






## Aplicación del Aprendizaje Basado en Proyectos en la elaboración de un Trabajo Final de Grado en el Grado en Ingeniería Civil

### *Application of Project-Based Learning in the development of a Bachelor's Thesis in the Bachelor's Degree in Civil Engineering*

Lisbel Rueda-García<sup>a</sup>, José Luis Bonet Senach<sup>b</sup> y Javier Pereiro-Barceló<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Instituto Universitario de Ciencia y Tecnología del Hormigón (ICITECH), Universitat Politècnica de València, [lisruega@cam.upv.es](mailto:lisruega@cam.upv.es) , <sup>b</sup>Departamento de Ingeniería de la Construcción y de Proyectos de Ingeniería Civil (DICyPIC), Universitat Politècnica de València, [jlbonet@cst.upv.es](mailto:jlbonet@cst.upv.es)  y <sup>c</sup>Departamento de Ingeniería Civil (DIC), Universidad de Alicante, [javier.pereiro@ua.es](mailto:javier.pereiro@ua.es) .

**How to cite:** Lisbel Rueda-García, José L. Bonet y Javier Pereiro-Barceló. 2022. Aplicación del Aprendizaje Basado en Proyectos en la elaboración de un Trabajo Final de Grado en el Grado en Ingeniería Civil. En libro de actas: *VIII Congreso de Innovación Educativa y Docencia en Red*. Valencia, 6 - 8 de julio de 2022. <https://doi.org/10.4995/INRED2022.2022.15891>

---

#### **Abstract**

*Project-Based Learning (PBL) is an educational approach that motivates students through their active involvement in the development of a highly practical assignment. As a result, a deep learning process is generated. In order to achieve these goals, PBL was applied to the Bachelor's Thesis (BT) of four students of the Degree in Civil Engineering of the Universitat Politècnica de València. The work consisted of the design, construction, testing and analysis of a scaled-down model of a reinforced concrete structure. The methodology used consisted of defining the practical and theoretical activities necessary to develop the project on the structural element and the establishment of a monitoring system by the tutor. The results obtained demonstrate the good performance of the innovation, which motivated the students, enhanced their learning and facilitated the achievement of the competences established in the BT and others specific to the degree, as well as awakened the students' interest in the calculation of concrete structures.*

**Keywords:** *Project-Based Learning, Bachelor's Thesis, Civil Engineering, active work, motivation, deep learning, scaled-down model, reinforced concrete.*

---

#### **Resumen**

*El Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) es un enfoque educativo que consigue motivar al alumnado a través de su implicación activa en el desarrollo de un trabajo que tiene un alto componente práctico. En consecuencia, se genera un aprendizaje profundo de los temas tratados. Con la finalidad de alcanzar estas metas, se aplicó el ABP al Trabajo Final de Grado (TFG) de cuatro alumnos del Grado en Ingeniería Civil de la Universitat Politècnica de València. El trabajo realizado consistió en el diseño, construcción, ensayo y análisis de un modelo reducido de una estructura de hormigón armado. La metodología empleada*

*consistió en la definición de las actividades prácticas y teóricas necesarias para desarrollar el proyecto sobre el elemento estructural y el establecimiento de un sistema de seguimiento por parte del tutor. Los resultados obtenidos demuestran el buen funcionamiento de la innovación, que consiguió motivar a los alumnos, potenciar su aprendizaje y facilitar el alcance de las competencias establecidas en el TFG y otras propias de la titulación, así como despertar el interés de los alumnos por el cálculo de estructuras de hormigón.*

**Palabras clave:** *Aprendizaje Basado en Proyectos, Trabajo Final de Grado, Ingeniería Civil, trabajo activo, motivación, aprendizaje profundo, modelo reducido, hormigón armado.*

## **1. Introducción**

### **1.1. Contexto**

En la Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universitat Politècnica de València, el Grado en Ingeniería Civil culmina con la elaboración en el cuarto curso de un Trabajo Final de Grado (TFG) de 12 ECTS, equivalentes a una dedicación total por parte del alumno de entre 300 y 360 horas.

El TFG consiste en la realización de un trabajo o proyecto original en el que queden de manifiesto los conocimientos, habilidades y las competencias adquiridas por el alumno durante sus estudios de Grado. Además, el TFG cuenta con una lista de competencias propias que deben alcanzarse con su realización. Estas competencias (UPV, 2022) se centran, principalmente, en la familiarización del estudiante con la redacción de proyectos constructivos: procedimientos técnicos y administrativos habituales en la construcción de obras de ingeniería, técnicas constructivas, ética profesional y lenguaje habitual, entre otros.

Habitualmente, en los TFG los estudiantes llevan a cabo la redacción del proyecto constructivo de una obra de ingeniería. Dada la elevada carga de trabajo que conlleva la redacción de un proyecto de construcción completo de forma individual, la Escuela permite su elaboración en forma de talleres. En estos, los proyectos se dividen en partes comunes para todos los estudiantes y partes que realiza cada alumno del taller de forma individual.

En este contexto, se observaron algunos aspectos que pueden limitar la adquisición de las competencias establecidas para el TFG:

- Los errores en la redacción de los proyectos constructivos para el TFG no tienen consecuencias reales, ya que habitualmente no se construye lo proyectado. Esto puede limitar la implicación del alumno en la búsqueda del detalle y la perfección.
- En el caso de la elaboración del proyecto constructivo mediante talleres, el alumno se centra en su parte individual y pierde la visión global del proyecto completo.
- La redacción de algunas partes de un proyecto de construcción completo puede resultar tediosa en ocasiones. Esto no ayuda a despertar la motivación del alumno, quien acaba viendo el TFG como un mero trámite en lugar de una fuente de aprendizaje.

Con el objetivo de evitar la aparición de los problemas anteriores, se propuso como innovación la aplicación del Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) en la realización del TFG del Grado en Ingeniería Civil, teniendo como premisa el alcance de las competencias establecidas en el programa.

## 1.2. El Aprendizaje Basado en Proyectos

El Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) es una forma de enseñanza centrada en el alumno que se basa en tres principios constructivistas: (i) el aprendizaje es específico para un contexto dado, (ii) los alumnos participan activamente en el proceso de aprendizaje y (iii) los alumnos alcanzan sus objetivos mediante interacciones sociales y el intercambio de conocimientos y comprensión (Kokotsaki et al., 2016).

