

# **Implantación de una nueva metodología docente en el Laboratorio de Estructuras**

H. Cifuentes Bulté; F. Medina Encina

*Grupo de Estructuras – Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla*

## **RESUMEN (ABSTRACT)**

Las asignaturas de Estructuras de Edificios Aeroportuarios de 5º de Ingeniería Aeronáutica y de Estructuras de Hormigón Armado de 4º de Ingeniería Industrial impartidas por el Grupo de Estructuras de la ETS de Ingeniería de la Universidad de Sevilla tienen un carácter altamente tecnológico. La docencia en dichas asignaturas se ha estructurado de forma similar, con 6.75 créditos de teoría y 0.75 créditos de prácticas de laboratorio. Durante las clases teóricas se exponen los conceptos necesarios para el diseño y cálculo de estructuras de hormigón armado y metálicas frente a Estados Límite Últimos y de Servicio según la normativa vigente. Como apoyo a las clases teóricas se han diseñado unas prácticas de laboratorio (objeto del presente trabajo), consistentes en la comprobación de distintas tipologías estructurales frente a ELU de agotamiento estructural. Dichas prácticas llevan asociadas la carga hasta rotura mediante pórtico de carga y medida de los desplazamientos más importantes de la estructura. Con la ayuda de estas prácticas la docencia de la asignatura adquiere un elevado valor pedagógico, ya que se introduce un sistema innovador de monitorización de la estructura que permite al alumno disponer de los resultados experimentales con los que realizar las constataciones necesarias.

**Palabras clave:** Laboratorio de estructuras, metodología docente, ingeniería de estructuras, resultados experimentales.

## 1. INTRODUCCIÓN

Uno de los objetivos de la adaptación de la enseñanza superior universitaria al espacio de educación europeo es aumentar la colaboración y participación del alumnado en la metodología docente, mejorando así su proceso de aprendizaje. Para ello, una de las claves se encuentra en la motivación del alumno por parte del profesor de forma que aumente notablemente su participación.

Además, en determinadas titulaciones universitarias como la ingeniería industrial y la ingeniería aeronáutica la explicación práctica de ciertas teorías científico-técnicas se hace casi imprescindible. Así, en lo concerniente a la docencia del Grupo de Estructuras de la Escuela Técnica de Ingeniería de la Universidad de Sevilla, la realización de prácticas en el Laboratorio de Estructuras se ha convertido en una parte fundamental de la metodología docente de la asignatura. La explicación de los fenómenos físicos observados in-situ en laboratorio en función de los desarrollos teóricos previamente explicados en el aula presenta un elevado valor pedagógico de gran interés para los alumnos. Debe tenerse en cuenta además, que el comportamiento mecánico de un elemento estructural es difícilmente observable en otro lugar que no sea un laboratorio de ensayos donde se pueden llevar a rotura los elementos estructurales de una manera controlada. La bibliografía disponible actualmente respecto al ensayo de elementos estructurales no es muy abundante, y su consulta nunca podrá tener el mismo valor pedagógico que la explicación presencial en laboratorio. Por ello, uno de los objetivos de la nueva metodología en la creación de material didáctico de utilización por parte del alumno. Así, las prácticas son grabadas en video y fotografiadas, generando una gran cantidad de documentación para el alumno. Todo este material supone un enorme potencial para el estudio de este tipo de asignaturas (Bordogna, 1993), debiendo ser adecuado conjuntamente con una nueva metodología docente que aproveche este potencial y guíe al alumno entre tanta información disponible.

Actualmente, la Universidad de Sevilla tiene una plataforma de enseñanza virtual denominada WEBCT, donde el profesor puede (entre otras cosas) adjuntar videos explicativos de las prácticas realizadas. Así, el alumno puede visionar el ensayo estructural de los elementos considerados por el profesor a distancia y tantas veces como quiera. De esta forma, no solo se ajustarán temporalmente la realización de las prácticas de laboratorio con los desarrollos teóricos explicados en el aula, sino que también puede el alumno realizar el visionado de los videos tras el estudio de determinados temas necesarios para la comprensión de las prácticas.

En este trabajo se muestra detalladamente el proceso de implantación de una nueva metodología docente en el Laboratorio de Estructuras de la ETSI de Sevilla para las asignaturas de Estructuras de Hormigón Armado de 4º curso de Ingeniería Industrial y de Estructuras de Edificios Aeroportuarios de 5º curso de Ingeniería Aeronáutica. Además, se presentan las conclusiones recogidas por los autores (docentes en dichas asignaturas) sobre los resultados de estas prácticas docentes y su mejora en la docencia de dichas asignaturas.

