



## SISTEMA DE VIA EN PLACA PARA TRANVIA MLG (Metro Liger Granada)

I Jornada Europea sobre  
Valorización y Reciclado de  
Neumático Fuera de Uso.  
Sevilla 2009.

UTE Tranvía Campus de la  
Salud - Armilla. Granada

ACCIONA  
INFRAESTRUCTURAS



## **CONTENIDO.**

- **INTRODUCCION: PRESENTACION CENTRO DE I+D+i DE ACCIONA**
- **ANTECEDENTES HECHOS POR ACCIONA**
- **DESCRIPCION DEL SISTEMA DE VIA EN PLACA MLG**
- **VENTAJAS DE LA TECNOLOGIA APLICADA**
- **ENSAYOS DE CARACTERIZACION DE MEZCLAS**
- **ENSAYOS MECANICOS DE VALIDACION DEL SISTEMA**
- **ENSAYOS DE AMORTIGUACION DE VIBRACIONES**
- **FABRICACION DE ENCAMISADOS DE CARRILES EN OBRA**
- **SISTEMA DE PUESTA EN OBRA DEL SISTEMA DE VIA MLG**
- **CONCLUSIONES**

# INTRODUCCION

## Acciona: Nuestras líneas de negocio

### Infraestructuras

Construcción  
Ingeniería  
Concesiones

### Inmobiliaria

Patrimonio  
Promoción

### Energía

Eólica  
Otras renovables

### Servicios Logísticos y de Transporte

Aeroportuarios  