La primera introducción conocida del ABP en la educación superior data de 1969 y tuvo lugar en la Escuela de Medicina de la Universidad de McMaster, en Canadá (Servant-Miklos, 2019). Los profesores de dicha Escuela se mostraron descontentos con la limitada capacidad de los estudiantes para aplicar adecuadamente los conocimientos teóricos adquiridos cuando comenzaban la práctica clínica y se encontraban problemas complejos en pacientes reales. Esto derivó en una reestructuración de los contenidos de los cursos para favorecer el desarrollo de dichas habilidades (Barrows, 1996). Principalmente, se crearon grupos interdisciplinarios guiados por un tutor que habían de resolver casos de estudio basados en problemas reales mediante la investigación, el estudio individual y la discusión en equipo (Dolmans y Schmidt, 2010). Pronto, este enfoque didáctico se extendió a otras escuelas de medicina y, posteriormente, a otras áreas universitarias como derecho o económicas, así como a la ingeniería (Du et al., 2009).

La aplicación del ABP en la educación en ingenierías tiene el potencial de salvar la famosa brecha entre la teoría y la práctica (Hunt et al., 2010), a través de la puesta en práctica de los conocimientos adquiridos. Un número cada vez mayor de universidades tecnológicas de todo el mundo aplica el ABP en sus planes de estudios (Du et al., 2009). El ABP tiene la capacidad de motivar al estudiante, ya que éste trabaja de forma activa y colaborativa y puede tomar e implementar decisiones (Romero et al., 2021), lo cual le permite desarrollar un aprendizaje profundo, consistente en una retención a largo plazo de lo aprendido. El aprendizaje profundo se consigue cuando el sujeto es capaz de conectar la nueva información con la previa, busca nuevos patrones, comprueba y relaciona evidencias, y usa la memorización sólo cuando es necesario (Fasce, 2007; Romero et al., 2021).

Con todo ello, se implementó el enfoque didáctico del ABP en la realización del TFG del Grado en Ingeniería Civil con el fin de que los alumnos alcanzaran un aprendizaje profundo durante su desarrollo, basado en la creación propia y la experimentación (participación activa), en lugar de en el desarrollo teórico de un proyecto.

## 1.3. Descripción de la innovación

Para aplicar el ABP en la realización del TFG del Grado en Ingeniería Civil, se propuso un proyecto consistente en el diseño, construcción, ensayo y análisis de un modelo reducido de una estructura de hormigón armado. Mientras que en el ámbito de los estudios de ingeniería civil es habitual que los estudiantes elaboren maquetas de madera, papel u otros materiales ligeros, en alguna asignatura o competición, el empleo de hormigón armado en un modelo reducido es algo novedoso. Como se explicará más en detalle en el apartado 3, los alumnos debían proyectar una estructura de tamaño reducido que, posteriormente, sería fabricada por ellos mismos, ensayada en laboratorio y, finalmente, analizada para verificar su resistencia de cálculo y su comportamiento estructural.

Este proyecto se llevó a cabo en el curso 2013-2014 mediante la modalidad de taller por parte de cuatro alumnos que se agruparon en dos parejas. Los cuatro alumnos contaban con un perfil orientado al cálculo de estructuras, pues habían cursado durante el cuarto curso del Grado en Ingeniería Civil asignaturas optativas de dicha rama del conocimiento.

El taller tuvo como título “Diseño, Construcción, Ensayo y Análisis de Modelos Reducidos de Estructuras de Hormigón Armado”. Uno de los equipos optó por realizar un arco rígido triarticulado y el otro equipo

llevó a cabo un pórtico de un solo vano biarticulado. En cada pareja, un miembro realizó el análisis experimental, mientras que el otro se centró en la comprobación estructural mediante métodos de cálculo. Siguiendo esta división, cada alumno elaboró su propio TFG (Cabañero, 2014; Ciurana, 2014; Martínez, 2014; Rueda-García, 2014).

Para poder llevar a cabo este taller, los estudiantes necesitaron una formación previa en técnicas de construcción y ensayo en laboratorio que fueron obtenidas mediante su incorporación a un equipo humano experto en fabricación y análisis experimental de estructuras de hormigón.

En los próximos apartados se explican los objetivos que se buscaban con la realización de este proyecto, se explican los métodos de enseñanza-aprendizaje que fueron empleados y el sistema de seguimiento y evaluación establecido, y se muestran los resultados que se alcanzaron mediante el desarrollo de esta innovación.

## **2. Objetivos**

El ABP se aplicó en la realización de los TFG con el objetivo de que el alumnado alcanzara un aprendizaje profundo, mediante la motivación y la participación activa, de un mayor número de resultados de aprendizaje que en la realización de un TFG tradicional.

Los resultados de aprendizaje buscados mediante el proyecto que se propuso en este taller son los que se muestran a continuación. Durante su formulación, se buscó que los estudiantes adquirieran como mínimo las competencias asignadas al TFG por la Escuela (UPV, 2022), además de cubrir otras competencias de la titulación.

1. Diseñar un elemento estructural optimizado para reducir el coste económico y medioambiental de la probeta, así como el que tendría el elemento estructural a escala real. Además, el diseño deberá respetar la normativa vigente que le sea aplicable. El estudiante debe proponer una solución cuya fabricación sea viable, de reducido coste y que se pueda ejecutar en condiciones de seguridad.
2. Emplear software presentado durante el Grado o herramientas de gran importancia para la carrera profesional, como AUTOCAD, WOLFRAM MATHEMATICA o SAP2000, cuyo manejo puede haber sido reducido hasta entonces. El estudiante requerirá algunas de estas herramientas para el cálculo del elemento estructural y la representación de los planos del diseño.
3. Planificar todas las tareas necesarias de cualquier índole para llevar a cabo el proyecto, de forma que se puedan realizar en el tiempo asignado para la elaboración del TFG. Las tareas para realizar este proyecto guardan mucha similitud, aunque a pequeña escala, con las que se llevan a cabo en un proyecto constructivo real, por lo que el desempeño de estas tareas familiarizará al estudiante con los procesos propios del Sector de la Construcción.
4. Comparar cálculos teóricos aprendidos durante la titulación con resultados experimentales para analizar de forma crítica los procesos propios de la Ingeniería Civil. Esto se logra mediante el diseño por parte de los estudiantes del elemento estructural y la fabricación y ensayo en laboratorio de este elemento.
5. Elaborar una memoria que explique todo el trabajo realizado para presentarla a la Escuela como TFG. El alumno debe mostrar los planos y describir los cálculos, la ejecución y el análisis empleando terminología propia del área de conocimiento.