Es el objetivo, por tanto, de este nuevo método la generación de recursos que fomente la participación del alumno en la docencia de la asignatura y mejore notablemente la comprensión de los conceptos teóricos. La metodología contempla las siguientes líneas de actuación:

- La incorporación de técnicas docentes innovadoras en las que se potencie el uso de los recursos técnicos y humanos de laboratorio en la metodología docente de la asignatura.
- La recopilación y puesta a punto de material audiovisual de las prácticas de laboratorio realizadas. La utilización docente de esta información, adaptado a la enseñanza de la asignatura, presenta un mayor valor pedagógico.

Así, se mejorará la calidad del material docente de la asignatura, haciéndolo más accesible y pedagógico al alumnado. Asimismo, se mejorará notablemente la implicación del alumno en el desarrollo de la asignatura. Esta metodología está siendo implantada en el curso actual 2010/11.

## **2. METODOLOGÍA**

A continuación se detalla la metodología empleada y la descripción de las distintas herramientas empleadas para su desarrollo e implantación:

### **2.1. Descripción del contexto y de los participantes**

A continuación se van a presentar las asignaturas que compartirán parte de la metodología docente aquí presentada. En estas asignaturas se dota a los alumnos de la capacidad y habilidades técnicas necesarias para el proyecto, diseño y cálculo de elementos estructuras de hormigón armado y de estructuras metálicas.

### 2.1.1. La asignatura de Estructuras de Hormigón Armado

La asignatura de Estructuras de Hormigón Armado (EHA) es una asignatura de segundo ciclo, que se imparte en el primer cuatrimestre de cuarto curso de la titulación de Ingeniería Industrial (Intensificación: Mecánica-Construcción) de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Universidad de Sevilla.

Esta asignatura es impartida por los profesores del Grupo de Estructuras autores del presente trabajo y que están adscritos al Departamento de Mecánica de los Medios Continuos, Teoría de Estructuras e Ingeniería del Terreno de la Universidad de Sevilla. La carga docente de la asignatura EHA es de 7,5 créditos, distribuidos en 6,75 créditos teóricos y 0,75 créditos de prácticas de laboratorio. Las asignaturas impartidas por los miembros del Grupo de Estructuras en la titulación de Ingeniería Industrial suponen una carga docente para cada alumno de 36 créditos, con un total de 7 asignaturas. En la Tabla 1 se muestran las asignaturas impartidas por el Grupo de Estructuras en la intensificación Mecánica-Construcción de la titulación de Ingeniería Industrial (ESI, 2010).

<i>Asignatura</i>	<i>Curso</i>	<i>Créditos</i>
Teoría de Estructuras	3º	4.5
Ampliación de Teoría de Estructuras	4º	6.0
Estructuras de Hormigón Armado	4º	7.5
Estructuras Metálicas	4º	4.5
Análisis Avanzado de Estructuras	5º	4.5
Análisis Experimental de Estructuras	5º	4.5
Tipología y Proyectos de Estructuras	5º	4.5

Tabla 1. Asignaturas impartidas por el Grupo de Estructuras en la titulación de Ingeniería Industrial (Intensificación Mecánica-Construcción)

La asignatura EHA tiene un carácter altamente tecnológico, sirviéndole de base otras asignaturas impartidas previamente, tanto por profesores de este departamento como asignaturas impartidas por profesores adscritos a departamentos distintos.

### 2.1.2. La asignatura de Estructuras de Edificios Aeroportuarios

La asignatura de Estructuras de Edificios Aeroportuarios (EEA) es una asignatura de segundo ciclo, que se imparte en el primer cuatrimestre de quinto curso de la titulación de Ingeniería Aeronáutica (Intensificación: Infraestructuras del Transporte Aéreo) de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Universidad de Sevilla.

Esta asignatura es impartida por los profesores del Grupo de Estructuras autores del presente trabajo y que están adscritos al Departamento de Mecánica de los Medios Continuos, Teoría de Estructuras e Ingeniería del Terreno de la Universidad de Sevilla. La carga docente de la asignatura EEA es de 7,5 créditos, distribuidos en 6,75 créditos teóricos y 0,75 créditos de prácticas de laboratorio. Las asignaturas impartidas por los miembros del Grupo de Estructuras en la titulación de Ingeniería Aeronáutica suponen una carga docente para cada alumno de 17,25 créditos, con un total de 3 asignaturas. En la Tabla 2 se muestran las asignaturas impartidas por el Grupo de Estructuras en la intensificación Infraestructura del Transporte Aéreo de la titulación de Ingeniería Aeronáutica (ESI, 2010).

