

# **NUEVOS DESARROLLOS PARA METROS LIGEROS**

**Raúl Parra Hermida**

Director de proyectos, Metrotenerife, España

**Pablo Martín Pacheco**

Responsable de Informática e Ingeniería de Sistemas, Metrotenerife, España

**Pablo Oromí Frago**

Ingeniero de proyectos, Metrotenerife, España

## **RESUMEN**

Metrotenerife es el operador del Metro Ligero de Tenerife desde su puesta en marcha en el año 2007. Asimismo, esta empresa pública perteneciente al Cabildo Insular de Tenerife lleva a cabo los estudios pertinentes para la implantación de nuevos corredores ferroviarios con el objeto de mejorar la sostenibilidad de la movilidad e incrementar la cuota de transporte público colectivo en la isla.

La experiencia que adquiere el operador de un sistema de transporte de metro ligero a lo largo de 14 años de servicio comercial le hace replantearse soluciones técnicas y tecnológicas que permitan mejorar las condiciones de seguridad de la circulación de convoyes y las acciones de mantenimiento. Metrotenerife ha desarrollado, entre otros, dos sistemas novedosos que le han permitido obtener dichas mejoras, y que están siendo además lanzados al mercado para permitir al resto de operadores poder beneficiarse de ellos. Se trata, por un lado, del SIMOVE (Sistema de Monitorización de Velocidad Embarcado), que permite supervisar de forma continua y a tiempo real la posición del vehículo y su velocidad, siendo capaz de activar de forma automática el freno de emergencia en caso de que se sobrepase el umbral de riesgo, y por otro lado la Chaqueta Aislante Extraíble para carril de garganta, un elemento de aislamiento eléctrico y acústico que por sus prestaciones permite sustituir dicho carril en tiempo reducido y sin necesidad de llevar a cabo obras de demolición y reposición de revestimientos de vía.

## **1. SIMOVE**

### **1.1 Introducción**

SIMOVE es un sistema de seguridad capaz de supervisar en tiempo real la velocidad del vehículo, alertar al conductor de las limitaciones de velocidad existentes en función del tramo por el que circula; y en caso de sobrepasarlas, aplicar el Frenado de Urgencia Automático del vehículo (FU en adelante).

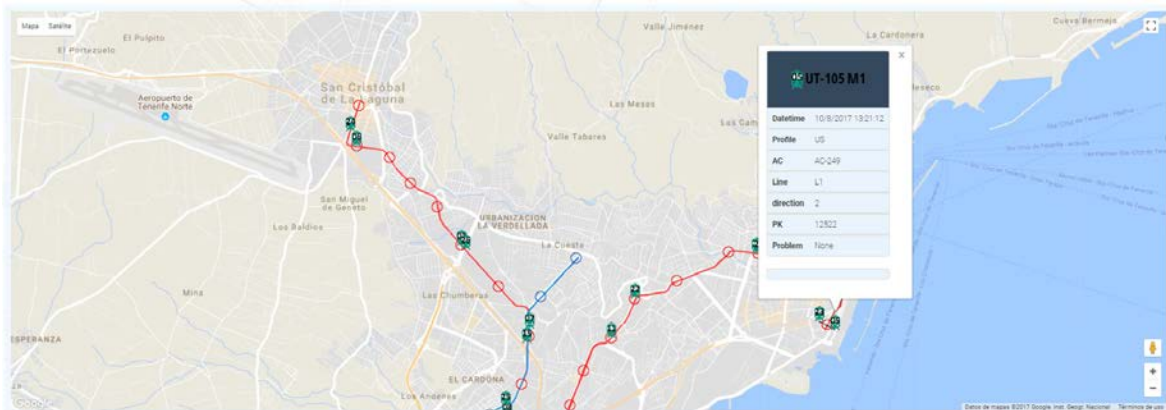
SIMOVE está formado por dos partes: un sistema embarcado y el back office, que están comunicados vía Wi-Fi o tecnología 3G/4G. El primero es el encargado del control de velocidad, monitorización y registro de eventos. El back office recibe, gestiona y almacena la información de los equipos embarcados, además permite configurar y preparar la información para poder explotarla, en función de las necesidades del operador.

## 1.2 Funcionalidades de SIMOVE

Las funciones principales del equipo se han diferenciado e independizado dependiendo de la aplicación que se va a llevar a cabo, acordes a los requisitos RAMS (Reliability, Availability, Maintainability and Safety) exigidos, y para evitar que durante la fase de mantenimiento, la actualización de los parámetros de una de las funciones afecten al resto.