6. Elaborar una presentación oral sobre el trabajo realizado que sirva como defensa del TFG ante el tribunal nombrado por la Escuela. El estudiante ha de ser capaz de comunicar de forma efectiva los procedimientos y resultados de las tareas llevadas a cabo, propias de la Ingeniería Civil.

Con este proyecto también se buscó despertar o mantener el interés del estudiante por la rama de la Ingeniería Civil sobre el cálculo de estructuras de hormigón y su análisis.

### 3. Desarrollo de la innovación

Para que los alumnos desarrollaran el proyecto propuesto en el taller, se fijaron una serie de actividades de aprendizaje-enseñanza, así como un sistema de seguimiento y evaluación de dichas actividades.

#### 3.1. Métodos de enseñanza-aprendizaje

Las actividades que se les indicó a los estudiantes para la consecución de los resultados de aprendizaje del apartado 2 se dividen en cinco grupos (A, B, C, D y E), correspondientes a las cuatro partes del trabajo que el propio título del taller indica (“Diseño, Construcción, Ensayo y Análisis de Modelos Reducidos de Estructuras de Hormigón Armado”) y a la presentación de dicho trabajo para su calificación. En la Fig. 1 se muestra un esquema de la secuenciación de los contenidos, donde se indican las actividades diseñadas y los tiempos de dedicación previstos para cada una de ellas. A continuación, se explican las actividades correspondientes a cada grupo y se muestran, para facilitar su entendimiento, ejemplos de los trabajos que llevaron a cabo los estudiantes.

#### Grupo A. Diseño.

Este grupo de actividades fue mayormente de tipo no presencial y de carácter teórico-práctico.

**Actividad A.1.** Propuesta de una estructura de tipo aporticado o similar que pueda ser ensayada en laboratorio mediante la fabricación de un modelo reducido de la misma.

El tutor organizó una reunión con los cuatro alumnos del taller, donde se les indicó el tipo de estructura que se buscaba, que era una estructura tipo pórtico o similar a la que se le aplicaría una carga puntual vertical no centrada. Además, se acotaron las dimensiones de los elementos estructurales en base a los medios disponibles para su fabricación y ensayo (longitud entre apoyos de entre 1.5 y 2.5 m; altura de 0.7 a 0.8 m; ancho de 0.2 m). También se discutió durante esta reunión el método más adecuado para cargar y apoyar la estructura durante el ensayo, y se determinaron otros aspectos de carácter geométrico y de fabricación. Durante la reunión, los estudiantes propusieron soluciones a ciertos aspectos a considerar.

Tra la reunión, los alumnos, por parejas, fijaron el tipo de estructura que diseñarían en base a los datos de partida comentados. Una pareja optó por llevar a cabo un arco rígido triarticulado, mientras que el otro equipo optó por un pórtico de un solo vano biarticulado.

**Actividad A.2.** Diseño de la estructura propuesta mediante un cálculo estructural detallado para determinar el armado del elemento, buscando economizar el diseño.

*Aplicación del Aprendizaje Basado en Proyectos en la elaboración de un Trabajo Final de Grado en el Grado en Ingeniería Civil*

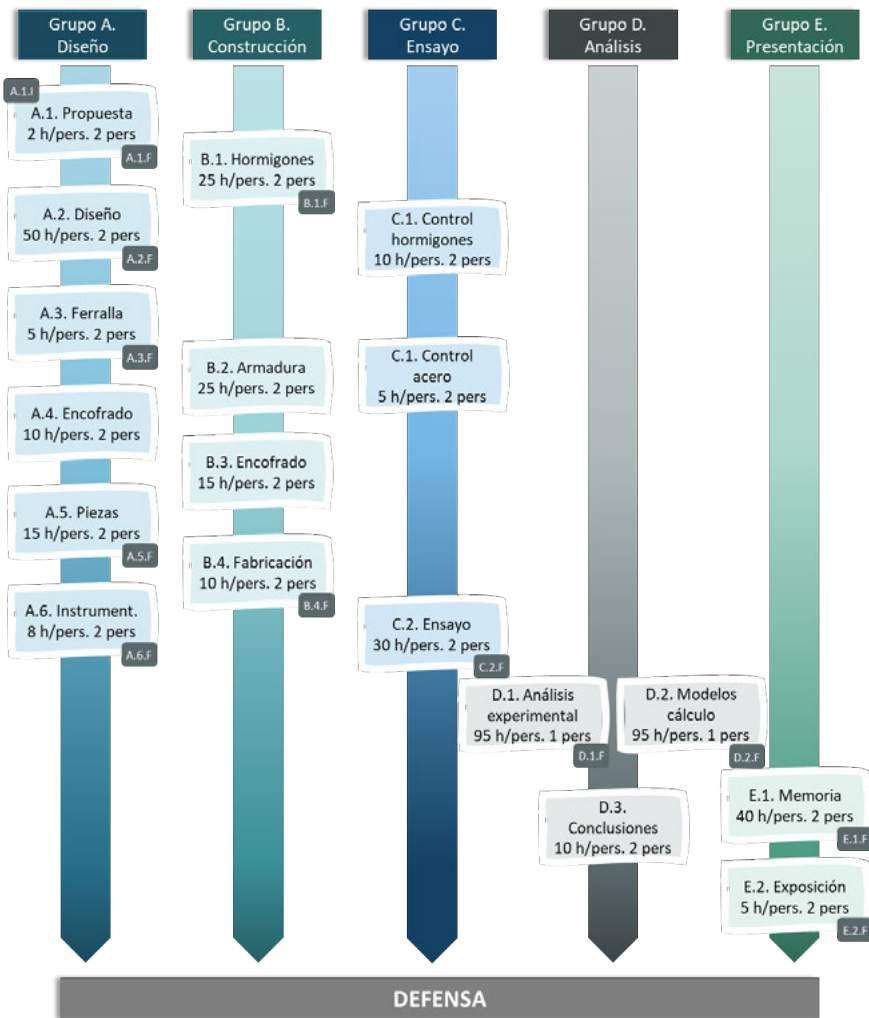


Fig. 1. Esquema de las actividades de aprendizaje-enseñanza, con los tiempos de dedicación previstos y los puntos de control programados.