Transmediterránea  
Otros servicios logísticos

### Servicios Urbanos y Medioambientales

Facility Management  
Servicios hospitalarios  
Tratamientos de residuos

### Agua

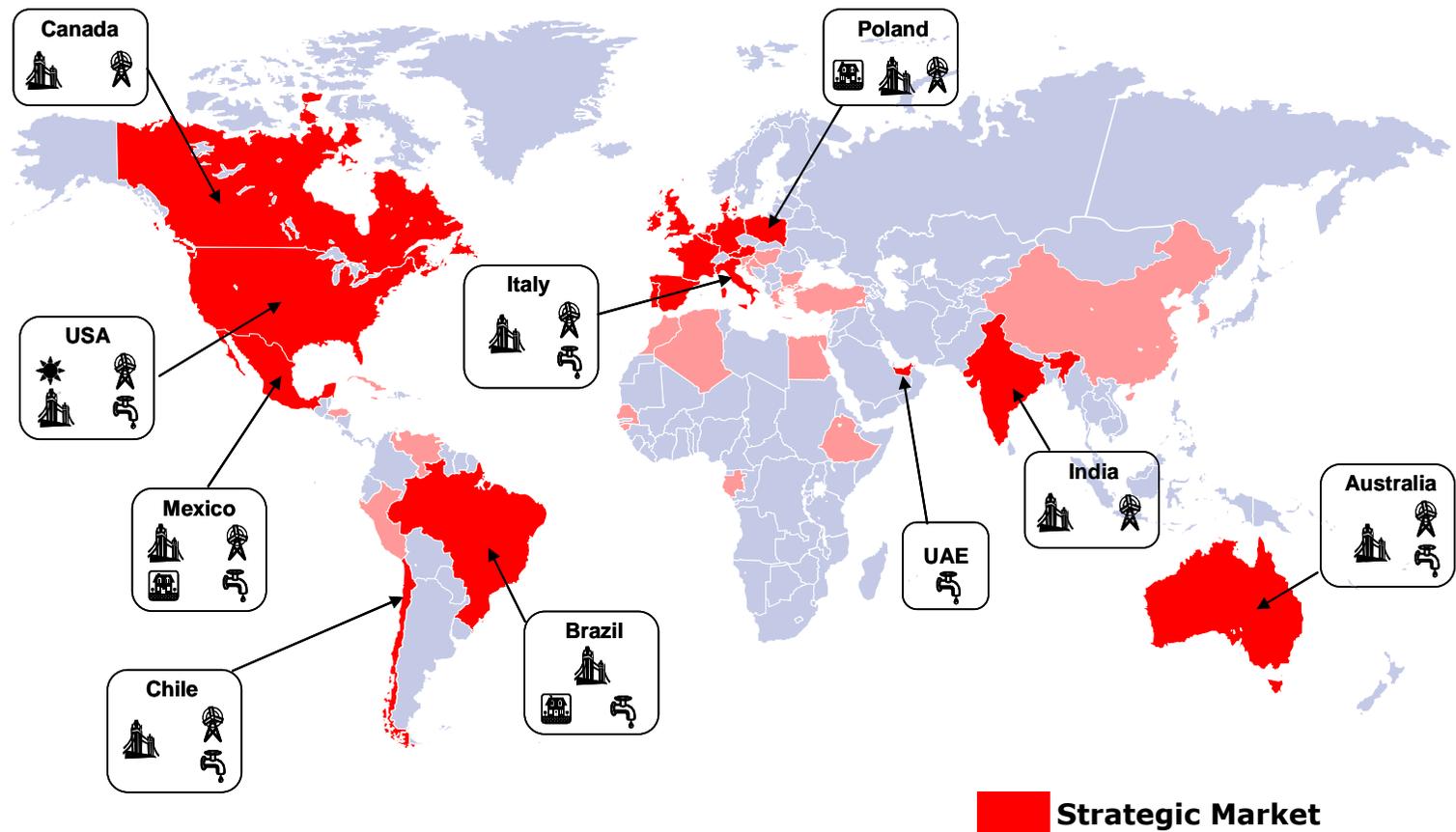
Desalación por Osmosis Inversa

### Otros Negocios

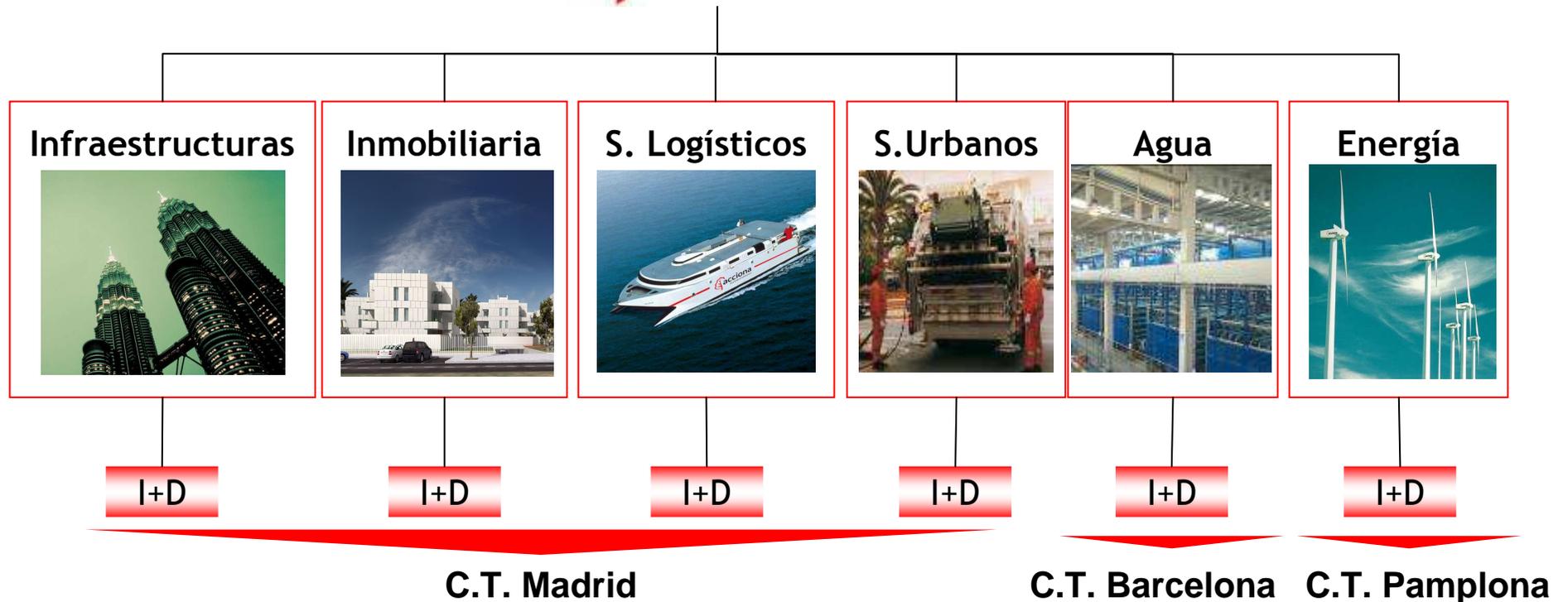
Bestinver  
Hijos de Antonio Barceló  
GPD



## Nuestras presencia internacional



## Estructura organizativa para dinamizar la actividad innovadora



## Tres centros tecnológicos

**Pamplona:**  
Energía



**Madrid:**  
Construcción, MedioAmbiente  
y Transporte



**Barcelona:** Tecnologías del Agua



## Tres Centros Tecnológicos con más de 250 profesionales

### Madrid



- Infraestructuras
- Inmobiliaria
- Servicios Logísticos y de Transporte
- Servicios Urbanos y Medioambiente

### Pamplona



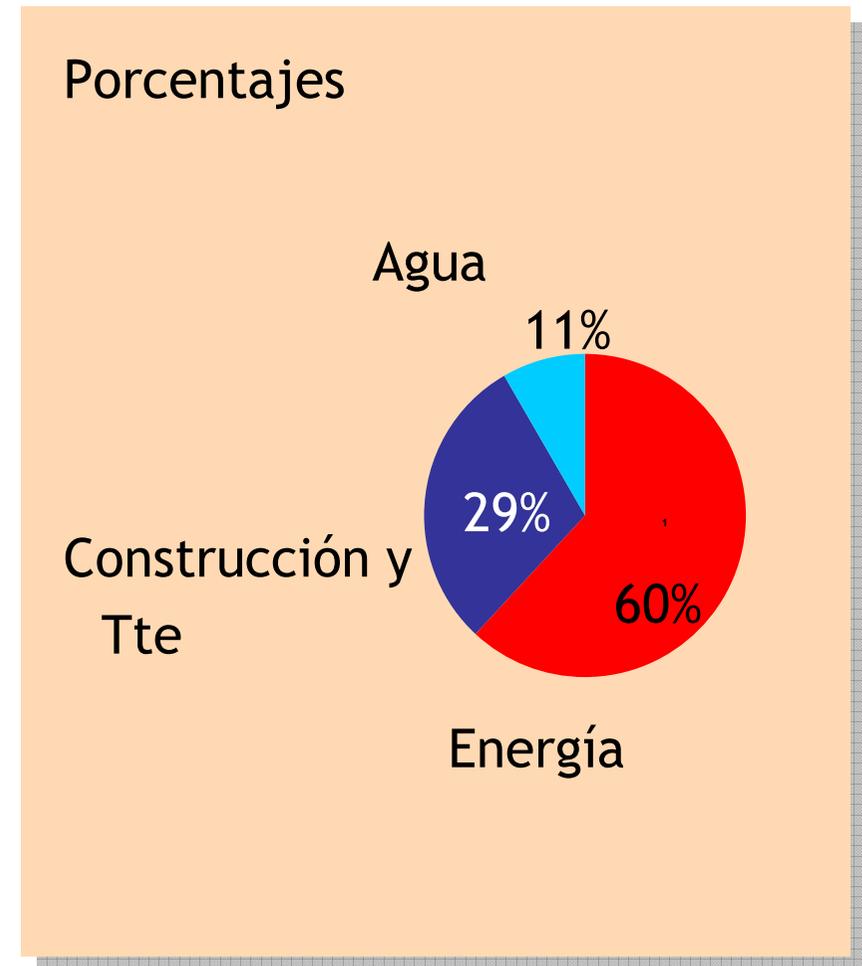
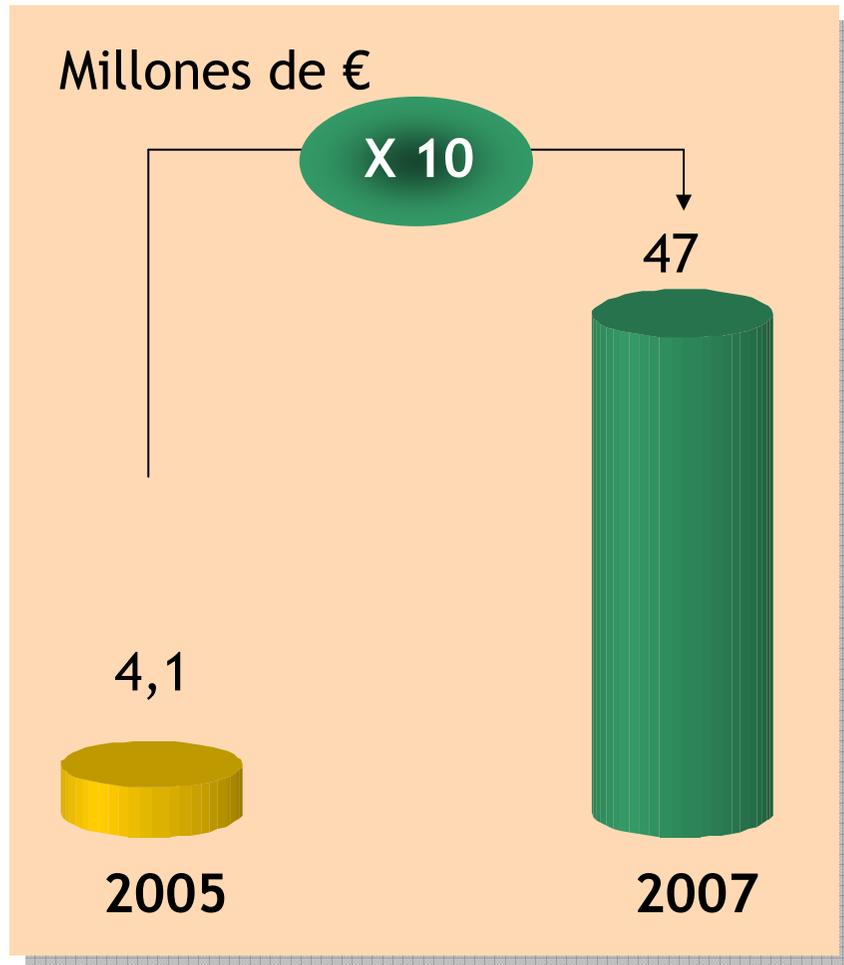
- Energía
  - Biocombustibles
  - Solar
  - Energía
  - Windpower (Barasoáin)

