				
	Totales	Monitorizados		Total	Tiempo de paro	Con paro	Total por accionamiento	Paro per accionamiento
2009	263	2	0,76%	49	166,5	13	0,19	0,049
2010	283	31	10,95%	59	164,43	18	0,21	0,064
2011	308	106	34,42%	48	85,85	15	0,16	0,049
2012	310	106	34,19%	64	112,2	13	0,21	0,042
2013	356	203	57,02%	55	63,456	11	0,15	0,031
2014	354	211	59,60%	56	34	9	0,16	0,025
2015	354	211	59,60%	57	35	11	0,16	0,031
2016	441	211	47,84%	53	27,4	9	0,12	0,020

**El tiempo de paro por accionamiento se ha reducido un 59% a pesar de que el parque de accionamientos se ha incrementado un 67%**

# Detall reducció de costos

ANY	INVENTARIO ACCIONAMENTS			PREVENTIVO		CORRECTIVO	ACTIVIDAD TOTAL		
	Totales	Monitorizados		Nombre de Revisiones	Costes €	Costes €	Preventivo + Correctivo		
				Totales	Por accionamiento.	Totales	Totales	€ Totales	€/ por accionamiento
2009	263	2	0,76%	3.663	13,93	179.459	28.630	208.089	791
2010	283	31	10,95%	2.159	7,63	139.547	34.823	174.371	616
2011	308	106	34,42%	2.131	6,92	115.452	24.152	139.603	453
2012	310	106	34,19%	1.575	5,08	101.330	62.841	164.171	530
2013	356	153	42,98%	1.646	4,62	118.700	23.463	142.163	399
2014	354	211	59,60%	1.254	3,54	96.982	20.893	117.875	332
2015	354	211	59,60%	1.247	3,52	104.120	27.822	131.942	372
2016	441	211	47,84%	1.493	<b>3,38</b>	71.212	50.855	122.067	<b>276</b>

**El importe de la actividad de mantenimiento preventivo y correctivo para accionamiento se ha reducido un 65 % en el período 2009-2016**



La monetización del ahorro se realiza mediante internalización de diversas actividades que realiza el personal interno de la Unidad de Señalización, Telecontrol y Comunicaciones:

- En 2012 se internaliza el mantenimiento de los accionamientos de L9 sin incrementar plantilla.
- En 2013. No se subcontratan reparaciones y mejoras de instalaciones que habitualmente se subcontrataban (como la reparación o sustitución de cableados varios y modificaciones de distribución de la alimentación de energía en SAIS)
- 2014 Medidas similares al 2013.

La monetización del ahorro de 2012-14 ha amortizado la inversión inicial en materiales y servicios de la implantación.





Respecto los objetivos que habíamos dicho justificaban el desarrollo:

- **Disminuir la afectación al servicio de averías en accionamientos.**
  - Medición: Tiempo de paro de la línea o de servicios parciales por incidencias en accionamientos. **Reducción 49%.**
- **Evitar averías previsibles.**
  - Medición: Número medio de averías por accionamiento. **Reducción 40 %** Promedio 2004-2008: 0,3; Promedio 2009-2014: 0,18.
- **Racionalizar el mantenimiento preventivo para evitar costes innecesarios.**
  - Medición: Número de revisiones planificadas por accionamiento. **Reducción 65,5 %. (+ 0,044 % de no planificadas).**
  - Medición: Coste de la actividad de mantenimiento por accionamiento. **Reducción 58 %.**



La reducción del número y duración de las incidencias en los cambios de aguja supone una reducción del número de circulaciones en modo degradado o no habitual.

En consecuencia se reducen las amenazas derivadas de estas situaciones y se incrementa la seguridad del sistema ferroviario.

El producto Smart Motors también ha demostrado una gran utilidad en la investigación de incidentes como talonamientos y descarrilos en cambios de agujas al proporcionar información precisa del estado del accionamiento y del cambio en el momento del incidente, con parámetros no disponibles anteriormente, como determinar si llega alimentación al accionamiento, valores de vibraciones o posición relativa de la comprobación.

Thinking Forward ha implementado el producto Smart Motors en otras administraciones ferroviarias: Ferrocarriles de la Generalitat de Catalunya, ADIF, Metro de Bilbao y FEVE.



Smart Motors ha enriquecido de las necesidades e ideas aportadas por otros clientes, desarrollando el módulo Maggie, que proporciona posibles causas de fallos en base a información almacenada de averías anteriores.

El dispositivo DAEN ha evolucionado desarrollando una versión que mide la posición de la barra de comprobación y su centrado mediante visión artificial. Además permite enviar imágenes fijas al puesto central. También permite grabar video en local.

Existe una versión light del DAEN que permite medir únicamente los parámetros eléctricos del accionamiento desde la sala de enclavamiento.



Metro de Barcelona ha iniciado una experiencia similar con circuitos de vía:

- Para los modelos de circuitos de vía de audiofrecuencia que disponen de versiones más modernas con receptores que incorporan medidas y supervisión remota está renovando receptores en algunos enclavamientos.
- Para los circuitos de vía de 50 Hz o de audiofrecuencia que no disponen de esta versión ha desarrollado conjuntamente con Thinking Forward un producto que permite su monitorización.

Estos proyectos se han iniciado en 2015 i se evaluarán de la misma forma que se ha realizado con los accionamientos de aguja.



# Conclusión

Esta experiencia de monitorización permite evolucionar hacia un mantenimiento más basado en condición de un elemento básico de la seguridad del sistema ferroviario.

En Metro de Barcelona ha demostrado una mejora significativa del servicio.

Además la valoramos muy positivamente como incremento la seguridad del sistema ferroviario al reducir el número de circulaciones que tienen que utilizar un modo degradado.

También es significativa la racionalización del mantenimiento y la reducción de costes que se ha consolidado y que nos anima a avanzar en esta línea otros campos.



**Gracias por su atención**