Esta actividad, de tipo no presencial, la realizaron los alumnos por equipos y consistió en el estudio teórico y la puesta en práctica de los conocimientos adquiridos durante la titulación sobre el cálculo estructural de elementos de hormigón armado. Se les sugirió a los alumnos hacer uso, para el cálculo y el dibujo de planos, de software empleado durante el Grado o de gran importancia para la carrera profesional, como SAP2000, WOLFRAM MATHEMATICA o AUTOCAD. Como resultado de esta actividad, los alumnos llegaron a los dos diseños de armado que se muestran en la Fig. 2.

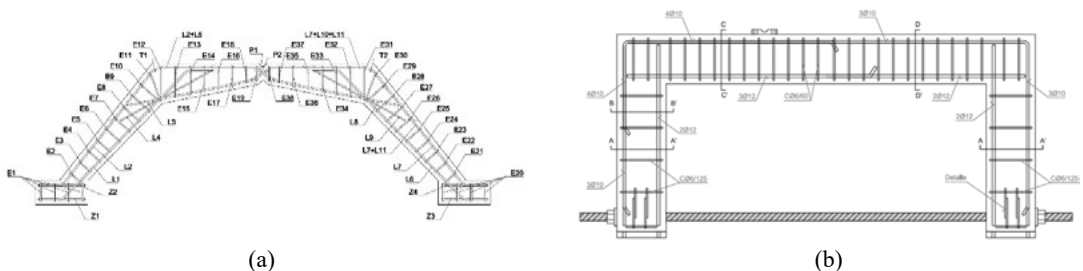


Fig. 2. Diseños de armadura propuestos por los estudiantes de ambos equipos: (a) Diseño 1 (Ciurana, 2014; Rueda-García, 2014); (b) Diseño 2 (Cabañero, 2014; Martínez, 2014).

**Actividad A.3.** Elaboración de los planos de despiece de las armaduras para realizar el pedido de las mismas al taller de ferralla.

A partir de los diseños de armado de la fase anterior, los alumnos elaboraron las planillas de despiece de armaduras que se debían enviar al taller de ferralla. Esta actividad requirió un buen nivel de detalle por parte de los alumnos, ya que el pedido que se realizara iba a ser fabricado y no admitía correcciones sin el correspondiente incremento de coste. Los equipos pidieron la armadura sin montar, para posteriormente realizar ellos el montaje.

**Actividad A.4.** Diseño del encofrado necesario para fabricar la pieza y adquisición del encofrado en tienda.

Para llevar a cabo esta actividad, los alumnos elaboraron en primer lugar los planos del encofrado diseñado. Posteriormente, acudieron a una tienda de venta y corte de tableros de melamina. En la Fig. 3 se muestra un boceto del diseño del encofrado realizado para uno de los elementos estructurales.

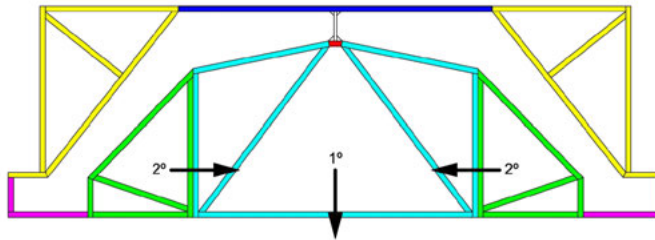


Fig. 3. Boceto del diseño del encofrado para la fabricación de un elemento estructural (Ciurana, 2014; Rueda-García, 2014).

**Actividad A.5.** Diseño de las piezas de apoyo y carga necesarias para ejecutar el ensayo en laboratorio.

Ambos equipos acordaron el tipo de piezas de apoyo y carga que emplearían en sus ensayos en una reunión con el tutor. Al tratarse de un elemento compartido, sólo uno de los equipos llevó a cabo esta actividad, consistente en realizar el diseño de dichas piezas y elaborar los planos necesarios para poder llevar a cabo su encargo a un taller de mecanizados. En la Fig. 4 se muestran algunos de estos aparatos de apoyo y carga ya fabricados.



Fig. 4. Aparatos de apoyo y carga (Ciurana, 2014; Rueda-García, 2014): (a) Acople en forma de rótula para el actuador hidráulico; (b) Apoyo deslizante.

**Actividad A.6.** Planeamiento de la instrumentación a disponer durante el ensayo para medir las variables deseadas.

Los estudiantes debieron planear, en base a los fenómenos que querían medir durante el ensayo, los elementos de instrumentación necesarios. Esta actividad se llevó a cabo mediante la elaboración de una

propuesta por parte de cada equipo previamente a la reunión en la que el tutor revisó el trabajo e introdujo modificaciones.

### **Grupo B. Construcción.**

Este grupo de actividades fue mayormente de tipo presencial y de carácter práctico, ya que se llevaron a cabo en el laboratorio.

**Actividad B.1.** Fabricación de hormigones para encontrar la dosificación que proporcione la resistencia deseada.

Los alumnos recibieron una dosificación de hormigón sancionada por la experiencia en trabajos desarrollados en proyectos de investigación del equipo. No obstante, dados los cambios en los materiales y otras variables, realizaron dos amasadas para precisar la dosificación definitiva. Esta actividad conllevó diversas tareas en laboratorio: pesaje de materiales, cálculo de humedad de la arena y la grava, amasado, hormigonado de probetas y ensayo de las probetas para determinar la resistencia del hormigón.

**Actividad B.2.** Montaje y preparación de la armadura.

Esta actividad consistió en el doblado de barras de armadura y montaje de las jaulas de armadura mediante el atado de barras (ver Fig. 5a). Además, se procedió al pegado de galgas extensiométricas en la superficie de algunas barras.