El sistema SIMOVE está basado en tecnología GPS para ubicar el vehículo en la línea y determinar su sentido; y en la lectura del odómetro embarcado para calcular la velocidad y distancia recorrida.

### 1.2.1 Control de la posición y velocidad del vehículo

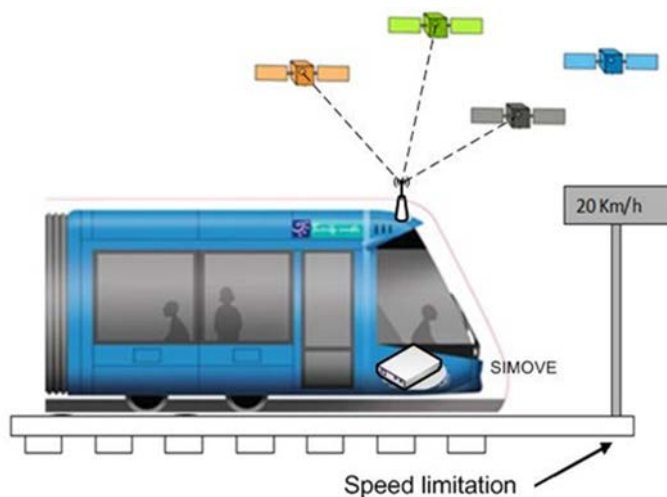


**Fig. 1 - Posición de la flota operativa a tiempo real**

- Seguimiento continuo de la posición del vehículo deduciendo línea y sentido de marcha.
- Seguimiento continuo de la velocidad del vehículo.
- Comparación de la velocidad del vehículo con las velocidades máximas de conducción impuestas en el tramo de la línea por el que circula y el tipo de vehículo.
- El sistema funciona en todo tipo de topologías (túneles, puentes, zonas entre edificios, etc.).

#### 1.2.1.1 Localización del vehículo basada en tecnología GPS

La determinación de la línea y sentido del vehículo se realiza a través del GPS. Éste se activa al poner en marcha el vehículo desde la cabina de conducción, y no permite que el SIMOVE esté operativo hasta que localice un número mínimo de satélites con una potencia mínima establecidos.



**Fig. 2 - SIMOVE utiliza la constelación GPS para su localización**

#### **1.2.1.2 Localización del vehículo mediante lectura del odómetro**

La conexión del SIMOVE con el odómetro embarcado permitirá el cálculo de la velocidad del vehículo, el desgaste de la rueda, la distancia recorrida desde la última posición de referencia y su ubicación sobre la línea.

#### **1.2.1.3 Comparación con el perfil de velocidad del tramo.**

Ubicado el vehículo en una línea y conociendo su sentido, el sistema compara la velocidad registrada por el odómetro, con el perfil de velocidad definido en dicho tramo. El sistema posiciona el vehículo en cada tramo con el objetivo de alertar al conductor del exceso de velocidad cuando supera el umbral de alarma, o frenando el vehículo cuando sobrepasa el umbral de emergencia.

#### **1.2.1.4 Recreación de la posición y velocidad de la flota**

SIMOVE permite efectuar una recreación de los viajes realizados por la flota completa, permitiendo al operador visualizar los desplazamientos de los vehículos en una franja temporal determinada, a modo de moviola. Esta funcionalidad permite analizar los siguientes puntos: gestión de la flota llevada a cabo por el PCC (Puesto Central de Control), gestión de incidencias por parte del PCC, análisis de eventos, etc.

#### **1.2.2 Ratio de obtención de información.**

El sistema embarcado obtiene información 3 veces por segundo. Es posible leer con frecuencias mayores. Las limitaciones son las de hardware y almacenamiento de datos

### 1.2.3 Aviso e información al conductor.

- El sistema embarcado está equipado con una pantalla situada en la cabina, que muestra al conductor la velocidad actual del vehículo y la velocidad máxima permitida en la sección en la que está circulando.
- Identificación del conductor mediante solicitud de usuario. El registro del conductor se realizará en ambas cabinas simultáneamente.