<i>Asignatura</i>	<i>Curso</i>	<i>Créditos</i>
Estructuras Aeroespaciales	3º	5,25
Ampliación Aeronáuticas	4º	4,5
Estructuras de Edificios Aeroportuarios	5º	7,5

Tabla 2. Asignaturas impartidas por el Grupo de Estructuras en la titulación de Ingeniería Aeronáutica (Intensificación Infraestructura del Transporte Aéreo)

La asignatura EHA tiene un carácter altamente tecnológico, sirviéndole de base otras asignaturas impartidas previamente, tanto por profesores de este departamento como asignaturas impartidas por profesores adscritos a departamentos distintos.

## 2.2. Materiales

Se consideran como materiales empleados en la realización de la presente investigación los equipos, maquinaria y cualquier elemento auxiliar utilizado. Así, se pueden distinguir los materiales siguientes:

- Laboratorio de Estructuras de la ETS de Ingenieros de la Universidad de Sevilla: El Laboratorio de Estructuras es una infraestructura de la Universidad de Sevilla donde se pueden realizar ensayos estructurales de elementos distinta naturaleza (Figura 1). Así, los materiales siguientes serán equipos y demás materiales auxiliares disponibles en el Laboratorio de Estructuras. El Laboratorio dispone de una losa de carga que permite el anclaje simultaneo de diversos equipos de ensayo.



Figura 1. Vista del interior del Laboratorio de Estructuras de la ETS de Ingeniería de la Universidad de Sevilla

- Pórtico de ensayos: Se dispone de un pórtico de ensayos de 300 kN de capacidad de carga estática (Figura 2). El pórtico de ensayos tiene una célula de carga que permite la medida directa de la carga aplicada.



Figura 2. Pórtico de carga de 300 kN de capacidad

- Transductores de desplazamiento: Mediante los transductores LVDT disponibles en el Laboratorio de Estructuras (Figura 3) se realizan las medidas de los desplazamientos en puntos importantes de la estructura. Mediante la célula de carga y los transductores de desplazamiento se recogen las curvas de comportamiento completas de los elementos estructurales objeto de ensayo.



Figura 3. Transductor de desplazamiento tipo LVDT

- Sistema de adquisición de datos: Se dispone de un sistema de adquisición de datos de National Instruments con capacidad de medida de 32 canales simultáneos. Acondiciona las señales de los distintos elementos de medida para su lectura en un equipo informático.
- Software de control y tratamiento de datos: El software de control integra la medida de la célula de carga, los transductores y cualquier otro elemento extensométrico empleado para la medida de deformaciones. Permite el control del ensayo a través de cualquiera de las medidas efectuadas.
- Cámara de video y de fotografía: Con este material se confeccionarán los recursos audiovisuales necesarios de la docencia realizada en el Laboratorio de Estructuras.

#### 2.4. Instrumentos

Como instrumentos de la investigación se consideran las distintas prácticas diseñadas para cada una de las asignaturas. Cada una de estas prácticas se realiza en el Laboratorio de Estructuras contando con los materiales descritos anteriormente. Dichas prácticas se coordinan con los desarrollos teóricos efectuados en el aula, empleándose como elemento de apoyo a la docencia. Así, se fomenta la participación del alumno en el estudio del comportamiento mecánico in-situ de los distintos elementos estructurales, que le han sido previamente explicados, mejorando notablemente el carácter pedagógico de la asignatura.

Las distintas prácticas son las siguientes:

- Estructuras de Hormigón Armado
  - o Práctica 1: Dosificación y fabricación de hormigones.
  - o Práctica 2: Ensayos de caracterización del hormigón (Figura 4).



Figura 4. Ensayo de compresión simple en una probeta cilíndrica de hormigón con medida del módulo de deformación elástico

- Práctica 3: Ensayo a flexión de un elemento de hormigón armado. Rotura por plastificación de la armadura longitudinal inferior (Figura 5).



Figura 5. Ensayo de una viga de hormigón armado con fallo por plastificación de la armadura longitudinal inferior

- Práctica 4: Ensayo a flexión de un elemento de hormigón armado. Rotura por aplastamiento de la cabeza de compresión del hormigón.
- Práctica 5: Ensayo a cortante de un elemento de hormigón armado. Rotura por plastificación de la armadura transversal.
- Práctica 6: Ensayo a pandeo de un elemento comprimido de hormigón armado.
- Práctica 7: Ensayo a flexión de una placa de hormigón armado. Rotura por flexión.
- Práctica 8: Ensayo a flexión de una placa de hormigón armado. Rotura por punzonamiento (Figura 6).





Figura 6. Ensayo de una placa de hormigón armado a punzonamiento (izq.) e instrumentación para la medida del desplazamiento vertical del punto central (dcha.)

