

# Mantenimiento predictivo en instalaciones de túnel mediante analítica de datos y machine learning

**Servicio COMMIT**  
Área de Ingeniería y Mantenimiento



# 2 CLAVES



**Análisis detallados  
del estado y  
evolución de las  
instalaciones**



**Detección  
automática de  
singularidades**



**Mejora de la  
planificación del  
mantenimiento  
preventivo**



**Optimización de  
recursos de  
mantenimiento**

# 3 Metro de Madrid

## En números...

Metro de Madrid es una empresa pública integrada en el Consorcio Regional de Transporte de Madrid, y cuya administración tutelar corresponde a la Comunidad de Madrid.

Con 294\* kilómetros de red, 301 estaciones, 512 ascensores, 1660 escaleras mecánicas y 570 millones de viajeros, Metro de Madrid es el principal transporte público de la comunidad de Madrid. (\*datos 2015)

Nuestro principal reto es ser siempre la opción de movilidad socialmente más rentable, y más cercana a las expectativas de los clientes.





# 3 Metro de Madrid

## Vehículo Auscultador Instalaciones

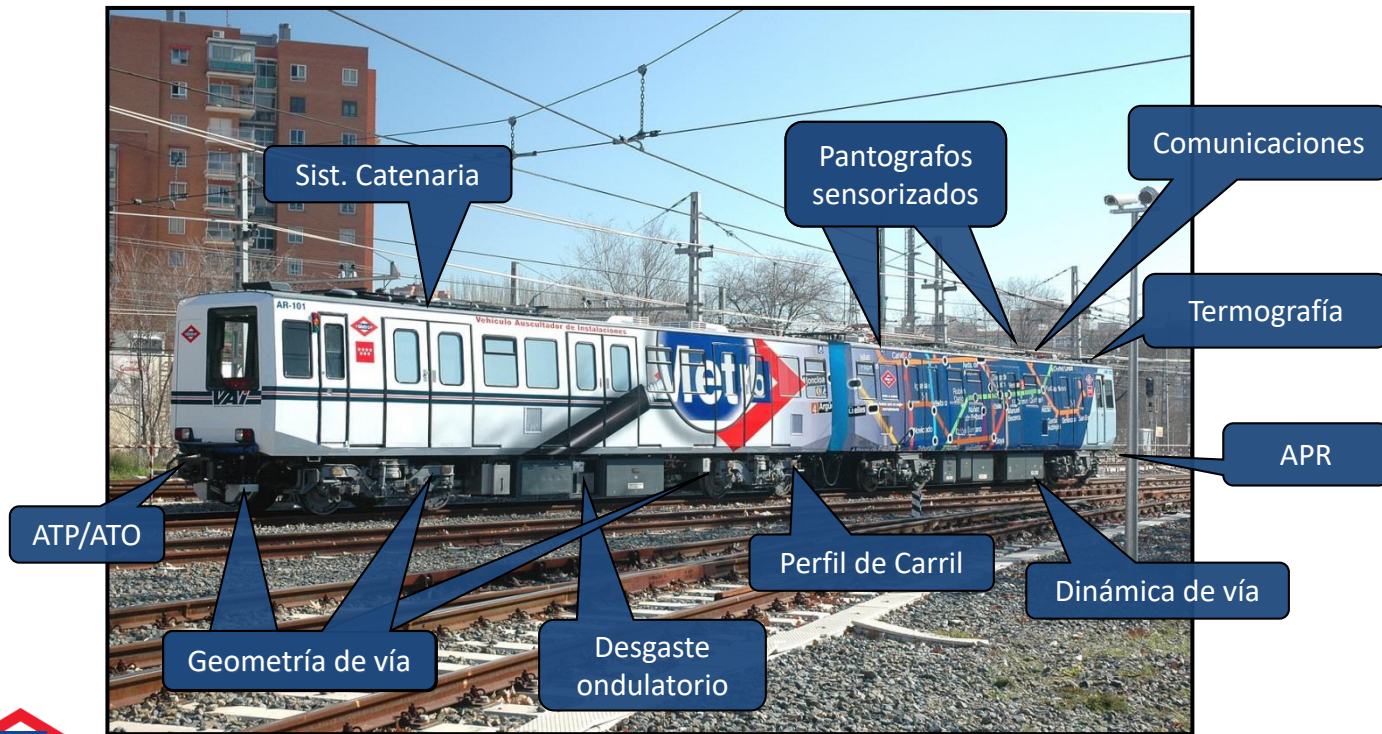
Tren de la **Serie 2000 reacondicionado** para la instalación de equipos de medida:

