

## Ensayos a escala real

### Highlights

- El marco de ensayos desarrollado por el grupo LabIC.UGR permite el estudio del comportamiento mecánico a escala real de materiales y secciones estructurales para construcciones civiles.
- El equipo consiste en un pórtico de carga capaz de reproducir las condiciones de servicio y esfuerzos a los que están sometidos los materiales dentro del conjunto de la sección estructural, reproduciendo la interacción entre los distintos componentes de la infraestructura.
- Este equipo permite incorporar diferentes dispositivos de ensayo para evaluar la respuesta mecánica de cada componente de forma aislada, así como la instalación de cajones de ensayo específicamente diseñados para reproducir diferentes configuraciones de las secciones estructurales.
- Los ensayos se realizan mediante una completa monitorización e instrumentación de cada componente de la infraestructura, así como registrando la respuesta estructural del conjunto. A partir de estas medidas es posible controlar y analizar diversos parámetros que caracterizan el comportamiento mecánico de cada material, así como de la sección en su conjunto.

### Descripción del equipo



Dentro del equipamiento LabIC.UGR para la realización de ensayos a escala real, cabe destacar un marco de ensayos dinámico que permite reproducir las condiciones reales de carga (intensidad, amplitud, dirección de la carga, etc.) para cada elemento, dependiendo del diseño de la infraestructura donde vayan a ser aplicados. Asimismo, este marco de ensayos permite incorporar distintos cajones de ensayos específicamente diseñados para este fin, contando con diversos tamaños y configuraciones para el fondo y laterales del cajón, lo que permite reproducir múltiples condiciones y estados de la sección estructural.

El marco de ensayos está compuesto por una base (a), en la que se pueden fijar diferentes dispositivos para reproducir las condiciones de servicio para cada componente; un marco (b), regulable en altura y dirección (permite su inclinación para reproducir diversos ángulos de la dirección de carga), lo suficientemente rígido para evitar deformaciones; y un actuador (c) dinámico servo-hidráulico de alta capacidad de carga.

La **base** consiste en una plataforma metálica con dos raíles que permiten la instalación de diferentes dispositivos de ensayo para el estudio de diversos elementos para las infraestructuras del transporte, simulando su interacción con el resto de materiales del conjunto de la sección.

Entre los distintos dispositivos de ensayo, cabe destacar el uso de diferentes cajones de ensayo para acondicionar la sección completa de la infraestructura, pudiendo emplear cajones con dimensiones que van desde los 40 cm x 70 cm de dimensión horizontal hasta los 100 cm x 200 cm, con alturas de sección comprendidas entre 300 cm y 1.500 cm. De este modo, es posible reproducir secciones completas de la infraestructura ferroviaria, firmes de carreteras, plataformas portuarias, y pistas de aeroportos, entre otras secciones estructurales.

Asimismo, la instalación de los diferentes cajones de ensayo permite reproducir las secciones estructurales desde las capas base hasta los elementos superficiales. La rigidez de la base del marco puede ser modificada (introduciendo un sistema de muelles, tiras de relleno, mantas elastoméricas, etc.) para ser adaptada en función de las necesidades y del diseño de la infraestructura a estudiar.

Además, el uso de distintos materiales para las paredes de los cajones de ensayos permite aplicar diversas condiciones de confinamiento para los elementos de la sección estructural, pudiendo asimismo emplear paneles de vidrio para visualizar el estado de los materiales durante los ensayos.

El **marco** para ensayos a escala real dispone de un pórtico metálico, con un diseño y rigidez apropiada para la aplicación de cargas que simulan las condiciones de servicio esperadas en las infraestructuras del transporte. Este pórtico es reclinable, lo que permite la aplicación de cargas inclinadas sobre la estructura (con un ángulo de cortejo entre 0° y 35°), simulando así diversas condiciones como pueden ser esfuerzos en curvas, movimientos laterales, acción del viento, etc.

Respecto al **actuador**, éste dispone de diversos útiles de ensayo que permite reproducir múltiples condiciones de ensayo, como por ejemplo diferentes contactos vánculos infraestructura. Este actuador hidráulico reproduce cargas que simulan los esfuerzos típicos que soportan distintos componentes de la sección estructural.

Además, permite reproducir diversas tecnologías para la construcción y mantenimiento de la infraestructura, como puede ser el levantamiento de vía ferroviaria durante el batido del balasto.