**Fig. 3 - Registro del código de conductor**

- Aviso si el conductor no se ha registrado en el sistema.
- Avisos sonoro (fichero de audio personalizable) y luminoso en la pantalla cuando la velocidad de *warning* ha sido sobrepasada. Si se alcanza el segundo umbral, denominado velocidad de emergencia, se aplicará un FU. Ambos umbrales de velocidad son parametrizables en cada una de las líneas, dirección y localización precisa.
- Aplicación de umbrales distintos dependiendo del tipo de vehículo, en adelante perfiles (por ejemplo, unidad simple, unidad doble, unidad de prueba, etc).

### 1.2.4 Actuación sobre el freno del tranvía.

- La orden de frenado FU se dará mediante la apertura del lazo de puertas provocado por el relé del SIMOVE.
- Tras la aplicación de un FU aparecerá en la pantalla un aviso de aplicación indicando la velocidad del tramo y la velocidad alcanzada. Posteriormente el conductor deberá reconocer el FU para poder continuar con la conducción.



Fig. 4 - Pantalla conductor en un FU

### 1.2.5 Aviso e información a terceras partes y/o aplicaciones.

- Los destinatarios de la información y avisos enviados por SIMOVE son completamente personalizables, así como el tipo de información que recibe cada uno de ellos.
- Publicación en un Servicio Web de los avisos de emergencia y FU en tiempo real, para poder ser explotados por terceras aplicaciones.
- Servicio Web que provee a tiempo real el posicionamiento del vehículo, el cual puede ser actualizado según parametrización para poder ser explotados por terceras aplicaciones.
- Generación de los ficheros KML conteniendo la velocidad y aceleración de cada viaje para su representación sobre interfaz GIS, aun cuando no hayan sido registrados eventos significativos.
- Envío de avisos por SMS o servicios de mensajería instantánea de las FU y otros eventos destacables a una selección de usuarios predefinida.

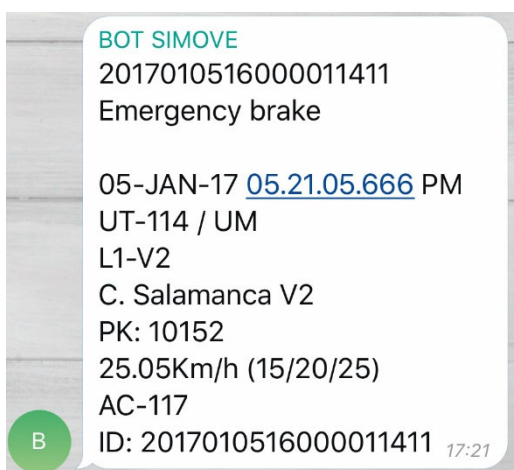


Fig. 5 - Mensaje de texto enviado a un destinatario predeterminado ante un FU

### 1.2.6 Registro y almacenamiento.

- Registro de los datos significativos proporcionados por el sistema. Todos los datos registrables son parametrizables.
- Volcado de los mismos a un servidor central donde se almacenarán en una base de datos.
- Distintos medios de descarga de datos en el vehículo (USB, Ethernet y Wifi).
- Grabación del sonido ambiental de la cabina de conducción para verificar las alarmas acústicas en caso de exceso de velocidad.
- Informes operacionales disponibles para facilitar el análisis e investigación.
- Datos registrados:
  - Fecha/Hora.
  - Numero de vehículo y su cabina de conducción.
  - Línea y dirección de viaje.
  - Identificación del conductor.
  - Tipo de vehículo.
  - Posición GPS medida (coordenadas).
  - Posición Odómetro calculada.
  - Posición teórica (PK de la línea asociado).
  - Distancia de error entre GPS y PK asociado.
  - Velocidad GPS medida.
  - Velocidad Odómetro calculada.
  - Velocidad máxima del tramo.
  - Velocidad de alarma del primer aviso.
  - Velocidad de emergencia (2º aviso y aplicación del FU).
  - Activación de la alarma de precaución (aviso).
  - Activación del frenado automático en el vehículo.
  - Estado del conmutador de inhibición.
  - Precisión del cálculo de la posición, basada en los diferentes valores del GPS.
  - Incidencia detectada (código).
  - Número de satélites GPS encontrados.
  - Número de satélites GPS en uso.
  - Calidad de la señal GPS.
  - Activación del DGPS (corrección diferencial de GPS).
  - Relación  $r/n$  necesaria para cálculos con el odómetro (siendo  $r$  el radio de la rueda y  $n$  el número de dientes para un giro completo de la misma).
  - Distancia acumulada desde la última posición de referencia.
  - Control de las distintas versiones del software, configuración y parametrización.