### Barcelona

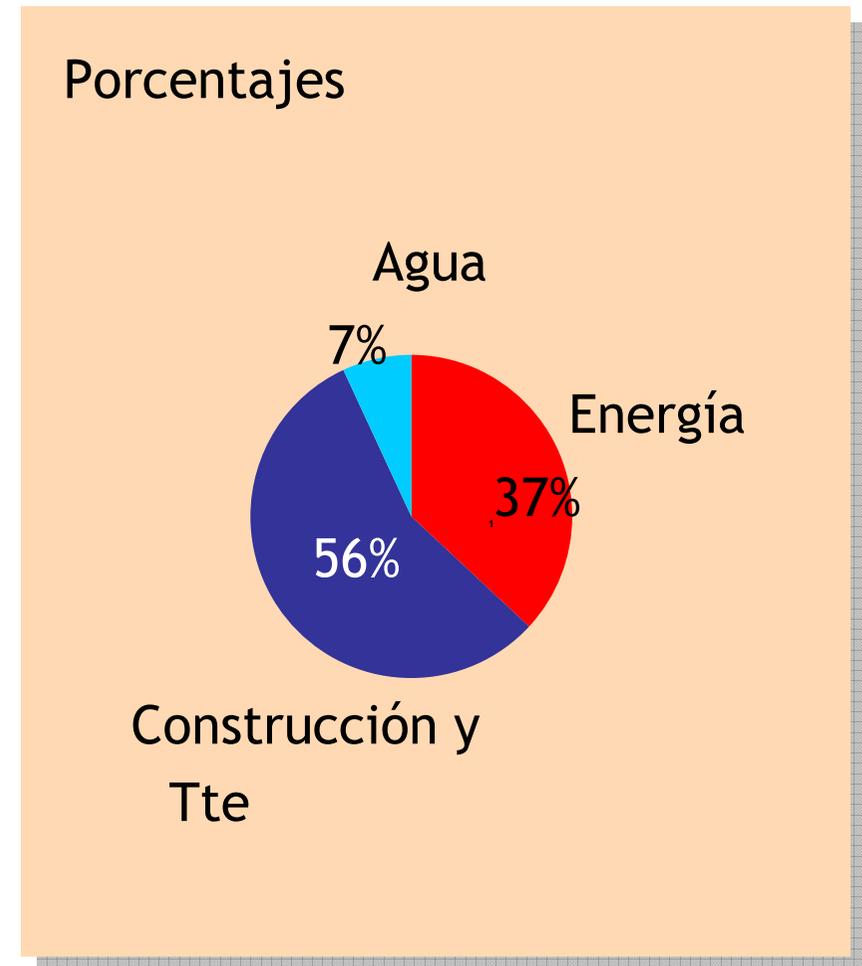


- Agua
  - I+D: Barcelona
  - Planta piloto: Tordera

## Significativo esfuerzo inversor



## Equipo cada vez más potente



## Escalando posiciones en el **ranking europeo\*** de I+D

2005			2006			2007			
Datos 2005	Ranking		Datos 2006	Ranking		Datos 2007	Ranking		Inversión Mill €
	España	UE		España	UE		España	UE	
Telefónica	1	39	Telefonica	1	40	Telefonica	1	41	594,00
Amadeus Global Travel	2	87	Amadeus Global Travel	2	92	Indra Sistemas	2	116	141,05
Indra Sistemas	3	152	Indra Sistemas	3	159	Almirall	3	159	101,40
Repsol YPF	4	184	Repsol YPF	4	195	Repsol YPF	4	196	77,00
<b>Abengoa</b>	<b>5</b>	<b>203</b>	Industria de Turbo Propulsores	5	197	I. Turbo Propulsores	5	200	72,47
Industria de Turbo Propulsores	6	215	Almirall	6	236	Iberdrola	6	220	65,00
Zeltia	7	227	Zeltia	7	248	Abengoa	7	246	54,59
<b>Gamesa</b>	<b>8</b>	<b>273</b>	<b>ENDESA</b>	<b>8</b>	<b>288</b>	Zeltia	8	251	51,69
<b>ACS</b>	<b>9</b>	<b>357</b>	<b>Gamesa</b>	<b>9</b>	<b>314</b>	<b>Acciona</b>	<b>9</b>	<b>305</b>	<b>39,02</b>
Unión Fenosa	10	358	<b>ACS</b>	<b>10</b>	<b>388</b>	Ferrovial	10	307	38,50
ENCE	11	639	<b>Abengoa</b>	<b>11</b>	<b>390</b>	Gamesa	11	348	30,91
Ebro Puleva	12	659	<b>Acciona</b>	<b>12</b>	<b>398</b>	ENCE	12	583	13,38
Amper	13	680	<b>Union Fenosa</b>	<b>13</b>	<b>436</b>	FAES Farma	13	639	11,05
Fagor	14	708	Grupo Empresarial ENCE	14	542	ACS	14	730	8,20
<b>Grupo Isolux Corsan</b>	<b>15</b>	<b>724</b>	FAES Farma	15	702	Amper	15	753	7,81
Azkoyen	16	771	Cie Automotive	16	774	Ebro Puleva	16	762	7,52
Grifols	17	798	Ercros	17	792	Ercros	17	886	5,70
FAES Farma	18	818	Fagor Electrodomesticos	18	805	Grifols	18	893	5,53
Acerinox	19	854	Ebro Puleva	19	813	Fagor	19	900	5,38
<b>Acciona</b>	<b>20</b>	<b>874</b>	Amper	20	825	Cie Automotive	20	906	5,34

## Datos Centro Tecnológico de Acciona Infraestructuras en Madrid.

- 160 profesionales altamente cualificados.
