



**POLITÉCNICA**



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID**  
**ESCUELA INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS**

Dpto Mecánica de Medios Continuos y  
Teoría de Estructuras

## **Memoria descriptiva del Laboratorio de Estructuras**

El Laboratorio de Estructuras de la Escuela de Ingenieros de Caminos es la infraestructura científico-técnica de la UPM que permite llevar a cabo proyectos de investigación de tipo experimental en el ámbito de las estructuras de ingeniería civil. El laboratorio está adscrito al Departamento de Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras, formado por dos grupos de investigación (Grupo de Ingeniería Estructural y Grupo de Mecánica Computacional), con un total de 40 profesores.

Sus instalaciones en la Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid, Campus Ciudad Universitaria, están activas desde la inauguración de la misma en 1969. Este se adscribió al Departamento de Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras en 1971, tras su constitución, poco después de la integración de la Escuela en la UPM. Desde entonces, el Laboratorio de Estructuras de la Escuela de Caminos ha prestado de forma continuada servicios en el ámbito de la ingeniería civil, llegando a ser una referencia en el ámbito de estructuras de ingeniería civil.

La singularidad del Laboratorio de Estructuras se debe a que dispone de equipamiento específico y personal cualificado para llevar a cabo ensayos de elementos estructurales de tamaño medio y grande (vigas, columnas, losas, etc). El equipamiento actual del Laboratorio de Estructuras permite llevar a cabo ensayos de rotura, de servicio, dinámicos o de fatiga, caracterizaciones modales en elementos estructurales de diferentes materiales. Además, su equipamiento permite realizar la auscultación y monitorización de estructuras. Su capacidad experimental ha contribuido a lo largo de su historia al desarrollo de infraestructuras seguras, resilientes, duraderas, competitivas y sostenibles. A continuación se describen las capacidades científico-técnicas del laboratorio.

### **Tipos de ensayos**

El laboratorio y el personal que forma parte de él cuentan con experiencia en los siguientes tipos de estudios experimentales que se realizan en el laboratorio:

- Comportamiento en rotura y en servicio de estructuras de hormigón, metálicas y de madera.
- Fatiga de elementos estructurales.
- Durabilidad.
- Comportamiento dinámico de estructuras.
- Comportamiento de estructuras sometidas a impacto.
- Vibraciones de estructuras.
- Monitorización de estructuras.

- Calibración de modelos estructurales.
- Estructuras activas y adaptativas.
- Análisis del uso de materiales de baja huella de carbono para su uso en la construcción de estructuras civiles.

Los elementos estructurales ensayados pueden ser de distintos materiales: hormigones convencionales o especiales (FRC, TRC, GRC, UHPFRC, etc), metales, materiales compuestos y madera, entre otros.

### **Técnicas experimentales**

Las técnicas experimentales que se emplean en el laboratorio pueden ser destructivas o no. Comúnmente estas implican la aplicación de algún tipo de carga (estática o dinámica) a la muestra ensayada, excepto en los ensayos de durabilidad. La medición de la respuesta del elemento ensayado a la carga aplicada completa el estudio.

Las cargas se pueden aplicar en laboratorio de forma controlada, mediante equipos de aplicación de carga (gatos o actuadores) o el uso de masas (fijas o móviles). En ensayos para la caracterización modal, auscultación y monitorización de estructuras se pueden emplear las sollicitaciones que actúan de forma natural sobre la estructura (sobrecargas de uso o acciones ambientales) para realizar los estudios.

La respuesta de la estructura a las acciones aplicadas se mide con sensores, que pueden ser transductores electrónicos/digitales o analógicos. Para el primer grupo de sensores, el laboratorio cuenta con sistemas de adquisición de datos versátiles y flexibles, con la capacidad de adaptarse a distintas configuraciones experimentales y para realizar mediciones de campo. Adicionalmente, el laboratorio cuenta con medios para realizar mediciones con la correlación digital de imágenes (DIC, por sus siglas en inglés). Esta técnica novedosa emplea sistemas fotográficos para realizar de mediciones de campo completo sin contacto con el elemento ensayado.

Por último, en los ensayos de durabilidad las técnicas experimentales empleadas suelen consistir en exponer los elementos ensayados a distintos ambientes corrosivos. Posteriormente, se realiza un estudio de las propiedades de la estructura mediante ensayos de carga (destructivos o no), modales o químicos.

El equipo de investigadores del laboratorio cuenta con experiencia en la definición de las técnicas experimentales. Estas se adaptan a las necesidades concretas de cada ensayo, definiendo la configuración de carga, la definición del sistema de medición y el post-procesado los resultados en función de los aspectos que se requiera analizar. El conjunto la técnica aplicada a cada caso se centra en la realización de ensayos que permitan alcanzar conclusiones de interés en el ámbito de las estructuras para obras civiles.

### **Muestras analizadas**

En el Laboratorio de Estructuras es habitual ensayar elementos estructurales lineales (vigas, tirantes, columnas). No obstante, se dispone de medios para la realización de estudios con otros tipos de muestras como losas, paneles, cajones y uniones, entre otros.