ID VEHICULO	CABINA	IP	VERSION SOFT	VERSION DE DATOS	VERSION DE CONFIG
102	1	10.11.001.24	2.0	2.7	2.04
102	2	10.11.001.27	2.0	2.7	2.04
102	1	10.11.002.24	2.0	2.7	2.04
102	2	10.11.002.27	2.0	2.7	2.04
102	1	10.11.003.24	2.0	2.7	2.04
102	2	10.11.003.27	2.0	2.7	2.04
104	1	10.11.004.24	2.0	2.7	2.04
104	2	10.11.004.27	2.0	2.7	2.04
104	1	10.11.005.24	2.0	2.7	2.04
104	2	10.11.005.27	2.0	2.7	2.04
104	1	10.11.006.24	2.0	2.7	2.04
104	2	10.11.006.27	2.0	2.7	2.04
107	1	10.11.007.24	2.0	2.7	2.04
107	2	10.11.007.27	2.0	2.7	2.04
108	1	10.11.008.24	2.0	2.7	2.04
108	2	10.11.008.27	2.0	2.7	2.04
109	1	10.11.009.24	2.0	2.7	2.04
109	2	10.11.009.27	2.0	2.7	2.04
110	1	10.11.010.24	2.0	2.7	2.04
110	2	10.11.010.27	2.0	2.7	2.04
111	1	10.11.011.24	2.0	2.7	2.04
111	2	10.11.011.27	2.0	2.7	2.04

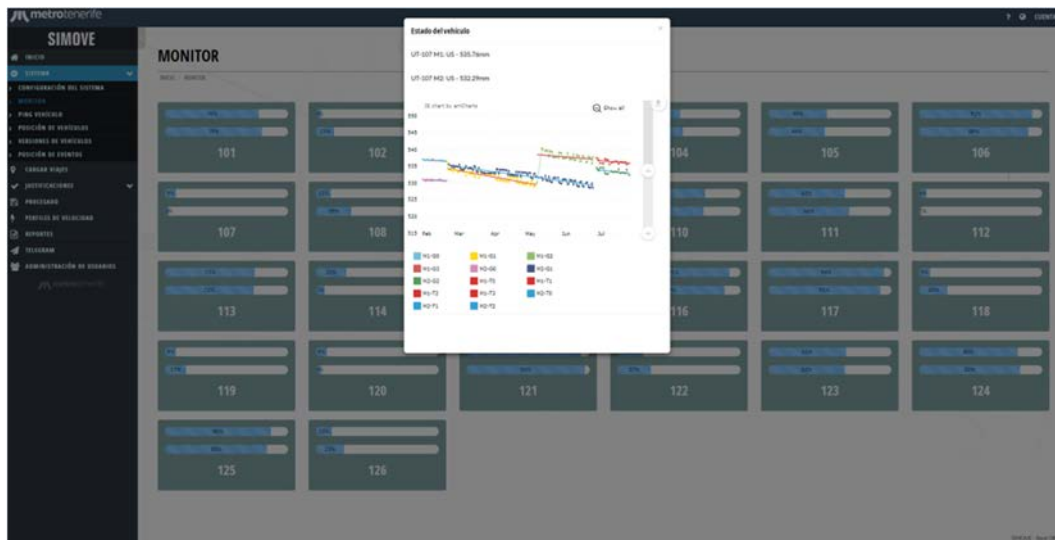
Fig. 6 - Versiones de vehículos en el back office de SIMOVE

Grupos	Casos de Uso
Administradores	Acceso Pánico
Expeditores	Acceso Pánico
Informáticos	Acceso Configuración Sistema
Mantenimiento	Acceso Cargar Viales
Usuarios	Acceso Reportes
Supervisor	Acceso Posición Eventos
Tráfico	Acceso Posición Vehículo
	Recibir Notificaciones
	Acceso Perfiles Velocidad
	Acceso Versión Vehículo
	Acceso PNL Vehículo
	Acceso PNL Proceso
	Acceso Justificar FV
	Acceso Grupos Teleguay
	Acceso Justificar Vial
	Acceso Monitor

Fig. 7 - Administración de usuarios en el back office de SIMOVE

### 1.2.7 Mantenimiento y configuración.

- Recepción de ficheros desde el servidor central para su configuración.
- Menú de mantenimiento con código de acceso para:
  - Test de funcionamiento. Realización de pruebas periódicas que confirman el buen funcionamiento del equipo, tales como: conectividad, estado del GPS, números de pulsos, diámetro actual de rueda, etc.
  - Cambio de perfiles, unidad múltiple, unidad simple, líneas virtuales, etc.
  - Volcado de datos a memorias externas.
  - Versión de software, de datos, parametrización.
  - Identificación de unidad, cabina e IP.
  - Muestra si existen ficheros pendientes de cargar, tanto de datos como de audio.
  - Introducción del diámetro de la rueda después de su torneado o reemplazo.