- Equipo profesional internacional y multidisciplinar.
- Constructora líder en I+D en Europa: más de 15 años de experiencias desarrollando tecnologías en construcción.
- Primera constructora de Europa en contar con su propio Centro Tecnológico:
  - 3500 m<sup>2</sup> de superficie (edificio de 4 plantas)
  - 8 laboratorios de investigación totalmente equipados y 3 laboratorios en construcción: Robótica, Aglomerados y Realidad Virtual.
  - Taller de producción de 1200 m<sup>2</sup> para la fabricación de vigas y otros elementos en materiales compuestos

## Cuatro Subcentros Tecnológicos nuevos.

**Bilbao:**  
Presentación  
Propuestas  
Europeas

**Madrid:**  
Centro de I+D+i  
Acciona Infraestructuras

**La Palma:**  
Centro - Taller de I+D+i  
Canarias. Composites

**Sevilla:**  
Centro de I+D+i  
Andalucía



## PROYECTOS “EN CURSO” DE ACCIONA I+D+I

### ➤ Programas I+D Nacionales y Autonómicos:

- **Programa CENIT** **7 (1)**  
proyectos en cooperación a gran escala (BU típico 30 MI €)
- **Otros Programas I+D Nacionales y Autonómicos:** **30**

### ➤ Proyectos Europeos/Internacionales:

- **EUREKA and IBEROEKA:** **10 (2)**
- **FP5 (finalizado):** **5 (1)**
- **FP6:** **10 (1)**
- **FP7 (1ª convocatoria):** **16 (1)**

**PROYECTOS DE I+D+I TOTALES: 78 (6)**

# ANTECEDENTES

# APLICACIONES EN OBRA CIVIL DE LOS NEUMATICOS FUERA DE USO (NFU)

## **APLICACIÓN: PRIMEROS TERRAPLENES HECHOS CON NFUs EN ESPAÑA**

**DUPLICACION M-111 Y VARIANTE DE FUENTE EL SAZ. COMUNIDAD DE MADRID  
(2.200 ton de NFU)**



**VIA DE SERVICIO Y MODIFICACION DE ENLACES DE SAN ISIDRO - AEROPUERTO SUR. TENERIFE.  
(1.500 ton de NFU)**



# **DESCRIPCION SISTEMA DE VIA EN PLACA PARA METRO LIGERO MLG**

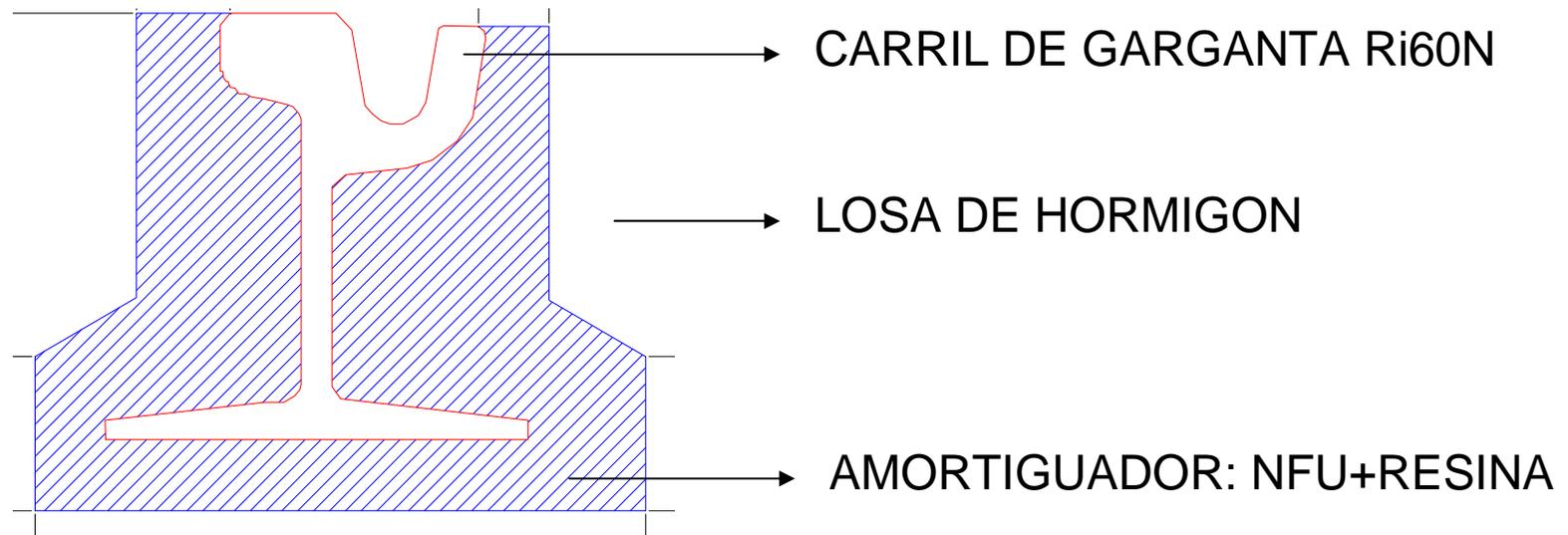
## SISTEMA DE VIA EN PLACA PARA TRANVIA MLG (METRO LIGERO GRANADA)

