



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERS  
DE CAMINS, CANALS I PORTS DE BARCELONA



---

ESTUDIO EXPERIMENTAL  
DEL COMPORTAMIENTO DEL HORMIGÓN  
CONFINADO SOMETIDO A COMPRESIÓN

Tesis Doctoral de:  
Carlos Aire Untiveros

Dirigida por:  
Ravindra Gettu  
Joan Ramon Casas Rius

---

Barcelona, Septiembre 2002

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 ANTECEDENTES

Los efectos del confinamiento del hormigón han sido extensivamente investigados en el pasado, y en la actualidad se entiende relativamente bien el resultante incremento en resistencia y ductilidad. En la práctica, el confinamiento del hormigón en un miembro estructural es proporcionado comúnmente por el refuerzo transversal en forma de zunchos o espirales.

En la actualidad, existen numerosas estructuras que están en la necesidad de alguna rehabilitación debido al deterioro que ellos acusan durante el tiempo. Por otro lado, los pilares de puentes construidos en el pasado pueden tener la urgente necesidad de ser actualizados debido a las exigencias más rigurosas de los nuevos códigos. En tal sentido, la necesidad de reparar o reforzar se ha incrementado significativamente. En respuesta a esto, han surgido nuevas tecnologías de refuerzo que incluyen la utilización de fibras de acero, produciendo un efecto de confinamiento interno, tubos de acero rellenos de hormigón y el zunchado con tejidos compuestos, normalmente con polímeros reforzados con fibras (FRP) o tejidos de fibras sintéticas.

En realidad, todo material que pueda proporcionar una restricción lateral (confinamiento) suficiente en la región post-pico puede ser usado para contener o demorar la rotura instantánea del hormigón. Básicamente, el confinamiento restringe la fisuración por

compresión y cortante, aumentando así la ductilidad del elemento estructural durante la rotura.

El encamisado con tubo de acero ha probado ser un medio efectivo para reforzar columnas de puentes para incrementar resistencia y ductilidad, empleándose además en aplicaciones estructurales. Sin embargo, no se ha llegado a entender completamente el confinamiento del núcleo de hormigón. Aunque es ampliamente usado en la práctica, se está buscando otras alternativas para mejorar el proceso de refuerzo de algunos puentes deficientes estructuralmente existentes. Una de las claves es la facilidad de construcción.

Al respecto, en años recientes se ha incrementado el uso de los polímeros reforzados con fibra (FRP) como elemento de confinamiento, debido a sus excelentes propiedades mecánicas y químicas de estos materiales. Algunos investigadores han mostrado que el confinamiento con FRP mejora el comportamiento de columnas sometidas a carga sísmica, y se han aplicado eficientemente en la rehabilitación sísmica de pilares de puentes en USA y Japón.

## 1.2 OBJETIVOS

Es evidente que en los años recientes se ha incrementado el estudio del hormigón cuando es sometido a confinamiento. Por otro lado, hay una creciente necesidad actual al refuerzo de estructuras antiguas, para proporcionarle resistencia adicional o mayor ductilidad, lo que se consigue mediante técnicas adecuadas de confinamiento. Sin embargo, la información existente es limitada, y la mayor parte de las investigaciones realizadas están basados en trabajo experimental desarrollado en otros países. En este sentido, el presente trabajo pretende obtener y complementar la información referente a resultados experimentales, haciendo uso de materiales y técnicas nacionales que permitan conocer el comportamiento del hormigón sometido a confinamiento.

De esta manera, los objetivos principales de este trabajo son:

- Hacer una revisión bibliográfica del estado actual de conocimientos sobre el hormigón confinado.
- Obtener información experimental sobre el comportamiento del hormigón de baja y alta resistencia cuando es sometido a confinamiento pasivo y activo.
- Evaluar la mejora en la resistencia y ductilidad de los hormigones debido al efecto del confinamiento.
- Caracterizar el comportamiento tensión-deformación del hormigón sometido a diferentes niveles y tipos de confinamiento.

Para alcanzar los objetivos propuestos, se pretende estudiar los siguientes casos:

- Hormigón sin confinar.
- Hormigón confinado en célula triaxial (con presión hidrostática).

- Hormigón confinado con tubo de acero.
- Hormigón confinado con polímeros reforzados de fibra (FRP) de carbono y vidrio.

### **1.3 METODOLOGÍA**

La estructura de este trabajo consta de siete capítulos, las referencias y nueve anexos, organizados de acuerdo al desarrollo de los objetivos y el alcance de la investigación.