**Fig. 8 - Información sobre el estado de la rueda en el back office de SIMOVE**

- Actualización local o remota tanto del software como de los parámetros y tablas.
- Acceso mediante VNC al equipo embarcado desde el back office.

### 1.2.8 Inhibición del sistema embarcado.

- Inhibición automática del sistema en caso de que desconozca la línea/sentido y por tanto no pueda aplicar el perfil de velocidad correcto.
- Inhibición automática del sistema cuando el vehículo recorra una distancia establecida sin haber logrado reubicarse por GPS.
- Posibilidad de inhibición manual por parte del conductor, sólo mediante autorización del operador, mediante el accionamiento del correspondiente conmutador, el cual se encuentra precintado para evitar la inhibición del dispositivo de forma no controlada.

### 1.2.9 Integración de la radiodifusión

El sistema puede ser integrado con la radiodifusión, de forma que controle la señal y volumen de la misma, evitando interferencias en las comunicaciones con el PCC y pasajeros. Además, si el SIMOVE emitiera avisos sonoros, estos prevalecerán sobre los sonidos de radiodifusión, que serían bloqueados durante el tiempo de duración de dichos avisos

## 2. CHAQUETA AISLANTE EXTRAÍBLE PARA LÍNEAS DE METRO LIGERO

### 2.1 Introducción

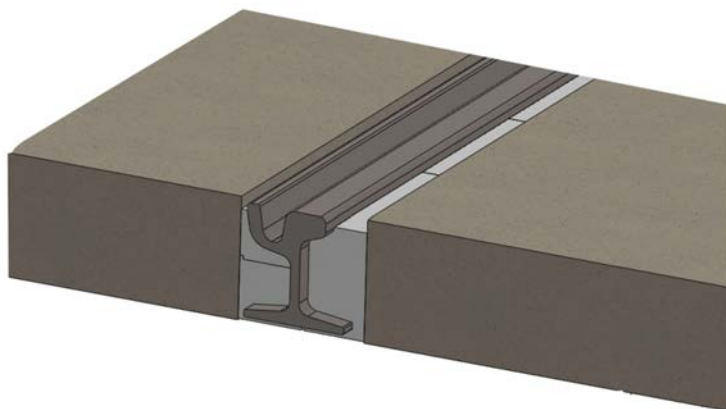
En líneas ferroviarias urbanas tipo LRT (*Light Rail Transit*), con trazados en superficie, los carriles suelen implantarse en plataformas reservadas o compartidas, embebidos generalmente en revestimientos de pavimento rígido y en revestimientos verdes (césped natural o artificial); esto se debe a que en entornos urbanos existe en muchos casos la necesidad de transitar sobre la plataforma tranviaria (por ejemplo: cruces con calzadas de vehículos, calles peatonales..., etc.) y también por cuestiones de integración visual y



paisajismo. La existencia de canalizaciones metálicas soterradas en entornos urbanos (canalizaciones de servicios) obliga a aislar los carriles debido a que éstos forman parte del circuito eléctrico de alimentación de los tranvías (circuito de retorno) y pueden afectar a las canalizaciones por el efecto de las corrientes vagabundas; por otro lado, es conveniente también aislar acústicamente el carril para disminuir la emisión de ruidos causados por la rodadura ferroviaria. Ambas circunstancias han llevado a la generalización del empleo de chaquetas aislantes que envuelven inferior y lateralmente al carril en este tipo de líneas.

En el marco de las operaciones de mantenimiento de una línea de metro ligero, la sustitución de carriles desgastados representa un quebradero de cabeza para los operadores de estos sistemas de transporte público. Con las soluciones actuales de aislamiento, la sustitución de carriles cuando llegan al final de su vida útil conlleva la demolición de los revestimientos, ya que tanto los carriles como sus sujeciones se encuentran embebidos en el revestimiento. En ese escenario, la sustitución de carriles conlleva un conjunto de inconvenientes que se citan a continuación:

- Coste para el operador por los trabajos de demolición y posterior reposición de pavimentos, operaciones éstas que no generan ningún valor añadido a la plataforma tranviaria, siendo por lo tanto una inversión sin rentabilidad
- Generación de residuos RCD (residuos de construcción y demolición), los cuales son generalmente trasladados a vertedero debido a su difícil reciclado.
- Plazo de ejecución de las operaciones de demolición y reposición, con interferencias para el servicio comercial de transporte
- Molestias al entorno urbano por ruidos, polvo, desvíos de tráfico, etc.