- DESCRIPCION DEL SISTEMA

- Sistema de vía embebido en losa de hormigón donde el elemento amortiguador está formado por una mezcla de granulado de neumático fuera de uso (NFUs) y una resina.

- SISTEMA DE VIA PATENTADO POR ACCIONA

- SECCION TIPO



RIGIDEZ ENTRE 20 – 45 KN/mm/m

# **VENTAJAS DE LA TECNOLOGIA**

## • VENTAJAS

### • TRANSFORMACION DE UN RESIDUO EN UN RECURSO PRODUCTIVO

- Se recicla un residuo como el NFU evitando las afecciones al Medioambiente

### • ALTA ATENUACION DE VIBRACIONES:

- En el rango entre 6,3Hz y 20kHz se consigue un rango de atenuación de 30dBv

### • EXPERIENCIA PILOTO EN ANDALUCIA. TRANVIA DE GRANADA

- Primer tramo de tranvía con tecnología nacional, poniendo a la vanguardia de la tecnología ferroviaria a Andalucía y en concreto al tranvía de Granada.

### • ELEVADO COMFORT DEL VIAJERO

- Se obtiene un elevado confort al garantizar la geometría de la vía mediante la utilización de pórticos extensibles de vía.

### • PERMITE CIRCULACION DE VEHICULOS NO FERROVIARIOS

- En caso de emergencia pueden circular vehículos por la plataforma y se pueden realizar cruces con tráfico rodado en las calles

### • BAJO COSTE DE MANTENIMIENTO

- No tiene fijaciones y no es necesario realinear el carril

### • TECNOLOGIA DESARROLLADA POR ACCIONA I+D+i

- Fruto de una larga labor de investigación, aportando la experiencia de Acciona en análisis de propiedades de los NFUs y las resinas

# **ENSAYOS CARACTERIZACION DE MEZCLAS**

• CARACTERIZACION MECANICA DE LAS MEZCLAS



Determinación Densidad, % de vacíos del NFU



Determinación de Granulometría de NFU



Elaboración de Mezcla NFU+Resina



NEUVIA en Probetas 150x300mm



Determinación de Densidad de NEUVIA



Pruebas de Esfuerzo-Deformación

## • PROCESO DE FABRICACION DE PROTOTIPOS



**Paso 1. Vertido de resina sobre nfu triturado**



**Paso 2. Mezclado de resina y nfu triturado**



**Paso 3. Preparación del encofrado**



**Paso 4. Colocación de la mezcla de base en el encofrado**



**Paso 5. Relleno de laterales**



**Paso 6. Desencofrado y acabado final**

# ENSAYOS MECANICOS DE VALIDACION DEL SISTEMA

LABORATORIO LADICIM

(UNIV. DE CANTABRIA)

- **ENSAYOS MECANICOS SOBRE SISTEMA DE VIA**

- **Ensayos a realizar:**

- **Cálculo de carga equivalente**

- Se determina calculando la deflexión teórica mediante la teoría de Zimmermann y comparándola con la real. Cuando la diferencia sea menor del 1% se obtiene la carga equivalente.

- **Ensayos vertical e inclinado estático**

- Entre el 0% y el 170% de la carga equivalente a 2KN/sg

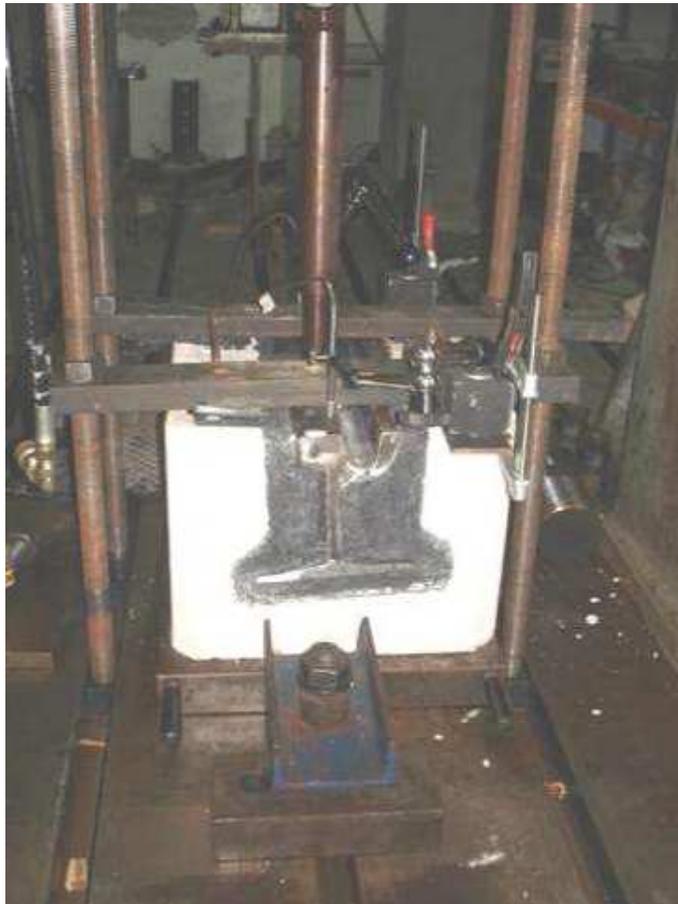
- **Ensayos vertical e inclinado dinámico**

- Entre el 0 y el 100% de la carga equivalente a frecuencias entre 0.5 Hz y 15 Hz.

