

ANÁLISIS DE EXPERIENCIAS DE LABORATORIO COMO HERRAMIENTA DOCENTE: APLICACIÓN AL ESTUDIO DE PILARES DE HORMIGÓN REFORZADOS MEDIANTE ENCAMISADOS

Autor 1: Alfonso COBO ESCAMILLA

Dr. Ingeniero Industrial, Arquitecto
Universidad Politécnica de Madrid
Catedrático Escuela Universitaria

alfonso.cobo@upm.es

Autor 2: M. Isabel PRIETO BARRIO

Dr. UPM, Arquitecto
Universidad Politécnica de Madrid
Profesor Titular Escuela Universitaria

mariaisabel.prieto@upm.es

Autor 3: Esther Moreno Fernández

Dr. Ciencias Químicas
Universidad Politécnica de Madrid
Profesor Titular Escuela Universitaria

esther.moreno@upm.es

Autor 4: Francisco GONZÁLEZ YUNTA

Arquitecto Técnico, Ing. Organización Industrial
Universidad Politécnica de Madrid
Profesor Titular Escuela Universitaria

francisco.gonzalez.yunta@upm.es

RESUMEN

El Grupo de Innovación Educativa de la Universidad Politécnica de Madrid Enseñanza del Hormigón Estructural (EHE) está desarrollando un Proyecto de Innovación Educativa (PIE) basado en la elaboración de casos prácticos. En este trabajo se estudia uno de ellos relativo al análisis de refuerzos de pilares de hormigón armado mediante encamisados metálicos y de hormigón.

El estudio se ha desarrollado tomando como base los datos experimentales publicados acerca del refuerzo de pilares con encamisados metálicos y de hormigón frente al comportamiento de pilares patrón.

PALABRAS CLAVE: innovación educativa, estudio de casos, hormigón, refuerzo

1. Introducción

El dimensionamiento de refuerzos estructurales es una operación compleja que habitualmente no se trata en los planes de estudio conducentes a las titulaciones de grado. Este tipo de análisis es objeto de estudio en los cursos de postgrado.

Nuestra experiencia docente en esta materia ha detectado las siguientes dificultades:

- Carácter evolutivo de la estructura. Habitualmente el refuerzo se realiza sobre elementos que no están totalmente descargados.
- Homogeneización de la sección. El cálculo en condiciones de servicio exige homogeneizar la sección.
- Bondad de los resultados obtenidos. En muchas ocasiones se piensa que los resultados analíticos reflejan fielmente el comportamiento real.
- Tiempo necesario para impartir la materia. Si la materia se desarrolla explicando la teoría y analizando ejemplos, se requiere una cantidad de tiempo elevada.

Para solventar en parte las dificultades anteriores, se ha optado por el desarrollo de casos prácticos como metodología docente para desarrollar la docencia del análisis de pilares reforzados mediante encamisados. Además, el caso práctico propuesto consiste en la comparación entre los resultados analíticos y los obtenidos experimentalmente.

El desarrollo de casos prácticos es una metodología docente que “ahorra tiempo” a la hora de desarrollar la docencia. Durante el desarrollo del caso se presentan las expresiones teóricas generales y a continuación se aplican al caso de estudio en cuestión. De esta forma es posible que teoría y práctica se aborden al mismo tiempo.

El contraste de resultados analíticos con resultados experimentales permite comprobar la bondad de las expresiones que se utilizan en la práctica, desmitifica el número y sirve para desarrollar un espíritu crítico y de investigación.

La comparación entre los resultados analíticos y los resultados experimentales permite trabajar con los conceptos relativos a la homogeneización de la sección.

El estudio del comportamiento carga desplazamiento o tensión deformación facilita la comprensión de la repercusión en el cálculo del carácter evolutivo de la sección.

2. Desarrollo del caso

Como elemento objeto de estudio se ha escogido el trabajo experimental presentado por Ramírez y Bárcenas a la Revista Informes de la Construcción relativo al ensayo de pilares de hormigón armado mediante encamisados de acero y hormigón.

El alumno dispone del trabajo publicado en la revista con todos los datos experimentales obtenidos y la gráfica carga deformación de los pilares ensayados.

A partir de los datos suministrados por la revista relativos a las características geométricas de los pilares y a las características mecánicas de los materiales empleados, se puede obtener analíticamente la carga de rotura de los pilares reforzados y compara los valores obtenidos con los reales. También es posible, a partir de las gráficas carga deformación documentadas en el artículo, hacer consideraciones respecto al comportamiento en servicio.

A continuación se detalla el procedimiento analítico explicado al alumno en clase:

2.1. Evaluación de la estructura existente

Constituye la primera etapa del caso. En la tabla 1 se indican los pasos a seguir junto con las disciplinas correspondientes al plan de estudios de Ingeniería de Edificación donde se imparten los conocimientos y competencias correspondientes.