- Desgaste, ángulo de desgaste, descentramiento, altura, tensión y corriente de catenaria. Dinámica de interacción con el pantógrafo.
- Video inspección y termografía de catenaria
- Desgaste de carril. Desgaste ondulatorio.
- Geometría de vía y dinámica de circulación.
- Niveles de señales de los sistemas de radiocomunicaciones y señalización .



# 3 Metro de Madrid

## Vehículo Auscultador Instalaciones



# 4 VAI: Auscultación de túnel

## Condicionantes operativos

1. La ventana de trabajos de mantenimiento nocturnos es de apenas 3 horas. La auscultación no puede reducir aun más ese escaso periodo: es necesario medir en **horario de prestación de servicio**.
2. El VAI **circula por toda la red**, tanto gálibo estrecho como ancho, y diferentes tensiones de alimentación (600Vcc y 1500Vcc), registrando cada vez una línea diferente.
3. En total, disponemos de 588 Km de vía principal, que se monitorizan **semestralmente**, más depósitos y vías secundarias, que se registran bajo demanda.
4. Durante la realización de estas auscultaciones las condiciones operativas son muy próximas a las de **explotación comercial**, (velocidad y modos de circulación, etc.).
5. Tras la auscultación, el vehículo regresa a alguno de los **depósitos** de nuestra red, donde transfiere todos los datos registrados a nuestros **repositorios de información de auscultación**.
6. En ese momento comienzan los **procesos de validación y análisis** de todos los parámetros registrados, que horas después estarán a disposición del personal de mantenimiento.

# 5 Análisis del estado de la infraestructura

## Problemáticas...

1. **Gran volumen de datos.** Las auscultaciones generan muchos Gb de información que incluye decenas de parámetros numéricos, video e imagen.

2. **Herramientas software genéricas y de escasa potencia.** El software proporcionado por los fabricantes de los sistemas de medida o es básico, o no se adecua a las necesidades particulares del cliente, o no se integra en los sistemas de gestión de mantenimiento.

3. **Escasez de recursos.** Con esas herramientas básicas, el personal de mantenimiento no puede analizar semejante volumen de información en los tiempos adecuados. Es necesario automatizar parte de los análisis.

4. **Sin analítica avanzada ni predictiva.** Los análisis más avanzados que incluyen información de otras fuentes y tecnologías de Machine Learning no se pueden llevar a cabo con las herramientas típicas.

5. **Ausencia de referencias de ubicación precisas.** No disponer de señal GPS complica el análisis de la evolución del estado de la instalación, (solo se dispone de un sistema básico de odómetros o balizaje).

Para dar respuesta a estas problemáticas, Metro ha desarrollado una app propia utilizando el entorno de desarrollo de MATLAB: **BigVAI**