Después de la introducción, viene el Capítulo 2, que describe el programa experimental, que incluye la descripción y características de los materiales empleados en la fabricación de las probetas de hormigón, así como de los materiales de confinamiento empleados, el proceso de fabricación de las mezclas de hormigón, el programa general de ensayos, los equipos utilizados, y los diversos sistemas de instrumentación empleados.

El Capítulo 3 presenta el estudio del comportamiento del hormigón confinado por presión hidrostática. En primer lugar se describe brevemente el estado actual de conocimientos sobre los hormigones confinados por presión hidrostática (ensayos en célula triaxial), resultado de una exhaustiva revisión bibliográfica, que incluye los resultados de las investigaciones más relevantes en este tema. Enseguida se hace una breve descripción del programa de ensayos, y los parámetros de estudio. Son dos las variables estudiadas, la resistencia del hormigón y el nivel de confinamiento. Se estudiaron 2 niveles de resistencia: baja y alta resistencia, y como niveles de confinamiento, se emplearon diversos valores de presión hidrostática. También se incluye aspectos referentes a la preparación de las probetas y puesta en marcha del equipo de ensayo. Por último se presentan los resultados de los ensayos realizados de las probetas sin confinar y confinadas en la célula triaxial. Esto incluye las propiedades mecánicas de los hormigones, sus respectivas curvas típicas tensión-deformación, los diferentes modos de rotura de las probetas. La parte final del capítulo corresponde a las conclusiones particulares de esta etapa de investigación.

Siguiendo la misma filosofía el Capítulo 4 presenta el estudio del comportamiento del hormigón confinado con tubo de acero. Igualmente se hace una breve revisión bibliográfica del tema. Enseguida se presenta el programa de ensayos. Los parámetros de estudio son los mismos que del capítulo anterior, sin embargo, el nivel de confinamiento viene dado por tres espesores de tubo diferente. En este caso, se realizaron dos tipos de ensayo: un ensayo con aplicación de carga únicamente en el núcleo de hormigón y un segundo ensayo con aplicación de carga sobre toda la sección de la probeta. De la misma manera, se presentan los resultados de los ensayos, que incluyen las propiedades mecánicas, los modos de fallo y las curvas típicas tensión-deformación de los hormigones estudiados. Por último, se presentan las conclusiones particulares de esta etapa de estudio.

El Capítulo 5 presenta el estudio del comportamiento del hormigón confinado con polímeros reforzados de fibra (FRP). En primer lugar, se hace una breve revisión bibliográfica sobre el tema. Luego se presenta el programa de ensayos. Los parámetros de estudio son los mismos que en la etapa anterior, sin embargo, el confinamiento es proporcionado por FRP de vidrio y carbono, y el nivel de confinamiento viene dado por el número de capas de FRP utilizado. Se hace una breve descripción del procedimiento de zunchado del FRP, enseguida se presentan los resultados obtenidos, que incluye las propiedades mecánicas y curvas típicas tensión-deformación de los hormigones estudiados. Se presenta un análisis de los resultados, así como de los diferentes modos de fallo. Finalmente, se presentan las conclusiones particulares de esta etapa de estudio.

En el Capítulo 6, se discuten los resultados experimentales obtenidos con los tres sistemas diferentes de confinamiento, mediante un análisis comparativo de tablas y gráficas. En primer lugar se hace una comparación general de los tres sistemas, y enseguida se hace una comparación particular entre los hormigones confinados en célula triaxial y tubos de acero. Por último, se hace una comparación con un modelo analítico existente en la literatura y se presentan las conclusiones particulares de esta comparación.

En el Capítulo 7 se presentan las conclusiones generales de la presente investigación, y las conclusiones particulares para cada sistema de confinamiento.

Con el fin de fundamentar los resultados y conclusiones presentadas en cada fase de esta investigación, se incluyen nueve anexos que ilustran los experimentos realizados. Estos anexos incluyen la totalidad de probetas ensayadas, mostrando sus curvas tensión-deformación, un registro fotográfico de las probetas después de los ensayos, y esquemas mostrando los modos de fallo y rotura. Así, el Anexo A, presenta resultados de los ensayos sin confinar de los hormigones H30, H70 y HE70, el Anexo B los modos de rotura de las probetas confinadas por presión hidrostática, el Anexo C los resultados de los ensayos del hormigón confinado por presión hidrostática, el Anexo D las expresiones para el cálculo de la tensión y deformación máxima del hormigón confinado, el Anexo E los modos de fallo de las probetas confinadas con tubos de acero, el Anexo F los resultados de los ensayos de los hormigones confinados con tubos de acero, el Anexo G los resultados de los ensayos sin confinar de los hormigones HF30 y HF70, el Anexo H los modos de fallo de las probetas confinadas con FRP y el Anexo I los resultados de los ensayos del hormigón confinado con FRP.