En cuanto a la **instrumentación** empleada para monitorizar el comportamiento de los elementos de la infraestructura, así como la respuesta del conjunto, cabe destacar:

- LVDTs para medir desplazamientos y deformaciones.
- Galgas extensométricas para medir deformaciones.
- Células de carga para controlar tanto el esfuerzo aplicado a los materiales, como el transmitido por los mismos bajo la acción de las cargas.
- Células de presión para determinar la presión bajo distintos elementos estructurales.
- Termopares que miden la evolución de la temperatura.
- Bases climáticas para medir la temperatura y humedad de los materiales.
- Acelerómetros que controlan las vibraciones transmitidas a través de la infraestructura.

Con el objetivo de reproducir diferentes condiciones climáticas en la sección estructural durante los ensayos de laboratorio, el marco de ensayos cuenta con diferentes dispositivos que permiten controlar las condiciones de temperatura y humedad tanto de forma individual en los componentes de la sección como en el conjunto de la misma. Para ello se cuenta con distintas soluciones como son el uso de lámparas de infrarrojos, un sistema de control de humedad, o una cámara climática bajo el pórtico para acondicionar los distintos dispositivos y materiales de ensayo.

## Aplicaciones

Gracias a la versatilidad del marco de ensayos para reproducir diversas condiciones de carga, y la posibilidad de incorporar diferentes útiles de ensayos, son múltiples los procesos y metodologías de ensayo que se pueden realizar en este equipo para el estudio de los materiales y secciones estructurales de las infraestructuras del transporte. En este sentido, múltiples ensayos sujetos a normativa Nacional e Internacional pueden llevarse a cabo, así como protocolos innovadores desarrollados por el grupo LabIC.UGR para un estudio en detalle de la respuesta de los componentes y conjunto de la sección.

Entre los diversos ensayos que pueden realizarse, a continuación se citan algunos de los más empleados:

- Evaluación del comportamiento mecánico de la sección estructural de infraestructuras como ferrocarril, carreteras, puertos y aeropuertos.
- Determinación de la resistencia al deslizamiento en pavimentos superficiales.
- Resistencia a las roderas y a la fisuración en firmes estructurales para carreteras, puertos y aeropuertos, en secciones a escala completa.
- Resistencia a la fatiga por flexión dinámica en traviesas de ferrocarril (zona de asiento de carril, y centro), EN 13230-2
- Ensayo de flexión estática en traviesas de ferrocarril (flexión positiva y negativa), EN 13230-2
- Ensayo de resistencia lateral en vía, a escala real (simulación de distintas condiciones de tráfico y estado de la infraestructura)
- Resistencia longitudinal del sistema de sujeción, EN 13146-1
- Resistencia a la torsión del sistema de sujeción, EN 13146-2
- Determinación de la atenuación de impactos del conjunto sujeción-placa de asiento, EN 13146-3
- Efecto de las cargas repetidas en el conjunto de la sujeción, EN 13146-4
- Determinación de la resistencia eléctrica de la sujeción, EN 13146-5
- Efecto de las condiciones climáticas en el conjunto de la sujeción, EN 13146-6
- Determinación de la fuerza de apriete, EN 13146-7
- Efecto de las condiciones de servicio en el sistema de sujeción, EN 13146-8
- Determinación de la rigidez de placas de asiento, EN 13146-9
- Módulo estático y dinámico en suelas bajo traviesa, DIN 45673-6
- Resistencia a la fatiga de suelas bajo traviesa, DIN 45673
- Módulo estático y dinámico para mantas bajo balasto, DIN 45673-5
- Resistencia a la fatiga para mantas bajo balasto, DBS 918071-01
- Resistencia a los agentes climáticos de elementos elásticos
- Determinación de la tendencia al asiento de la capa de balasto, y su degradación bajo condiciones de servicio esperadas durante su vida de servicio.
- Simulación de técnicas de mantenimiento en vía.
- Resistencia al punzonamiento en capa de subbalasto.
- Resistencia a la fatiga de la capa de subbalasto bajo condiciones de cargas simuladas en laboratorio.
- Ensayos de tracción y compresión para diversos elementos de las infraestructuras del transporte, bajo condiciones de servicio simuladas en laboratorio.
- Resistencia al desgarro y al arranque (pull-off test).

El marco de ensayos a escala real ha sido empleado en numerosos estudios y proyectos de investigación con diferentes objetivos, tanto para componentes de alguna tipología de sección para infraestructura del transporte, como para el análisis de la respuesta del conjunto. Algunos ejemplos de estas aplicaciones pueden encontrarse en las siguientes referencias bibliográficas.