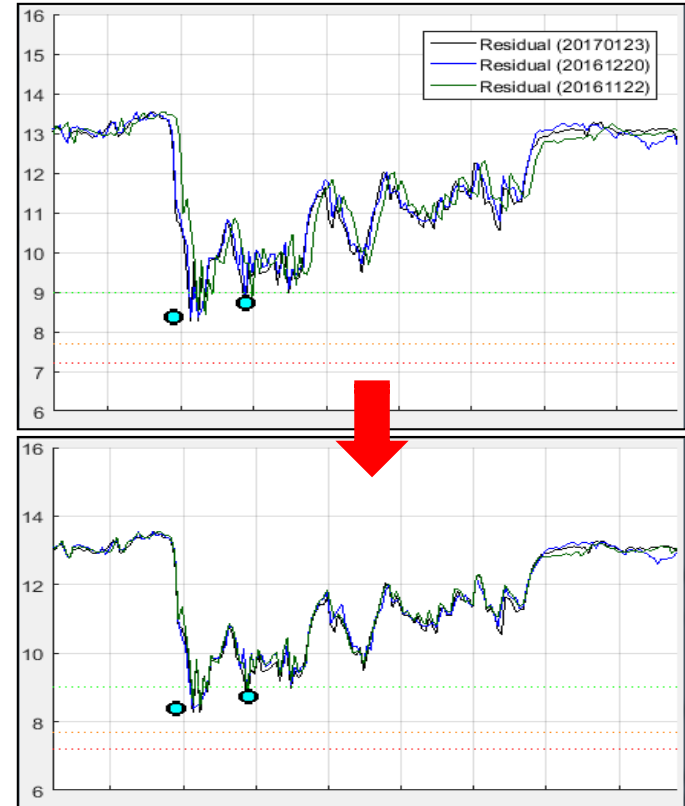




# 5 BigVAI

## Funcionalidades básicas

- Gestión de histórico de mediciones.
- Integración de datos de otras fuentes y equipos de medida, manuales o no.
- Alineación automática entre mediciones.
- Evaluación automática de la calidad de las mediciones, identificando aquellas zonas con problemas en los datos de auscultación.
- Representaciones gráficas personalizables de parámetros por punto kilométrico. Exportación de datos gráficos.
- Obtención de relaciones entre parámetros de diferentes sistemas de medida (catenaria – vía)



# 5 BigVAI

## Funcionalidades de gestión

- **Detección automática de defectos:** zonas fuera de umbral para parámetros de geometría o desgaste, de variaciones.
- **Integración con sistemas de gestión de mantenimiento:** posibilidad de tramitar directamente desde la app actuaciones de preventivo /correctivo.
- **Supervisión del estado y ciclo de vida de los defectos** directamente desde la app (Seguimiento, Actuación, Corregido, etc). Recepción de feedback de trabajos en campo.

Fecha de Medición	Valor máx.	Pk Ini	Pk Max	Long
23/09/16	8.94	19.952	19.952	0.5
24/10/16	8.95	19.952	19.952	1
22/11/16	8.87	19.952	19.952	1
20/12/16	8.78	19.952	19.952	1

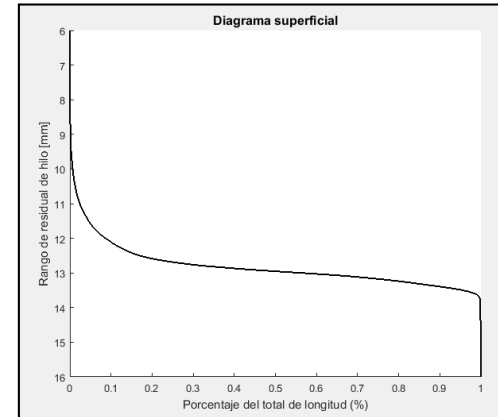
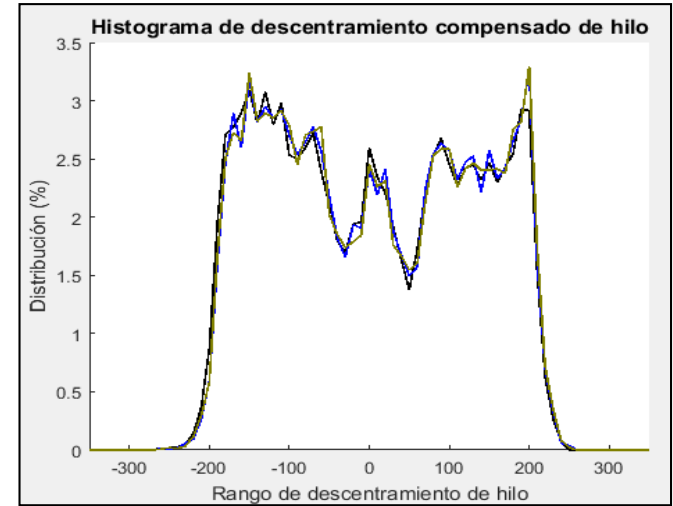