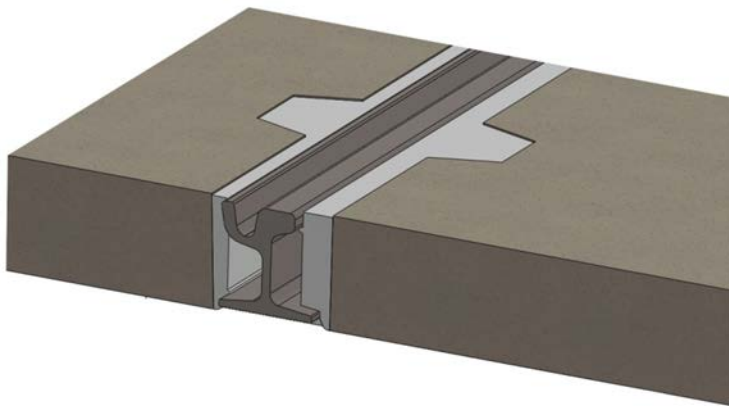
**Fig. 9 - Solución habitual de chaqueta aislante de carril**

## 2.2 Chaqueta Aislante Extraíble

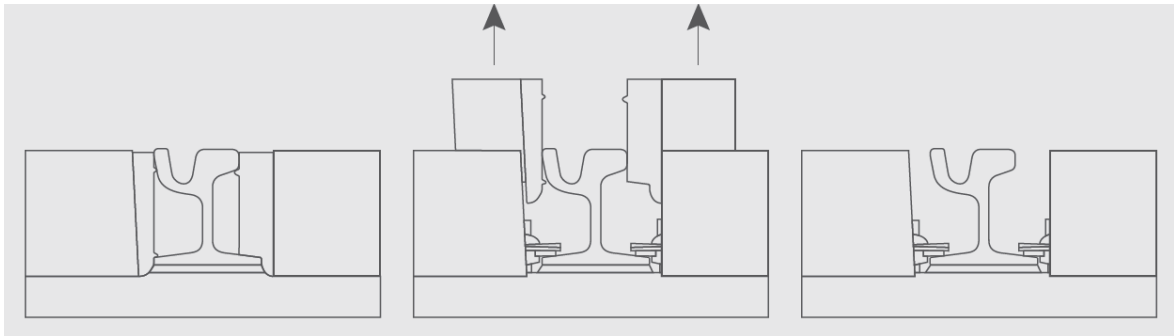
Para solventar estos inconvenientes Metrotenerife ha desarrollado y obtenido la patente en España (OEPM) y en Europa (EPO) de un diseño de chaqueta aislante de carril que permite la sustitución de los carriles desgastados sin necesidad de afectar al revestimiento.

La Chaqueta Aislante Extraíble cumple con el cometido de aislamiento eléctrico y acústico que presentan el resto de soluciones del mercado, pero introduce la novedad de poderse retirar fácilmente para extraer el carril antiguo y volver a colocarse una vez reemplazado el carril nuevo, volviendo a cumplir con su tarea de aislamiento. La retirada de la chaqueta y su reposición no requieren de trabajos de obra civil tales como demolición o construcción, aportando por tanto un claro beneficio para el operador en los términos indicados anteriormente. Adicionalmente, este diseño concreto de chaqueta aporta otras ventajas en términos de fabricación respecto a otras soluciones constructivas, pues reduce el volumen de material empleado y además elimina la necesidad de uso de caperuzas de protección de la sujeción, hechas habitualmente en plástico, proporcionando por tanto beneficios medioambientales.

Metrotenerife comenzó con las pruebas de la nueva chaqueta en el año 2016, y desde entonces ha implantado esta solución constructiva en sus líneas durante las operaciones de sustitución de carril, obteniendo resultados satisfactorios hasta la fecha.