*Fig. 5. Fotografías del trabajo en laboratorio (Ciurana, 2014; Rueda-García, 2014): (a) Montaje y atado de la armadura; (b) Colocación de la ferralla en el encofrado.*

**Actividad B.3.** Montaje del encofrado y colocación de la ferralla en éste.

Los alumnos montaron las diferentes piezas del tablero adquirido en la actividad A.4 e introdujeron la ferralla armada en su interior, empleando separadores, líquido desencofrante y otros elementos. El montaje se muestra en la Fig. 5b.

**Actividad B.4.** Fabricación del elemento estructural.

En esta actividad, los cuatro estudiantes elaboraron el hormigón con la dosificación resultante de la actividad B.1 y lo vertieron en el encofrado con la ayuda de un técnico de laboratorio, tal y como se muestra en la Fig. 6a.

### **Grupo C. Ensayo.**

Este grupo de actividades fue de tipo presencial y de carácter práctico, realizadas en el laboratorio.





Fig. 6. Fotografías del trabajo en laboratorio (Ciurana, 2014; Rueda-García, 2014): (a) Hormigonado; (b) Ensayo.

#### **Actividad C.1.** Control de calidad de los materiales (hormigón y acero).

Se llevaron a cabo los ensayos de determinación de las propiedades mecánicas del hormigón y el acero para disponer de los resultados en el posterior análisis. Los alumnos recibieron explicaciones sobre el uso de las máquinas de ensayo y ayuda por parte de los técnicos de laboratorio.

#### **Actividad C.2.** Realización del ensayo del elemento estructural.

Para esta actividad, cada equipo contó con la disponibilidad del pórtico de ensayo durante aproximadamente una semana. Llevaron a cabo la colocación del elemento en la posición de ensayo, la disposición de los elementos de instrumentación y la configuración de cámaras (ver Fig. 6b). Se llevaron los dos elementos estructurales hasta la rotura.

#### **Grupo D. Análisis.**

Este grupo de actividades fue de tipo no presencial y de carácter teórico-práctico.

**Actividad D.1.** Análisis detallado de los resultados experimentales mediante el procesado de datos e imágenes y comparación de los resultados experimentales con los esperados durante la fase de diseño. Extracción de conclusiones.

Esta actividad fue llevada a cabo de forma individual por un miembro de cada equipo. Consistió en el análisis pormenorizado de los datos obtenidos del ensayo y fotografías, y la comparación con los resultados esperados mediante el cálculo estructural realizado en la fase de diseño. Se definió el modo de fallo del elemento y se extrajeron conclusiones de todo ello.

**Actividad D.2.** Planteamiento de modelos teóricos que permitan interpretar los resultados obtenidos en el ensayo. Extracción de conclusiones.

Esta actividad, realizada individualmente por el otro miembro de cada equipo, consistió en el empleo de métodos teóricos de cálculo estructural de diferente tipo y la comparación de sus resultados con los obtenidos experimentalmente mediante la instrumentación tradicional y la fotogrametría. A su vez los resultados experimentales se emplearon para mejorar los modelos planteados. También se extrajeron conclusiones de este análisis.

**Actividad D.3.** Extracción de conclusiones generales del trabajo.

Los dos miembros de cada equipo analizaron el trabajo al completo y extrajeron de forma conjunta una serie de conclusiones generales.

**Grupo E. Presentación del trabajo para su calificación.**

Este grupo de actividades fue de tipo no presencial y de carácter teórico-práctico.

**Actividad E.1.** Redacción de la memoria y elaboración de los planos.

Para presentar el TFG se requiere entregar una memoria que explique todo el trabajo realizado (concepción, diseño, cálculos, análisis...) y un conjunto de planos del proyecto constructivo. Los alumnos escribieron una memoria en la que incluyeron los siguientes capítulos o similares: Introducción, Estado del arte, Diseño del elemento, Caracterización de materiales, Construcción, Ensayo experimental, Análisis experimental, Comprobación estructural mediante métodos de cálculo, Conclusiones y Planos. Cada alumno de cada pareja presentó una memoria de su TFG que contenía todos los capítulos del trabajo, tanto los de autoría común (correspondientes a las actividades realizadas por las 2 personas) como los de autoría individual. La mayoría de los planos de los elementos estructurales se realizaron durante el desarrollo de las actividades del Grupo A. El resto de planos para terminar de definir el elemento se elaboraron en esta fase.

**Actividad E.2.** Elaboración de la presentación para la defensa del TFG ante el tribunal.

Cada equipo realizó una presentación de una duración máxima de 1 h, en la cual la presentación del trabajo conjunto durara como máximo 30 minutos y la presentación del trabajo individual alrededor de 15 minutos cada uno, de acuerdo con la normativa de la Escuela.

Según las indicaciones de la Escuela, en el TFG “deben distinguirse claramente las partes de elaboración conjunta de las de elaboración individual. Las partes individuales tienen un peso mayoritario en el trabajo” (UPV, 2022). Por ello, la división del TFG se llevó a cabo en las actividades D.1 y D.2, por ser dos actividades con una alta carga de trabajo y que encajaban dentro de un desarrollo individual. Actividades como el diseño, la construcción y el ensayo se llevaron a cabo conjuntamente al tratarse de un elemento estructural compartido por los dos miembros del equipo. Los alumnos también dividieron entre los dos miembros del equipo algunas de las tareas comunes como la redacción de los capítulos de la memoria o el dibujo de planos.

**3.2. Sistemas de seguimiento y de evaluación**

El sistema de seguimiento que se empleó mayormente para realizar un control del trabajo desarrollado fue la organización de reuniones entre el tutor y uno o ambos equipos del taller, al comienzo o final de una actividad, estableciendo fechas límite orientativas para la finalización de cada actividad. También se realizaron tareas de seguimiento consistentes en la supervisión del trabajo realizado en laboratorio por parte del tutor. En la Fig. 1 se muestran los puntos de control establecidos en este sistema de seguimiento. A continuación, se explica brevemente cada uno de ellos. La nomenclatura empleada  $x.a.z$  se refiere a la actividad a la que corresponde el punto de control ( $x.a$ ) y el momento en que se realiza el punto de control ( $z$ ):  $I$  si el punto de control se lleva a cabo al inicio de la actividad y  $F$  si se realiza al final de la actividad.