# 5 BigVAI

## Funcionalidades analíticas avanzadas

Entre otras:

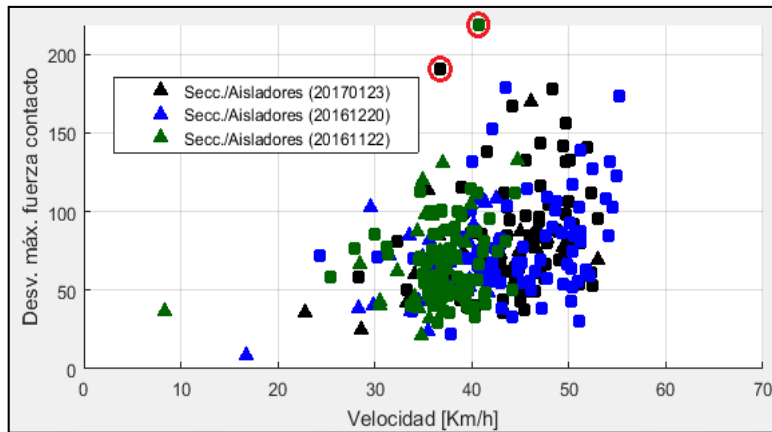
- Análisis estadísticos por vía, para la mejora de la instalación: Histogramas de desgaste y descentramiento de catenaria, tasas de desgaste de catenaria y carril, etc.
- Análisis del estado superficial de hilo de contacto de la catenaria (curvas Abbott-Firestone). Relación con dispersión de la fuerza de contacto.
- Detección automática de elementos singulares de la infraestructura, como aisladores, diagonales, etc.
- Cálculo de indicadores de estado de infraestructura definidos en normas



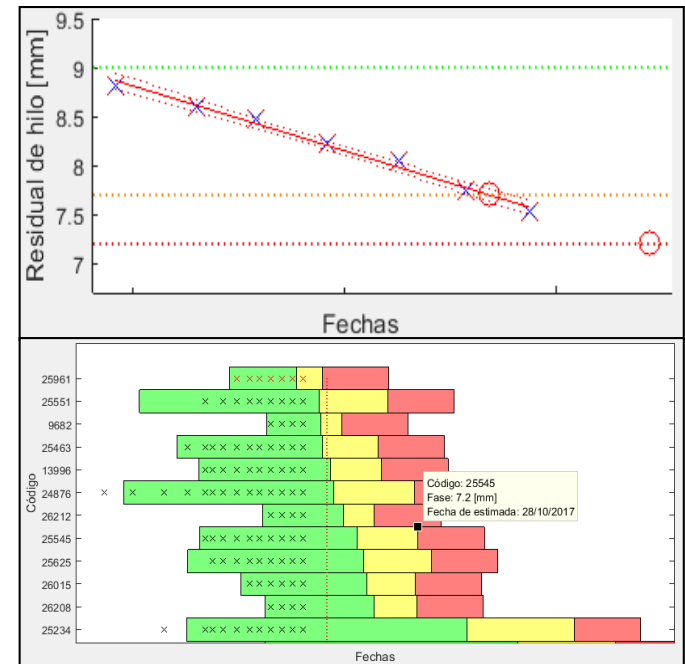
# 5 BigVAI

## Funcionalidades predictivas

- Detección de comportamientos dinámicos anómalos en seccionadores.