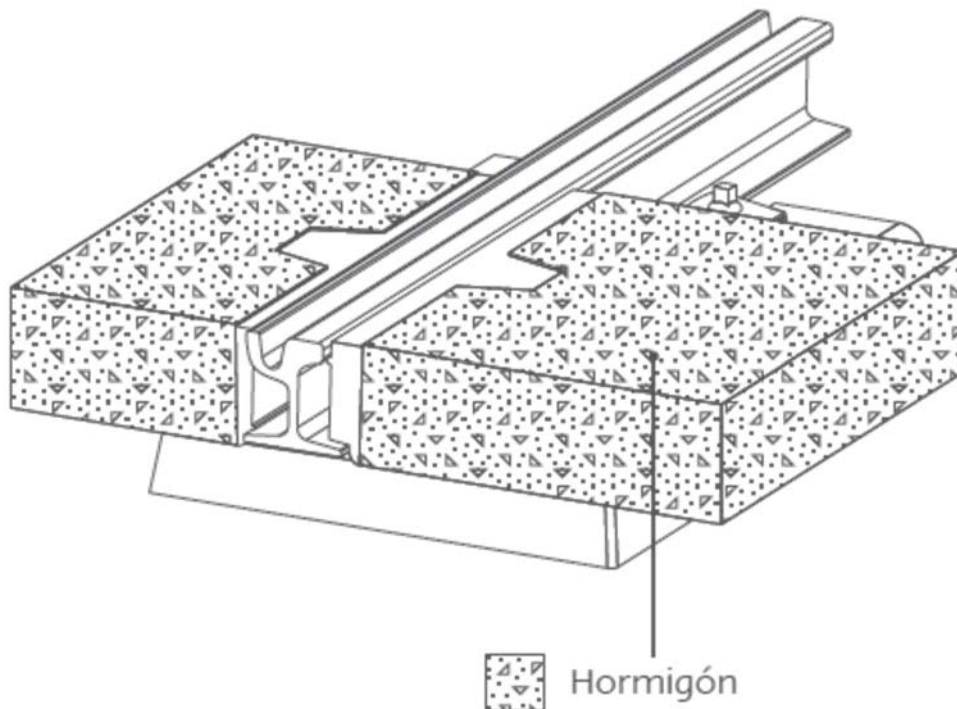
**Fig. 10 - Solución chaqueta aislante extraíble de Metrotenerife**



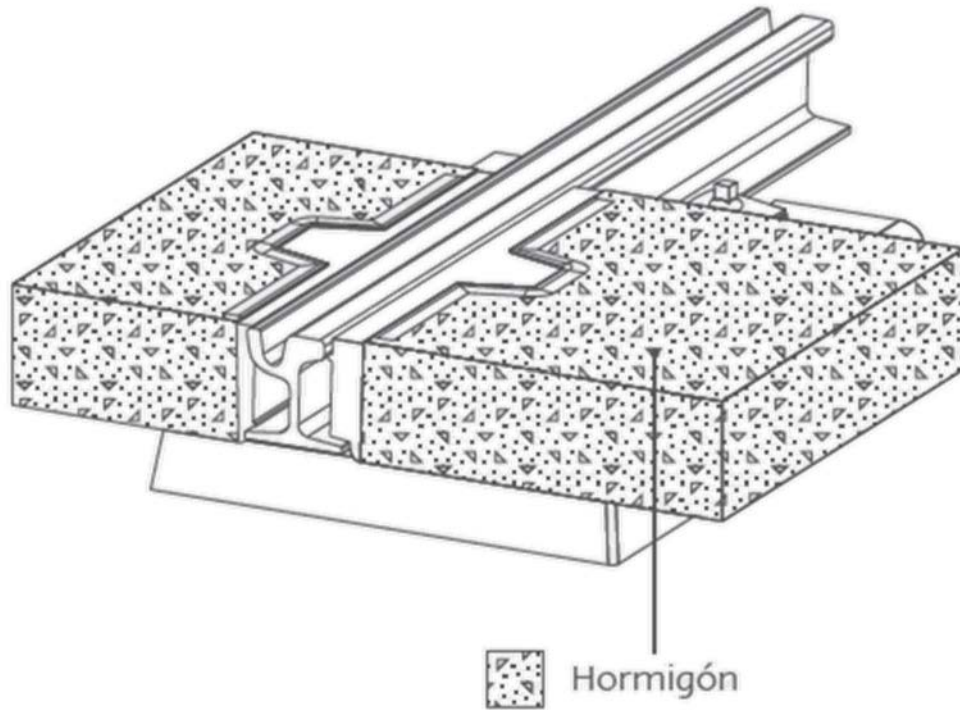
**Fig. 11 - Extracción vertical y sustitución del enchaquetado sin necesidad de demoler el revestimiento**