- **Ensayos de fatiga**

- Ensayo estático y dinámico tras 2.000.000 de ciclos

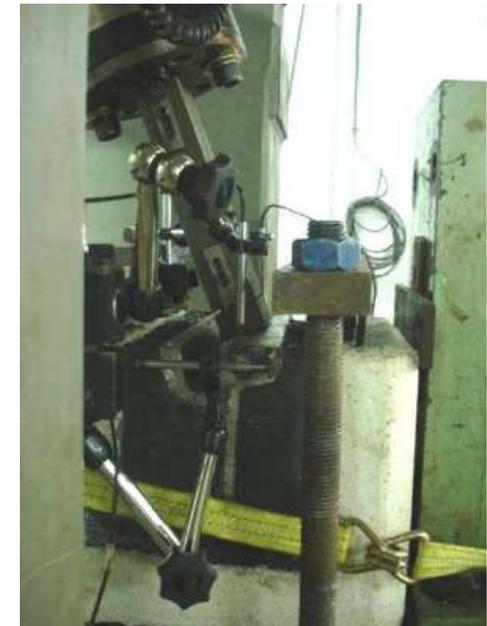
- **ENSAYO ESTATICO CON CARGA VERTICAL E INCLINADA (22°)**



ENSAYO ESTATICO CON  
CARGA VERTICAL



ENSAYO ESTATICO CON  
CARGA INCLINADA (22°)



# **EQUIPO DE CONTROL DE CALIDAD IN SITU**

## Ensayo para determinación de Rigidez in situ del Sistema ACCIONA de Vía en placa

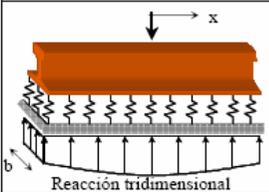
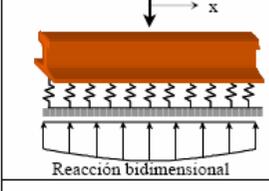
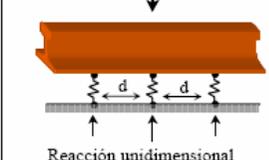


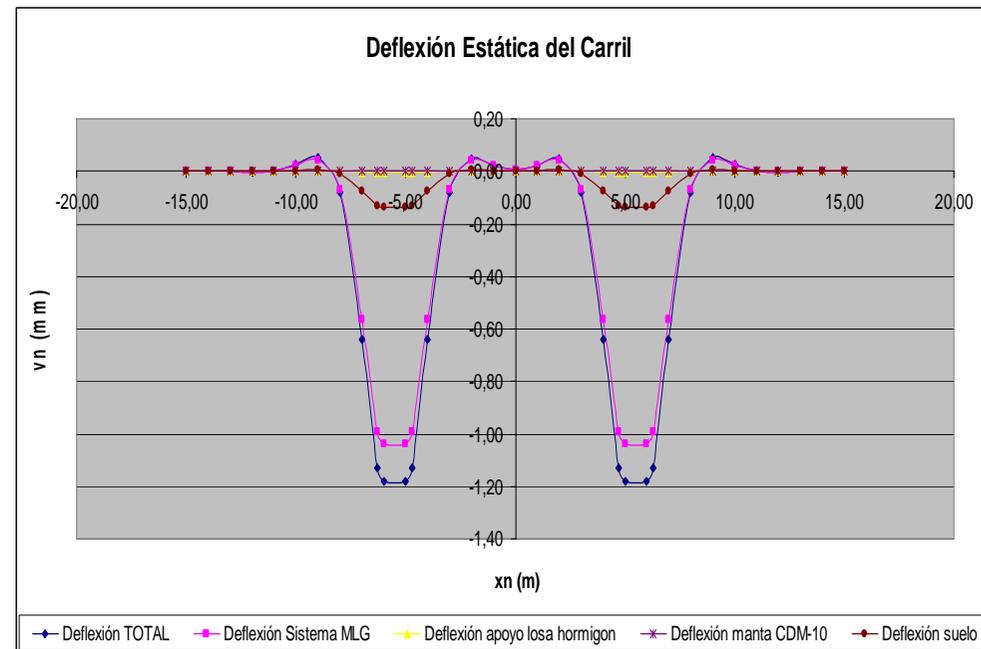
### SISTEMA PARA COMPROBAR LA RIGIDEZ IN SITU

- Posibilita comprobar el parámetro  $K$  de la vía.
- Permite asegurar que el proceso de fabricación ha sido el correcto.
- Permite hacer comprobaciones de la vía previas y posteriores al hormigonado.
- Se puede comprobar la rigidez horizontal y vertical del sistema.
- Dispositivo Patentado por Acciona

# CALCULO DE DEFLEXIONES

OBJETIVO: Obtener la resistencia vertical del conjunto de la vía a partir de (elasticidad de la vía):

PARÁMETRO	ESQUEMA DE ANÁLISIS	REACCIÓN DE APOYO	RELACIÓN CON LA RIGIDEZ VERTICAL DE LA VÍA - K
COEFICIENTE DE BALASTO $C \text{ (N/mm}^3\text{)}$	 <p>Reacción tridimensional</p>	$p^*(x) \text{ [KN/m}^2\text{]}$ $b = \frac{A_t}{d}$	$C = \sqrt[3]{\frac{K^4}{64 \cdot EI} \cdot \frac{d}{A_t}}$ (2.18)
MÓDULO DE VÍA $u \text{ (N/mm}^3\text{)}$	 <p>Reacción bidimensional</p>	$p(x) \text{ [KN/m]}$ $p(x) = p^*(x) \cdot b$	$u = \sqrt[3]{\frac{K^4}{64 \cdot EI}}$ (2.19)
COEFICIENTE DE RIGIDEZ DE APOYO $k_{eq} \text{ (N/mm)}$	 <p>Reacción unidimensional</p>	$R(x) \text{ [KN]}$ $R(x) = p(x) \cdot d$	$k_{eq} = \sqrt[3]{\frac{K^4}{64 \cdot EI} \cdot d}$ (2.20)



TEORIAS:

- Winckler.
- Schwedler.
- Zimmermann.