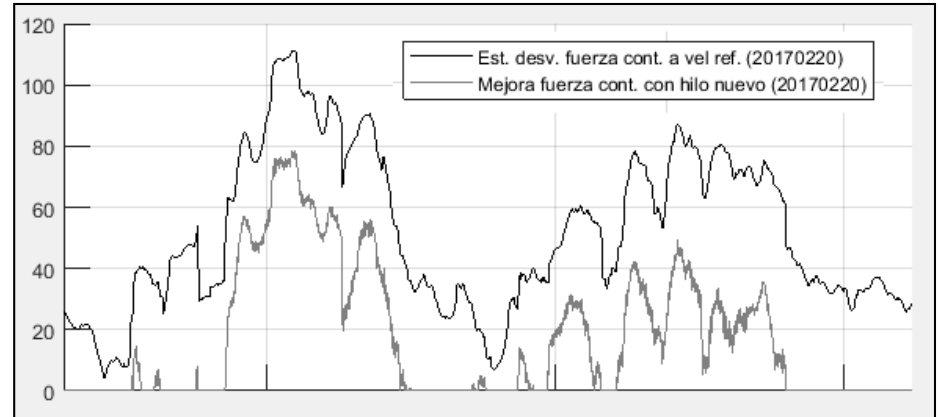
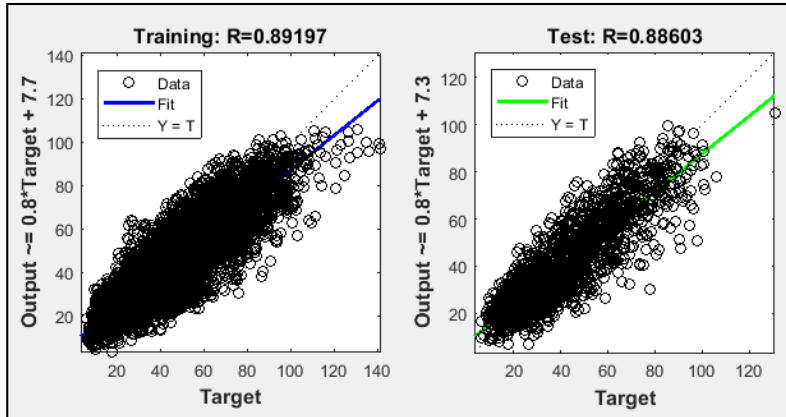
- Modelo de evolución de los defectos de desgaste de catenaria, para estimar fechas de actuación preventiva y poder optimizar la planificación de los trabajos.



# 5 BigVAI

## Funcionalidades prescriptivas

- Modelos neuronales para maximizar la mejora en el comportamiento dinámico del pantógrafo tras la realización de trabajos de sustitución de catenaria



- Optimización de trabajos: estimación de evolución de desgaste, y agrupación automática por fechas límite y Km.

# 5 BigVAI

## Beneficios

Además de las funcionalidades adicionales ya citadas que aporta respecto a las herramientas comerciales, los ahorros pueden estimarse en:

- **Reducción de los tiempos de validación** de cada auscultación **en más de un 80%.**
- **Reducción de tiempos de análisis** de más de **un 50%.**

Al ser un desarrollo interno, permite una continua evolución basada en nuevos requisitos y el know-how corporativo.

**MATLAB Compiler permite además desplegar la app con suma facilidad**, poniendo al alcance de nuestro personal técnico las citadas funcionalidades analíticas sin necesidad de conocer el detalle del entorno de MATLAB.

La integración de MATLAB con todo tipo de fuentes de datos y herramientas de presentación y visualización ofrece grandes posibilidades de desarrollo y mejora continua de nuestra app.

# 5 BigVAI

## Próximos pasos

- Desarrollo de **nuevos modelos de desgaste de catenaria** desde un estado inicial de hilo nuevo, en función de la geometría, la interacción dinámica y los consumos del material móvil
- **Optimización de los modelos de dinámica de pantógrafo.**
- Nuevos desarrollos para la **mejora de la planificación de trabajos de mantenimiento.**
- **Nuevos indicadores** macroscópicos de estado de las instalaciones.



**¡Muchas gracias por su  
atención!**