- A.1.I. Reunión de partida con los cuatro miembros del taller: explicación del problema y sus condicionantes.
- A.1.F. Presentación de propuestas: los cuatro alumnos presentaron sus diseños en una reunión y el tutor dio su visto bueno y/o sugirió las modificaciones pertinentes antes de que los alumnos procedieran a diseñar el elemento propuesto.

- A.2.F. Tras el diseño, el tutor sugirió a los alumnos realizar una revisión cruzada de los diseños realizados (los dos alumnos de un equipo revisaron los cálculos del otro equipo, y viceversa). También el tutor revisó los diseños.
- A.3.F. Entrega al tutor de los planos de despiece de las armaduras para realizar el pedido al taller de ferralla. Cada equipo presentó sus propios planos. Revisión de los planos por parte del tutor.
- A.5.F. Revisión de los planos de las piezas de apoyo y carga antes de enviarlos al taller de mecanizados.
- A.6.F. Revisión de la instrumentación en una reunión del tutor con cada pareja y sugerencia de cambios.
- B.1.F. Supervisión del tutor de los hormigones durante la fabricación en laboratorio. Visto bueno del tutor sobre la apariencia y consistencia de los hormigones.
- B.4.F. Supervisión de la fabricación de los elementos por parte del tutor en laboratorio durante el desarrollo del hormigonado.
- C.2.F. Supervisión por parte del tutor del ensayo de cada elemento estructural.
- D.1.F. y D.2.F. Revisión de los análisis realizados mediante una reunión breve con cada alumno.
- E.1.F. Corrección de la memoria y planos de cada TFG.
- E.2.F. Supervisión del ensayo de la presentación de cada pareja.

Algunas actividades de gran peso, como A.2, D.1 y D.2, requirieron además la realización de tutorías cuando los alumnos las solicitaron para resolver dudas y guiar el desarrollo de la actividad.

En cuanto al sistema de evaluación, consistió por completo en la calificación de 0 a 10 dada por el tribunal de TFG a la memoria presentada y la defensa del trabajo, tal y como lo establecía la Escuela.

## **4. Resultados**

Durante el curso en que se realizó esta innovación, la rama de optatividad de Estructuras Civiles del Grado en Ingeniería Civil contaba con 25 alumnos. La innovación explicada se aplicó a una muestra de 4 alumnos. Dados los recursos económicos necesarios para llevar a cabo un TFG de carácter experimental y el elevado trabajo que conllevan las tareas en un laboratorio experimental de estructuras, se considera una muestra adecuada de estudiantes para esta prueba piloto. No obstante, el reducido tamaño de la muestra no es adecuado para emplear herramientas estadísticas en el análisis de los resultados. Por ello, se han empleado indicadores cualitativos para analizar los resultados de esta iniciativa.

### **4.1. Evaluación de los resultados**

El principal indicador de la tasa de éxito fue la calificación que recibieron los cuatro alumnos por parte del tribunal de TFG, que fue de 10 con matrícula de honor. Además, en las presentaciones de los dos equipos, los dos tribunales alabaron la originalidad del taller y el extenso trabajo realizado.

El criterio que sigue el tribunal para evaluar el TFG consiste en verificar que el alumno ha adquirido las competencias asignadas al TFG de forma satisfactoria (se recomienda ver dichas competencias en (UPV, 2022); no se incluyen en el texto por limitaciones de espacio). En el apartado 2 de esta comunicación se muestran los resultados de aprendizaje formulados a partir de dichas competencias y de otras competencias de la titulación, y que se establecieron en el momento en que se solicitó la aprobación de este TFG a la Escuela. En la Tabla 1 se explica el grado de consecución de cada resultado de aprendizaje mostrado en el

apartado 2. El grado de consecución fue alto para todos los resultados de aprendizaje en vista de las calificaciones del tribunal y de la valoración de la calidad de los trabajos llevada a cabo por el propio tutor.

*Tabla 1. Explicación de la consecución de cada resultado de aprendizaje (R.A.) del apartado 2.*

<b>R.A.</b>	<b>Grado de consecución</b>
1	Alto. Los dos elementos estructurales que se diseñaron alcanzaron cargas de rotura similares a las estimadas durante la fase de diseño, lo cual es un indicador de que el diseño se había optimizado, reduciendo costes e impacto ambiental, respetando además la normativa vigente. Además, la fabricación y el ensayo de los elementos fue viable y se llevó a cabo de forma segura.
2	Alto. Los alumnos emplearon software habitual en la práctica profesional para el desarrollo de los diseños.
3	Alto. Los alumnos planificaron las tareas de manera adecuada. En consecuencia, ambos equipos entregaron sus TFG antes de la fecha límite marcada por la Escuela para poder realizar la matrícula del Máster Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos por la UPV (en junio de 2014).
4	Alto. Los alumnos pudieron realizar una comprobación de los cálculos teóricos aprendidos durante la titulación mediante la fabricación y ensayo del elemento estructural y la comparación de los resultados experimentales con los teóricos.
5	Excelente. La memoria redactada por los alumnos empleó el lenguaje adecuado, propio del área de conocimiento, y los planos definieron con precisión el elemento construido.
6	Excelente. En la defensa de los TFG, los alumnos explicaron con detalle, empleando la terminología apropiada, el trabajo realizado.

También se consiguió despertar o conservar el interés de los alumnos por esta área de la Ingeniería Civil, pues, a raíz de estos TFG, los cuatro alumnos cursaron asignaturas relacionadas durante el Máster y desarrollaron sus Trabajos Finales de Máster sobre estructuras de hormigón. Además, una alumna continuó con la carrera investigadora en esta área tras finalizar el Máster mediante la realización de una tesis doctoral.