- Estructuras de Edificios Aeroportuarios
  - Práctica 1: Dosificación y fabricación de hormigones.
  - Práctica 2: Ensayos de caracterización del hormigón.
  - Práctica 3: Ensayo a flexión de un elemento de hormigón armado. Rotura por plastificación de la armadura longitudinal inferior.
  - Práctica 4: Ensayo a flexión de un elemento de hormigón armado. Rotura por aplastamiento de la cabeza de compresión del hormigón.
  - Práctica 5: Ensayo a cortante de un elemento de hormigón armado. Rotura por plastificación de la armadura transversal.
  - Práctica 6: Ensayo de abolladura del alma de un perfil armado de acero estructural.
  - Práctica 7: Ensayo a flexión de un perfil de acero estructural. Pandeo lateral.
  - Práctica 8: Ensayo a compresión de un elemento comprimido de acero estructural. Fallo por pandeo por flexión.

Además, como instrumento innovador se contempla la utilización de la aplicación WEBCT de la Universidad de Sevilla, donde se adjuntarán los videos realizados de las prácticas realizadas.

## 2.5. Procedimientos

El procedimiento empleado consiste en la realización de los ensayos de los distintos elementos estructurales para grupos reducidos de alumnos. Así, los alumnos pueden observar in-situ la rotura de elementos estructurales. Se proporcionan como datos la geometría de los elementos ensayados, las propiedades de los materiales

(hormigón y acero estructural) y las curvas de comportamiento obtenidas durante los ensayos. Así, los alumnos podrán realizar los cálculos de agotamiento de los distintos elementos, según los conceptos teóricos desarrollados en el aula y validarlos experimentalmente. Este procedimiento tiene un valor didáctico elevado de gran importancia, ya que brinda a los alumnos la oportunidad de observar los distintos fenómenos físicos, como fisuración, inestabilidades (Argüelles 2005), etc., que suceden durante el ensayo y que sería de difícil observación con otros medios.

La elaboración del material audiovisual y su disponibilidad en la WEBCT de la Universidad de Sevilla permite a los alumnos el visionado completo, con posibilidad de repetición de los ensayos realizados.

Con este procedimiento de observación experimental se asimilan de una manera más directa conceptos asociados con el proyecto, diseño y cálculo de estructuras. Así, los alumnos pueden observar el comportamiento dúctil (Arroyo 2010) de un elemento flectado de hormigón armado cuyo fallo se produce por la plastificación del acero de armado, o el comportamiento frágil cuando el fallo se produce por el hormigón de la cabeza de compresión.

### **3. RESULTADOS Y CONCLUSIONES**

Se ha presentado una metodología docente implantada en el Laboratorio de Estructuras de la ETS de Ingeniería de la Universidad de Sevilla. La metodología contempla la realización de ensayos de comportamiento de distintos de elementos estructurales. Las mejoras en la docencia que esta nueva metodología implica conlleva a un aumento de la participación de los alumnos en la asignatura, así como una mejor comprensión de los desarrollos teóricos efectuados en el aula. Las prácticas expuestas se desarrollan según la metodología explicada, aumentando de forma notable el carácter pedagógico de la enseñanza.

La utilización del Laboratorio de Estructuras para unas asignaturas como las que aquí se tratan es de suma importancia, ya que complementan enormemente los desarrollos teóricos. El carácter de las asignaturas y los elementos estructurales que en ellas se estudian convierte el análisis de su comportamiento en un fenómeno únicamente observable en un laboratorio, con control de su ensayo hasta rotura.

La aplicación de una herramienta de docencia virtual como la WEBCT de la Universidad de Sevilla acerca, aún más, el trabajo desarrollado, permitiendo a los alumnos disponer del adecuado material audiovisual para la visualización de los

ensayos. Así, se desarrolla una metodología docente en el Laboratorio de Estructuras con la aplicación de herramientas de carácter innovador, que resultan adecuadas para la implantación dentro del Espacio de Educación Superior Europeo.

Tras varios años implantando esta metodología docente se puede decir que los resultados son excelentes, mejorando la participación del alumno en la asignatura y consiguiendo un elevado grado de satisfacción. Durante el curso académico se realizan unas encuestas para la evaluación de la calidad de la enseñanza en las asignaturas objeto de estudio, evaluando muy positivamente en especial las prácticas de laboratorio.

## **5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Bordogna, J., Fromm, E. and Ernst, E.W. (1993). *Engineering education: Innovation through integration*. Journal of Engineering Education, January 1993, 3-8.

ESI (2010). *Guía del Estudiante 2010/11*. Sevilla, ETS Ingenieros.

Arroyo Portero J.C., Morán Cabré F. y García Messeguer A. *Jimenez Montoya. Hormigón Armado*. Editorial Gustavo Gili, 2010.

Argüelles R. y otros. *Estructuras de acero I: Cálculo, norma básica y eurocódigo*. Librería Técnica Bellisco, 2005.