-

- Sol-Sánchez, M.; Moreno-Navarro, F.; Rubio-Gámez, M.C.; Manzo, N.; Fontseré, V. (2018) Full-scale study of Neoballast section for its application in railway tracks: optimization of track design. *Materials and structures*, pp. 43-51.
- D'Angelo, G.; Sol-Sánchez, M.; Moreno-Navarro, F.; Lo Presti, D.; Thom, N. (2018) Use of bitumen stabilized ballast for improving railway trackbed conventional maintenance. *Geotechnique*, 68-6, pp. 518-527
  - Sol-Sánchez, M.; Moreno-Navarro, F.; Pérez, R.; Rubio-Gámez, M.C. (2019) Defining the process of including sustainable rubber particles under sleepers to improve track behavior and performance. *Journal of cleaner production*, 227, pp. 178-188.
  - Sol-Sánchez, M.; Moreno-Navarro, F.; Saiz, L; Rubio-Gámez, M.C. (2020) Recycling waste rubber particles for the maintenance of different states of railway tracks through a two-step stoneblowing process. *Journal of Cleaner Production*, 244.
  - Sol-Sánchez, M.; Moreno-Navarro, F.; Hidalgo, M.E.; Pérez, V.; Rubio-Gámez, M.C. (2020) Laboratory study on asphalt mixtures for application in port pavements. *Construction and Building Materials*, 235.
  - Sol-Sánchez, M.; Moreno-Navarro, F.; Martínez-Montes, G.; Rubio-Gámez, M.C (2017) An alternative sustainable railway maintenance technique based on the use of rubber particles. *Journal of Cleaner Production*, 142, pp. 3850-3858.
  - Sol-Sánchez, M.; Ayar, P.; Moreno-Navarro, F.; Rubio-Gámez, M.C. (2017) Evaluating the mechanical performance of Very Thin Asphalt Overlay (VTAO) as a sustainable rehabilitation strategy in urban pavements. *Materiales de construcción*, 67.
  - Pirozzolo, L.; Sol-Sánchez, M.; Moreno-Navarro, F.; Martínez-Montes, G.; Rubio-Gámez, M.C. (2017) Evaluation of bituminous sub-ballast manufactured at low temperatures as an alternative for the construction of more sustainable railway structures. *Materiales de construcción*, 67.
  - Sol-Sánchez, M.; Pirozzolo, L.; Moreno-Navarro, F.; Rubio-Gámez, M.C. (2016) A study into the mechanical performance of different configurations for the railway track section: A laboratory approach. *Engineering structures*, 119, pp. 13-23.
  - Sol-Sánchez, M.; Moreno-Navarro, F.; Rubio-Gámez, M.C. (2016) An analysis of the performance of deconstructed tires for use as pads in railroad tracks. *Journal of Civil Engineering and Management*, 22 (6), pp. 739-746.
  - Sol-Sánchez, M.; Moreno-Navarro, F.; Rubio-Gámez, M.C. (2016) Analysis of ballast tamping and Stone-blowing processes on railway track behaviour: the influence of using USPs. *Geotechnique*, ISSN 0016-8505, DOI: 10.1680/jgeot.15.P.129
  - Sol-Sánchez, M., Pirozzolo, L., Moreno-Navarro, F., Rubio-Gámez, M.C. (2015). Advanced characterization of bituminous sub-ballast for its application in railway tracks: the influence of temperature. *Journal of Construction and Building Materials*, 101, pp. 338-346.
  - Sol-Sánchez, M., Moreno-Navarro, F., Rubio-Gámez, M. C. An Analysis of the Performance of Deconstructed Tires for Use as Pads in Railroad Tracks. *Journal of Civil Engineering and Management*. Accepted in-press.

- Sol-Sánchez, M., Moreno-Navarro, F., Rubio-Gámez, M. C. (2014). Viability of using end-of-life tire pads as under sleeper pads in railway. *Journal of Construction and Building Materials*, Vol. 64, pp. 150-156.
- Sol-Sánchez, M., Moreno-Navarro, F., Rubio-Gámez, M. C. (2014). Viability analysis of deconstructed tires as material for rail pads in high-speed railways. *Materials & Design*, Vol. 64, pp. 407-414.
- Sol-Sánchez, M., Moreno-Navarro, F., Rubio-Gámez, M.C. (2014). The use of deconstructed tire rail pads in railroad tracks, impact of pad thickness. *Materials and Design*, Vol. 58, pp. 198-203.
- Sol-Sánchez, M., Moreno-Navarro, F., Rubio-Gámez, M. C. (2014). The Use of Deconstructed Tires as Elastic Elements in Railway Tracks. *Materials*, Vol. 7, pp. 5903-5919.