Se ha proyectado un pilar de hormigón armado de las siguientes características geométricas y mecánicas:

Sección: $250 \times 250 \text{ mm}^2$

Armadura: $4 \Phi 10$

$f_{ck} = 18 \text{ N/mm}^2$

$f_{yk} = 240 \text{ N/mm}^2$

Se produce una bajada en la resistencia del hormigón, de modo que la nueva resistencia es:

$f'_{ck} = 11 \text{ N/mm}^2$

El pilar se proyectó para un axil de cálculo:

$N_d = 750 \text{ kN}$

A continuación se calcularán los axiles correspondientes al pilar proyectado y al construido, el dimensionamiento de los refuerzos con recrecidos de hormigón y angulares metálicos, las rigideces de los pilares iniciales y reforzados, las deformaciones calculadas frente a las experimentales y las tensiones de servicio, según el siguiente esquema:

1. Pilar proyectado
 - Axil de agotamiento (N_u)
 - Axil de rotura (N_r)
 - Axil de servicio (N_s)
2. Pilar construido
 - Axil de agotamiento (N_u)
 - Axil de rotura (N_r)
3. Refuerzo con recrecido de hormigón
 - 3.1. Recrecido de hormigón
 - Axil de agotamiento (N_u)
 - Axil de rotura (N_r)
 - 3.2. Pilar reforzado
 - Axil de agotamiento (N_u)
 - Axil de rotura (N_r)
 - 3.3. Resultados experimentales
4. Refuerzo con angulares metálicos
 - 4.1. Angulares metálicos
 - Axil de agotamiento (N_u)
 - Axil de rotura (N_r)
 - 4.2. Pilar reforzado
 - Axil de agotamiento (N_u)
 - Axil de rotura (N_r)
 - 4.3. Resultados experimentales
5. Estudio de rigideces
 - 5.1. Pilar proyectado
 - 5.2. Pilar ejecutado
 - 5.3. Pilar reforzado con recrecido de hormigón
 - Solo recrecido
 - Pilar reforzado
 - 5.4. Pilar reforzado con angulares metálicos
 - Solo angulares metálicos

Pilar reforzado

- 5.5. Incremento de rigideces
- 6. Comprobación de deformaciones
 - 6.1. Deformaciones calculadas
 - 6.2. Deformaciones experimentales
- 7. Tensiones de servicio
 - 7.1. Pilar construido
 - 7.2. Pilar reforzado con recrido de hormigón
 - 7.3. Pilar reforzado con angulares metálico

3. Resultados de la experiencia realizada

Se ha trabajado con 50 alumnos del Máster en Innovación Tecnológica en la Edificación. A todos ellos se les ha planteado la resolución de un caso práctico relativo al refuerzo de un pilar de hormigón armado mediante encamisados.

Se ha trabajado sobre un caso que podía ser perfectamente un problema real. Al alumno se le ha proporcionado suficiente documentación como para poder tener una idea clara acerca del pilar sobre el que se iba a trabajar. A continuación se han impartido sesiones teóricas con una duración total de 3 horas para dotar al alumno de los conocimientos que no se han adquirido a lo largo de la carrera y son necesarios para resolver el caso, así como para poner en común lo ya explicado.

A continuación el alumno ha dispuesto de una semana para su resolución. Al término de la semana los trabajos se han entregado y los más relevantes se han discutido en clase.

Para poder realizar una valoración más objetiva acerca de la opinión de los alumnos, al finalizar el caso se realizó una encuesta en la que se obtuvieron los siguientes resultados:

En opinión de los alumnos, las principales capacidades alcanzadas han sido la iniciativa (60%) y el autoaprendizaje (64%).

El tiempo dedicado a la resolución del caso se juzga como escaso, tanto el dedicado a las explicaciones teóricas (72%) como el concedido para su resolución (78%).

La experiencia fue valorada positiva (24%) o muy positivamente (36%), únicamente un 12% de los alumnos valoró la experiencia de forma negativa o muy negativa.

El 70% de los alumnos opinó que el desarrollo de este caso les había permitido integrar distintos conocimientos adquiridos durante la realización de sus estudios.

El enorme grado de similitud entre el planteamiento del caso realizado y la práctica profesional se valoró positivamente (34%) o muy positivamente (42%) por parte de los alumnos.

4. Conclusiones

El desarrollo de casos es una metodología docente acertada para el refuerzo de estructuras en estudios de postgrado.

El contraste entre los resultados analíticos y los experimentales supone un interés académico muy superior al que resultaría del habitual desarrollo analítico de los problemas.