Para apoyo continuo sobre lecho elástico

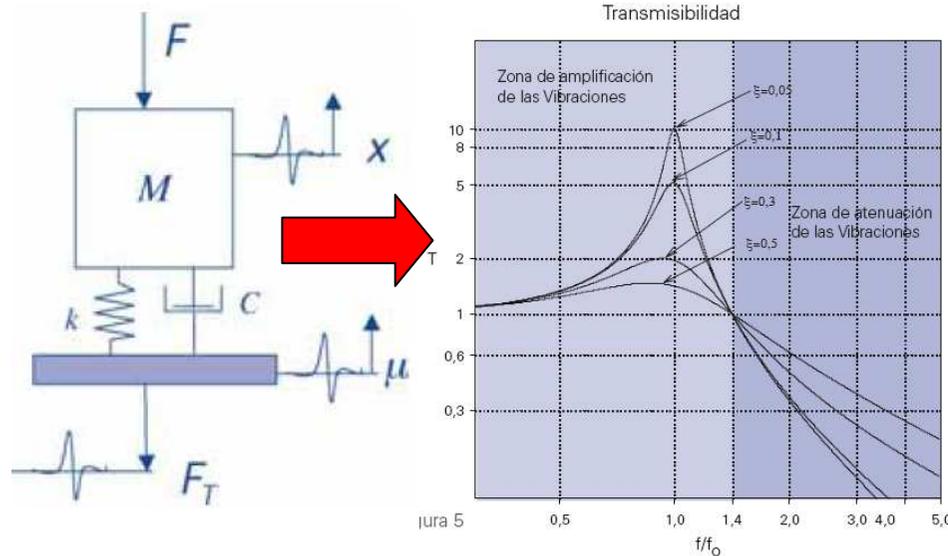
**Gráfico con las Deflexiones producidas por el paso del tranvía en la vía para el sistema MLG.**

# **ENSAYOS DE ATENUACION DE VIBRACIONES**

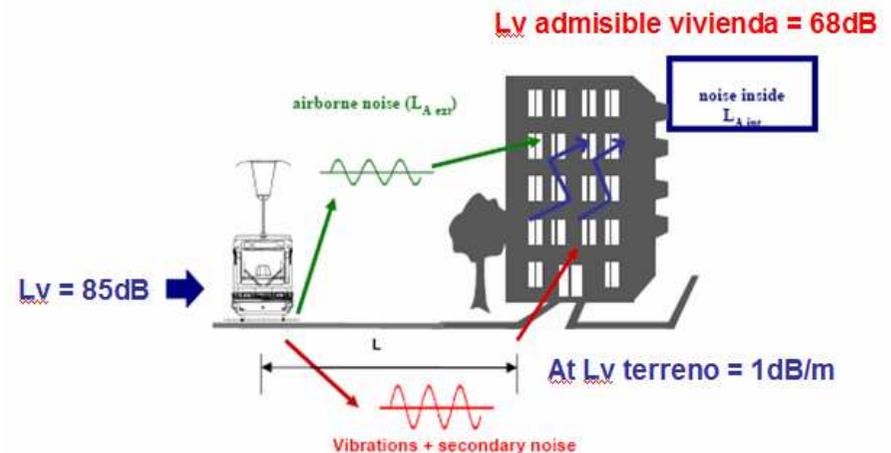
## PROPIEDADES DE ATENUACIÓN DE VIBRACIONES DEL SISTEMA ACCIONA MR

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA. Determinación del tipo de ensayo a realizar.

### 1 Sistema 1 GDL.



### 2 Sistema vía de propagación de la vibración.



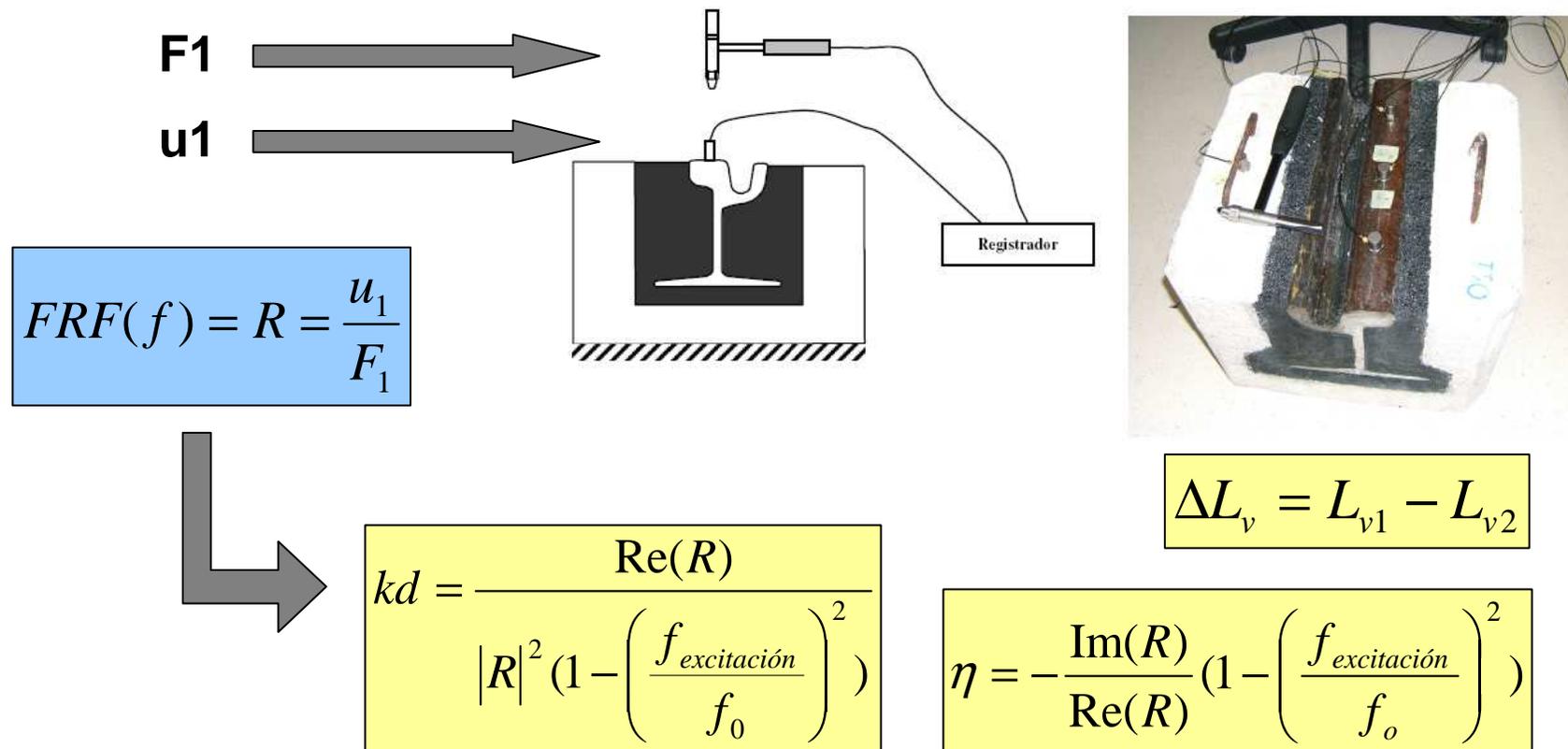
$$\Delta L_v = -20 \log \left( \frac{F_T}{F} \right)$$