### 2.3 Solución polivalente

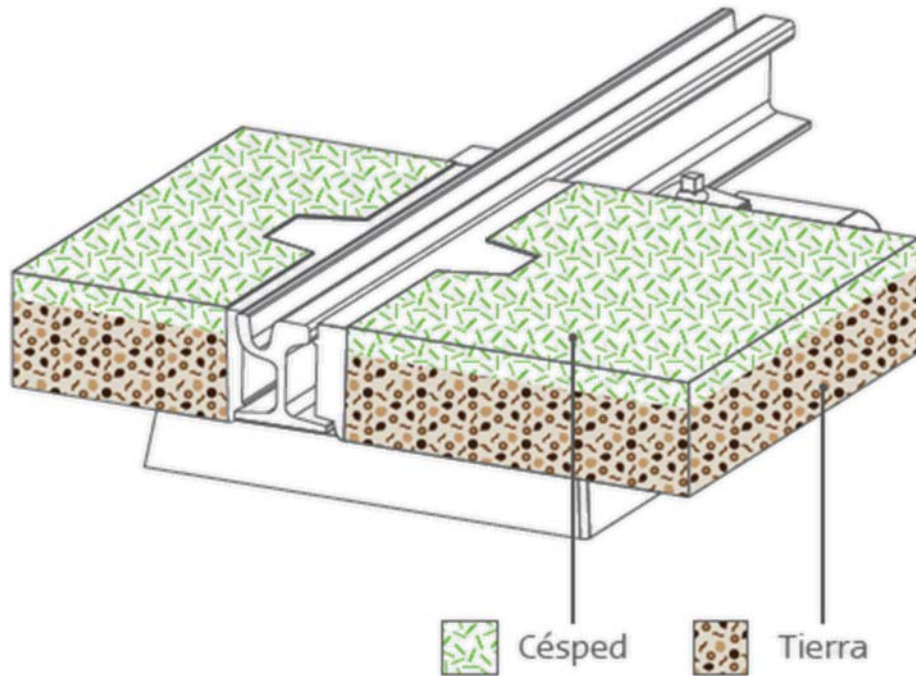
La solución de chaqueta aislante extraíble permite ser instalada en los diversos tipos de revestimientos empleados habitualmente en las líneas de metro ligero, tanto pavimentos rígidos como revestimiento verde (césped). Además, también permite ser instalada en cruces con calzadas de vehículos, en cuyo caso se añade un perfil metálico de protección de la interfaz entre chaqueta y revestimiento para evitar daño y erosión de ambos materiales, una solución empleada también en las soluciones constructivas habituales del mercado actual.



**Fig. 12 - Instalación con revestimiento de hormigón, sin cruce con circulación rodada**



**Fig. 13 - Instalación con revestimiento de hormigón, en cruce con circulación rodada (con perfil metálico de protección)**



**Fig. 14 - Instalación en revestimiento verde (césped)**

		
Revestimiento de hormigón	Cruce con calzada	Revestimiento verde

**Tabla 1 – Instalación con diversos revestimientos**

## 2.4 Ventajas

Por tanto, la chaqueta aislante extraíble aporta las siguientes ventajas respecto a los modelos de chaqueta actuales del mercado:

- Menor coste de fabricación, al necesitar menor volumen de material
- Reducción del número de elementos a emplear en el conjunto de aislamiento, al eliminar la caperuza de protección de la sujeción, ya que la propia chaqueta cubre la sujeción
- Mejoras en afección medioambiental, al eliminar el uso de caperuzas plásticas
- Reducción de costes para el operador al eliminarse los trabajos de demolición y posterior reposición de pavimentos, operaciones éstas que no generan ningún valor añadido a la plataforma tranviaria
- Reducción de residuos RCD (Residuos de Construcción y Demolición) emitidos por las operaciones de sustitución de carril con soluciones estándar
- Reducción de los plazos de ejecución de las operaciones de demolición y reposición
- Reducción de las interferencias sobre el servicio comercial de transporte, al reducirse el plazo y eliminarse trabajos de obra civil en la plataforma ferroviaria
- Reducción de molestias al entorno urbano por ruidos, polvo, desvíos de tráfico provocados por la demolición y reposición en las soluciones estándar.