El laboratorio tiene capacidad para realizar ensayos en un amplio rango de escalas, desde componentes estructurales de pocos centímetros de tamaño hasta estructuras completas (edificios, puentes, etc.). Estos últimos ensayos requieren frecuentemente la realización de trabajos de campo, para la medición de estructuras in situ. Las muestras que se pueden analizar en las instalaciones del laboratorio pueden tener hasta 10 metros de longitud, 4 metros de altura y 4 toneladas de peso. No obstante, para casos concretos se han realizado estudios con muestras que han superado estas limitaciones, realizando el ensamblado y desmontaje de las mismas en el laboratorio, por personal propio o externo, en función de las necesidades de cada proyecto.

## Equipamiento disponible

El equipamiento del que dispone el Laboratorio para la realización de estudios experimentales son los descritos a continuación:

- Datos generales de las instalaciones:
  - Nave de ensayos de 15 x 23 m<sup>2</sup> en planta y altura de 7 m, con acceso exterior para camiones de 3.30 m de gálibo.
  - Losa rígida de hormigón de 1.00 m de canto, con un sistema de anclajes de 5 toneladas de capacidad cada uno, formando una malla en planta con separación de 1.65 m entre anclajes para adaptarse a diferentes configuraciones de ensayo.
  - Grúa puente de 5 toneladas.
  
- Equipos de carga:
  - Prensas:
    - Amsler con capacidad de carga hasta las 500 toneladas en compresión, con pórtico auxiliar para realizar ensayos de flexión con cargas de hasta 250 toneladas.
    - Clockhouse de 200 toneladas de capacidad para caracterización material de cementos (módulo de elasticidad, resistencia a tracción y compresión).
  - Gatos hidráulicos con central hidráulica asociada:
    - 4 gatos estáticos de 100 toneladas, de compresión y tracción, control de fuerza y capacidad de carga.
    - Gato estático de 575 toneladas, de compresión y tracción, control de fuerza y capacidad de carga.
    - 2 gatos dinámicos de 20 toneladas, de compresión y tracción, frecuencia de carga entre 0.1 y 100 Hz y control de fuerza y desplazamiento.
  - Gatos hidráulicos manuales con capacidad carga de 20 toneladas, 4 unidades.
  - Bastidor con para ensayos triaxiales con control de desplazamientos y capacidad de carga de 500 toneladas en el eje vertical y 200 toneladas en los ejes del plano horizontal.
  - Bastidor para ensayos de fluencia en probetas de hormigón.
  - Equipo de torre de caída para realizar ensayos de impacto de hasta 5 kJ de energía de impacto.
  - Pórticos simples adaptables con capacidad de carga de 600 kN, 2 unidades.
  - Pórtico compuesto adaptable con capacidad de carga de hasta 2000 kN.
  - Sistemas automáticos de control de ensayos, 2 unidades.
  
- Equipos para el control de estructuras en servicio:
  - Pasarela de fibra de vidrio para estudios dinámicos.
  - Actuador lineal eléctrico Festo para estructuras adaptativas con 100 mm de recorrido y capacidad carga de 12 kN.
  - Excitador electrodinámico APS400 para estructuras adaptativas con su amplificador de potencia.
  - Amortiguador de masas sintonizadas ajustable, de 50 a 100 kg.
  - Amortiguadores magnetoreológicos de 5V.
  
- Equipos de medida:
  - Cámara de vídeo de alta velocidad Photron FASTCAM NOVA S9 con una velocidad de grabación entre 9.000 y 900.000 fotogramas por segundo.
  - Cámara fotográfica Nikon de 12 MPx.
  - Sistemas de adquisición de datos:
    - MGCplus de HBM, 8 módulos de medida, 34 canales, velocidad máxima de muestreo 9,6 kHz.
    - Espresso DAQ de HBM, velocidad máxima de muestreo 40 kHz.
    - FieldLogger, velocidad máxima de muestreo 100 Hz.

- Sistemas de adquisición de datos portátiles:
    - NI-C-RIO 9066 de 8 módulos de medida, velocidad máxima de muestreo 52,6 kHz, 3 unidades.
    - NI-CDAQ de 8 módulos de medida, velocidad máxima de muestreo 52,6 kHz, 7 unidades.
  - Interrogador óptico BraggMETER Industrial FS22SI de HBM para mediciones con la técnica de redes de Bragg en fibra óptica.
  - Transductores analógicos y electrónicos/digitales para la medición de extensometría y desplazamientos.
  - Acelerómetros para el análisis de dinámica estructural de alta sensibilidad:
    - Piezoeléctricos sísmicos B12 y B31 de PCB.
    - Piezoeléctricos B50 de PCB.
    - Inalámbricos sísmicos triaxiales de Syscom-MR3000C, 4 unidades.
    - Cableado de acelerometría robusto para exteriores IEPE, hasta 200 m de longitud.
  - Martillo de impacto instrumentado de alta sensibilidad PBC.
  - Células de carga de 3 a 500 toneladas, 21 unidades.
  - Productos químicos para la medición de la carbonatación.
- Equipos auxiliares para la elaboración de muestras y probetas:
  - Hormigonera orbital de hasta 120 litros.
  - Máquina de corte para probetas de hormigón.
  - Máquina de corte para metal.
  - Mesa de corte de madera.
  - Equipo de soldadura.
  - Cimbra de 12 m de longitud y 1,30 m de altura.