$$\Delta L_v = L_{v1} - L_{v2}$$

Sistema Masa – Resorte – Amortiguador.

## PROPIEDADES DE ATENUACIÓN DE VIBRACIONES DEL SISTEMA ACCIONA MR DESARROLLO EXPERIMENTAL.

Norma UNE EN ISO 10846.



**TRANSMISIBILIDAD condiciones de carga reales.**

# PROCEDIMIENTO DE PUESTA EN OBRA

• **PROCEDIMIENTO DE PUESTA EN OBRA DE VIA ENCAMISADA.**

1. Hormigonado de limpieza previo de la solera.
2. Limpieza de la solera.
3. Descarga de carriles encamisados.
4. Replanteo del eje de vía.
5. Soldaduras aluminotérmicas.
6. Encamisado de vía en la zona de vía soldada.
7. Colocación de armadura inferior de losa.
8. Posicionamiento de vía.
  - Colocación de carriles sobre armadura
  - Cuelgue del carril bajo pórticos
  - Colocación de cercos y resto de armaduras
  - Colocación de encofrados
  - Alineación y nivelación de vía
9. Comprobaciones previas al hormigonado.
10. Riego de solera.
11. Hormigonado de losa de vía. 1ª Fase
12. Hormigonado de muretes interiores. 2ª Fase
13. Recuperación de dispositivos de vía.



Detalle de posicionamiento de pórticos para vía

## FASES DE MONTAJE (I)



Mallazo sobre hormigón de limpieza



Colocación de carriles sobre el mallazo



Carriles suspendidos con los pórticos



Colocación de cercos y resto de armadura

## FASES DE MONTAJE (II)



**Encofrado lateral**



**Hormigonado  
1ª Fase**



**Hormigonado  
2ª Fase**



**Vía  
hormigonada**

# **PRESENTACION OFICIAL SISTEMA MLG**



## Aguilar asiste al montaje de las vías del metro en el PTS



**EFE** La Consejera de Obras Públicas y Transportes de la Junta de Andalucía, Rosa Aguilar, visitó el tramo 'Parque Tecnológico-Armilla' del metro para asistir al montaje de vías en la zona, donde se está empleando un sistema de vía pionero en Andalucía basado en la reutilización de neumáticos en desuso para la ejecución y amortiguación de las vibraciones de los carriles.

Conocido como Sistema MLG, su diseño se ha desarrollado en el centro tecnológico de I+D+i de Acciona Infraestructuras, empresa adjudicataria de este tramo junto a Hormacesa. Su uso ha supuesto la reutilización de un total de 5.211 neumáticos en un tramo de prueba de 800 metros de longitud.

Este material de reciclaje se adhiere al carril de la vía y sustituye al material sintético tradicionalmente empleado para amortiguar posibles vibraciones generadas por el tráfico ferroviario.

Se trata en general de un sistema novedoso y sostenible que garantiza la adherencia a los carriles, a lo que se suma su bajo coste de mantenimiento, ya que se consigue una mayor durabilidad del carril y no es necesario realizar las realineaciones posteriores a la ejecución de la plataforma tranviaria.

Por otra parte, este procedimiento garantiza la total geometría de la vía con una nivelación y alineación óptimas, lo que se traducirá en la posibilidad de que los vehículos no ferroviarios puedan circular, en caso de emergencia, por las vías del metro.

Este sistema también ha permitido la agilización de los trabajos de ejecución de la plataforma del metro ligero en la zona del Parque Tecnológico de Ciencias de la Salud, ya que ha permitido que los carriles se coloquen como un único bloque, sin necesidad de ejecutar posteriormente las capas de amortiguación pertinentes.



# CONCLUSIONES

## CONCLUSIONES

- **COMPARATIVA ENTRE LA SOLUCION PROYECTO Y ACCIONA MR. TRANVIA GRANADA. CAMPUS DE LA SALUD – ARMILLA.**

	<b>Proyecto</b>	<b>Sistema MLG</b>
<b>Protege el Medioambiente</b>	<b>NO</b>	<b>SI</b> Se reutiliza un residuo, el NFU
<b>Atenuación de vibraciones</b>	<b>~12 dB</b>	<b>30 dB</b>
<b>Procedencia de Tecnología</b>	<b>Holanda</b>	Sistema nacional. <b>Andalucía</b>
<b>Calidad de Vía. Comfort</b>	<b>Complicado.</b> Ajuste de vía tras hormigonado.	<b>Sencillo.</b> Ajuste de vía previo al hormigonado

# Muchas gracias por su atención

**Ponente:** José Daniel García Espinel

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Director de Departamento de Implantación e Innovación.

Dirección de Investigación, Desarrollo e Innovación\_\_I+D+I.

Centro Tecnológico de I+D+i de Acciona. Madrid.

Acciona Infraestructuras

Tf: 91.791.20.20

Email: [jgarcia4@acciona.es](mailto:jgarcia4@acciona.es)