#### **4.2. Opiniones de los alumnos y el tutor**

Los alumnos manifestaron al tutor su opinión acerca de la iniciativa una vez finalizado el proyecto en una reunión realiza por el tutor con cada pareja, de las cuales se extrajeron las siguientes ideas:

- Aspectos positivos:
  - Los 4 alumnos se mostraron satisfechos con la iniciativa. Destacaron que el proyecto les resultó muy entretenido y ameno en comparación con lo que habría supuesto desarrollar un proyecto constructivo de los habituales en los TFG, pese a que la dedicación horaria es elevada y se requiere un gran esfuerzo en laboratorio.
  - Indicaron que adquirieron muchos conocimientos propios de la obra y relevantes para la profesión que no se aprenden mediante la realización de un proyecto 100% teórico. Por ejemplo, las tolerancias habituales en obra, el trabajo y los plazos de ejecución que requiere cada tarea durante la fabricación (armado de la ferralla, puesta en obra del hormigón...) y los problemas que surgen durante la realización de esas tareas.
- Aspectos negativos:
  - La revision cruzada propuesta en la actividad de seguimiento A.2.F no salió bien porque el ritmo de trabajo de cada pareja era diferente, encontrándose una más adelantada que la otra.
- Formas de mejora en el futuro:
  - Propusieron no llevar a cabo tareas de revision cruzada como la A.2.F o fijar plazos para que las actividades se completen simultáneamente por todos los equipos y así poder realizar este tipo de revisiones.

Por otro lado, la opinión del tutor es la siguiente:

- Aspectos positivos:
  - La implicación y la proactividad de los alumnos a la hora de realizar el diseño del elemento estructural y de fabricarlo en laboratorio. Se percibe la motivación propiciada por la realización de actividades prácticas.
  - El buen resultado alcanzado por ambos equipos en la defensa.
- Aspectos negativos:
  - Requiere una dedicación elevada por parte del tutor a diferencia de un TFG realizado de forma tradicional. Aparte de las reuniones programadas y los puntos de revisión (ver Fig. 1), algunos alumnos solicitaron un gran número de tutorías para llevar a cabo el diseño y análisis del elemento estructural.
  - Se requieren unos recursos económicos y humanos para la ejecución de las tareas en laboratorio que la Universidad no tiene contemplados en la elaboración de los TFG.
- Formas de mejora en el futuro:
  - Destinación de una partida presupuestaria por parte de la Universidad a la realización de TFGs de carácter experimental para costear los recursos materiales y de personal necesarios.
  - Elaboración de este tipo de TFGs en forma de talleres tutelados por varios profesores para realizar un reparto de las tareas de seguimiento.
  - Aunque en este caso no fue necesario por la proactividad que mostraron los alumnos, en caso de aplicar esta innovación con alumnos de diferente perfil se podría llevar a cabo un seguimiento más exhaustivo mediante, por ejemplo, el establecimiento de fechas límite para la entrega de tareas parciales.

## **5. Conclusiones**

En la presente comunicación se ha descrito la forma en que se aplicó el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) a la realización de cuatro Trabajos Finales de Grado (TFG) del Grado en Ingeniería Civil, donde habitualmente los TFGs consisten en la redacción de un proyecto constructivo sin llevarlo a la práctica. Estos TFGs consistieron en el diseño, construcción, ensayo y análisis de un modelo reducido de una estructura de hormigón armado. Se han detallado los resultados de aprendizaje fijados, las actividades programadas, el sistema de seguimiento establecido y los resultados obtenidos. Mediante esta comunicación, los autores buscan dar a conocer los buenos resultados obtenidos en la aplicación del ABP en el desarrollo de un TFG para promover la realización en el futuro de más TFG de esta modalidad, en ésta y otras áreas de conocimiento. Las principales conclusiones que se extraen son:

- A partir de la experiencia realizada, se ha visto que la aplicación del ABP que implique llevar a la realidad lo proyectado permite salvar algunas limitaciones observadas en el desarrollo de los TFGs realizados de forma tradicional, como son: la falta de implicación del alumno y de cuidado por el detalle ya que los errores no tienen consecuencias reales, al no construirse lo proyectado; la pérdida de la visión global del proyecto cuando el TFG se realiza en forma de talleres mediante la redacción de un proyecto constructivo dividido en partes, y la falta de motivación por resultar tediosa la redacción de un proyecto constructivo estándar. Por ello, se propone como mejora de los TFGs habituales la inclusión de actividades de carácter experimental en los mismos.
- El ABP facilita el alcance de un elevado número de resultados de aprendizaje. Los resultados de aprendizaje establecidos en base a las competencias del TFG y a algunas propias de la titulación pueden ser alcanzados con éxito siguiendo esta metodología. Esto se vio reflejado en que los tribunales de TFG les otorgaron la máxima calificación a los cuatro alumnos.

- La fabricación de un elemento estructural real y su ensayo en laboratorio permite a los alumnos comparar los conocimientos teóricos con los resultados experimentales. Esto contribuye a superar la famosa brecha entre la teoría y la práctica en la educación en ingenierías (Hunt et al., 2010).
- El carácter práctico del TFG en el laboratorio de estructuras de hormigón consigue despertar el interés de los estudiantes por el cálculo de estructuras, ya que los cuatro alumnos realizaron sus Trabajos Finales de Máster en esta área y uno continuó posteriormente mediante el desarrollo de una tesis doctoral.
- Los estudiantes encuentran ameno y motivador el desarrollo del TFG con esta metodología. Esto es una prueba más de que el ABP tiene la capacidad de motivar al alumno, ya que éste trabaja de forma activa y colaborativa, tomando e implementando decisiones (Romero et al., 2021). Además, de acuerdo con la opinión expresada por los alumnos, el carácter práctico del TFG genera un aprendizaje profundo sobre muchos aspectos relacionados con el diseño y la construcción de un elemento estructural, lo cual es uno de los objetivos del ABP.
- Para el desarrollo de esta innovación se requieren unos recursos materiales y humanos que no se encuentran presupuestados por la Universidad. En consecuencia, pese al buen resultado obtenido mediante esta innovación, su aplicación se ha visto limitada a un número reducido de alumnos y no se ha vuelto a llevar a cabo desde que se realizó en esta ocasión. Pese al tiempo transcurrido desde su realización, los requerimientos del TFG no han sido modificados desde entonces, aparte de la inclusión de la evaluación de las competencias transversales, para lo que esta iniciativa tendría un impacto positivo, por lo que su aplicación en la actualidad es viable. Esta comunicación pretende incentivar la destinación de recursos económicos a la realización de TFGs experimentales y así promover la aplicación del ABP al desarrollo de los TFG.
- Una manera de mejorar esta iniciativa para facilitar su aplicación en un mayor número de TFGs con alumnos con diferentes niveles de proactividad sería fijando fechas límite para la entrega de tareas parciales.
- La dedicación por parte del tutor es mayor que la necesaria para tutelar un TFG de los habituales en el Grado en Ingeniería Civil. Por ello, se propone llevar a cabo estos talleres mediante la tutela por parte de más de un profesor para disminuir la elevada carga de trabajo que le supone al tutor y facilitar la supervisión de tareas.
- En la presente comunicación se ha propuesto una forma de aplicar el ABP a los TFGs de la rama de Estructuras Civiles, en concreto de Hormigón Estructural, del Grado en Ingeniería Civil. Con la financiación adecuada para costear los recursos materiales y humanos necesarios en los laboratorios experimentales, la iniciativa podría ser escalada a la realización de TFGs en otras áreas de conocimiento de ésta y otras titulaciones.
- Para llevar esta innovación a otras áreas de conocimiento se debe tener presente que la idea fundamental de la innovación, con la cual se persigue alcanzar un aprendizaje profundo, es llevar a la realidad los proyectos realizados por los alumnos mediante actividades que impliquen trabajos manuales (habituales en los laboratorios de investigación experimental del área en cuestión) y que estén en línea con el alcance de las competencias asignadas al TFG. No se trata de adentrarse en tareas de investigación, sino de verificación de los cálculos o diseños realizados. Se busca evitar que el alumno desarrolle su TFG por completo de forma teórica; es decir, bajo la creencia de que su diseño jamás va a ser construido o llevado a la práctica.

La metodología empleada en este trabajo (actividades y sistema de seguimiento) sirve de base para la aplicación de la innovación en otras áreas de conocimiento, ya que ha mostrado un resultado positivo. Se

deberían tener en cuenta las propuestas de mejora que se plantean en las conclusiones de este trabajo, como la fijación de fechas límite para entregas parciales y la tutorización por parte de más de un profesor.

## 6. Agradecimientos

Los autores quieren agradecer a la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos y al Departamento de Ingeniería de la Construcción y de Proyectos de Ingeniería Civil, ambos de la Universitat Politècnica de València, el apoyo ofrecido para la realización de estos TFG.

## 7. Referencias

- AutoCAD, Autodesk. (2022). San Rafael, California, EEUU.
- Barrows, H. S. (1996). Problem-based learning in medicine and beyond: A brief overview. *New directions for teaching and learning*, 1996(68), 3-12. <https://doi.org/10.1002/tl.37219966804>
- Cabañero Escudero, B. (2014, 25 junio). *Diseño, Construcción, Ensayo y Análisis de Modelos Reducidos de Estructuras de Hormigón Armado: Pórtico de Un Solo Vano Biarticulado. Comprobación Estructural Mediante Métodos de Cálculo* [Trabajo Final de Grado, Universitat Politècnica de València]. RiuNet. <http://hdl.handle.net/10251/38848>
- Ciurana Tatay, Á. (2014, 24 junio). *Diseño, Construcción, Ensayo y Análisis de Modelos Reducidos de Estructuras de Hormigón Armado: Arco Rígido Triarticulado. Comprobación Estructural Mediante Métodos de Cálculo* [Trabajo Final de Grado, Universitat Politècnica de València]. RiuNet. <http://hdl.handle.net/10251/38844>
- Dolmans, D., y Schmidt, H. (2010). The problem-based learning process. In H. Van Berkel, A. Scherpbier, H. Hillen, y C. van der Vleuten (Eds.), *Lessons from Problem-based Learning* (pp. 13-20). Oxford University Press.
- Du, X., De Graaff, E., y Kolmos, A. (2009). Research on PBL Practice in Engineering Education. Sense Publishers.
- Fasce, E. (2007). Aprendizaje profundo y superficial, Tendencias y perspectivas. *Rev. Educ. Cienc. Salud*, 4(1), 7-8.
- Hunt, E. M., Lockwood-Cooke, P., y Kelley, J. (2010). Linked-Class Problem-Based Learning in Engineering: Method and Evaluation. *American Journal of Engineering Education*, 1(1), 79-88. <https://eric.ed.gov/?id=EJ1058167>
- Kokotsaki, D., Menzies, V., y Wiggins, A. (2016). Project-based learning: A review of the literature. *Improving Schools*, 19(3), 267-277. <https://doi.org/10.1177/1365480216659733>
- Martínez Jaén, B. (2014, 25 junio). *Diseño, Construcción, Ensayo y Análisis de Modelos Reducidos de Estructuras de Hormigón Armado: Pórtico de Un Solo Vano Biarticulado. Análisis Experimental* [Trabajo Final de Grado, Universitat Politècnica de València]. RiuNet. <http://hdl.handle.net/10251/38885>
- Romero, I., Pachés, M., Hernández-Crespo, C., y Sebastián-Frasquet, M.T. (2021). ¿Satisfecho con el Aprendizaje Basado en Proyectos?. *IN-RED 2021: VII Congreso de Innovación Educativa y Docencia en Red*. Valencia. <http://dx.doi.org/10.4995/INRED2021.2021.13440>
- Rueda-García, L. (2014, 24 junio). *Diseño, Construcción, Ensayo y Análisis de Modelos Reducidos de Estructuras de Hormigón Armado: Arco Rígido Triarticulado. Análisis Experimental* [Trabajo Final de Grado, Universitat Politècnica de València]. RiuNet. <http://hdl.handle.net/10251/38776>
- SAP2000, Computers and Structures (CSI). (2022). Walnut Creek, California, EEUU.
- Servant-Miklos, V. F. (2019). Fifty years on: A retrospective on the world's first problem-based learning programme at McMaster University Medical School. *Health Professions Education*, 5(1), 3-12. <https://doi.org/10.1016/j.hpe.2018.04.002>
- Universitat Politècnica de València (UPV) (2022). *Competencias Trabajo de Fin de Grado. Grado en Ingeniería Civil*. [http://www.upv.es/titulaciones/GIC/menu\\_1013743c.html](http://www.upv.es/titulaciones/GIC/menu_1013743c.html)
- Wolfram Mathematica, Wolfram. (2022). Champaign, Illinois, EEUU.