

## **BLOQUE 0**

### INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DEL PROYECTO

---



# 1 INTRODUCCIÓN

En las últimas dos décadas el uso de los materiales compuestos se ha incrementado sensiblemente en la construcción. No obstante, debido a este reciente uso, los ingenieros aún no están familiarizados con las propiedades y características de los mismos en este ámbito. Habida cuenta de ello, este proyecto promovido por el Grupo de Estructuras de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Sevilla, aparece para estudiar, desde el punto de vista de diseño, el armado de estructuras de hormigón por medio de barras corrugadas de material compuesto de matriz polimérica reforzada con fibras (en adelante y para simplificar se denotará por FRP que son las iniciales de "*Fibre Reinforced Polymer*"). Se analizan las propiedades de estos materiales y se modifica la normativa española vigente sobre estructuras de hormigón armado con acero (EHE-08) para recoger el diferente comportamiento de estos materiales.

Actualmente existen dos ramas encaminadas al refuerzo de estructuras de hormigón utilizando materiales compuestos. Una de ellas consiste en unas láminas de FRP que se adhieren externamente al elemento. Normalmente esta clase de refuerzo es utilizado para la rehabilitación de estructuras debido a que se puede colocar permaneciendo la estructura en servicio y es económicamente competitivo frente a otros métodos. Sin embargo, este proyecto se enfoca hacia el refuerzo interno a través de barras corrugadas de FRP, usualmente empleado como una alternativa al armado convencional con acero debido a las múltiples ventajas que presentan, especialmente su durabilidad frente a ambientes agresivos.

Uno de los problemas más importantes de las armaduras de acero es su baja resistencia a la corrosión y consiguiente durabilidad. En condiciones normales, la atmósfera alcalina del hormigón las protege, de ahí que las normativas impongan unos recubrimientos mínimos y abertura máxima de fisuras. No obstante ante ambientes agresivos, sitios húmedos o incluso en contacto con el agua marina, en industrias químicas o en lugares expuestos a fuertes concentraciones de gases de combustión, la durabilidad de estas estructuras son un fuerte factor a tener en cuenta y que obviamente condicionan el diseño. Son en estas circunstancias donde los FRP exhiben una de sus mejores cualidades, esto es, ausencia de corrosión y fuerte resistencia a ataques químicos. De ahí que la mayoría de las estructuras hoy en día construidas y armadas con este material sean puentes, aparcamientos, plantas químicas y demás instalaciones donde la durabilidad del acero sea crítica. Aún así cabe también destacar otro tipo de utilidad como en infraestructuras de trenes que levitan magnéticamente o pantallas temporales para túneles debido a la neutralidad electromagnética y fácil cortabilidad que presentan.

En lo que se refiere al diseño, que es la base de este proyecto, el diferente comportamiento de los FRP respecto del acero lleva aparejado que la formulación del armado convencional no sea directamente aplicable para esta clase de elementos. Concretamente se caracterizan por un comportamiento tenso-deformacional lineal elástico hasta la rotura, dotado además de una extraordinaria resistencia a la tracción, del orden de dos a tres veces superior al acero. Lo cual no sólo implica que sea necesario modificar las ecuaciones sino además replantearse otra serie de cuestiones comúnmente aceptadas en el armado convencional, como por ejemplo, los dominios de deformación o modo de rotura preferencial. A esto hay que añadirle también que suelen poseer un bajo módulo elástico, especialmente en los materiales compuestos reforzado con fibras de vidrio, por lo que ahora son los Estados de Servicio los que

habitualmente condicionen el diseño del elemento. Todo ello es recogido minuciosamente en este proyecto con la idea de que sirva como un documento de diseño auto contenido. Por último, se recoge una parte experimental en la que se pretende constatar parte de las cuestiones tratadas en teoría y mostrar el comportamiento real de esta clase de elementos.

## 2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

A día de hoy existen muy pocas normativas que regulen el hormigón armado con barras de FRP. En concreto cabe destacar la Guía norte americana ACI 440[3], canadiense CSA [4] y japonesa JSCE [11]. Éstas se basan en la formulación convencional de armado con acero y la adaptan convenientemente para informar sobre el diferente comportamiento de este material. A nivel español, ni tan siquiera europeo, no existe una normativa al respecto, por lo que se entiende que uno de los objetivos prioritarios es el análisis de estas normativas para comprender la esencia de las adaptaciones propuestas y análogamente proceder con la instrucción española. En esta dirección se ha prestado gran interés en la Guía ACI, no sólo por su meritorio prestigio, sino fundamentalmente porque, a diferencia de otras normas, explica con claridad el origen y fundamento de las modificaciones llevadas a cabo. Además, en lo que respecta a la adaptación de la instrucción española, ha sido de gran utilidad una publicación del fib Task Group 9.3 [16] en la que se recogen recomendaciones dadas por importantes investigadores a nivel internacional sobre modificaciones del Eurocódigo 2 que está en plena consonancia con la EHE-08[8].

Otra cuestión a tener en cuenta es que en el mercado existen diferentes tipos de FRP. Entre los más conocidos se encuentra los reforzados con fibras de vidrio (GFRP), aramida (AFRP), y carbono (CFRP). El primero de ellos es el más utilizado debido a su bajo coste y el más básico en cuanto a propiedades mecánicas se refiere, aún así suele duplicar la resistencia de un acero convencional. Muy de cerca le siguen los AFRP que suelen poseer una capacidad mecánica algo superior pero un coste bastante elevado, lo cual justifica que no es normalmente empleado. Sin embargo, cuando se requieren unas excelentes propiedades se recurre a los CFRP, sólo se utiliza bajo determinadas circunstancias y su coste es bastante superior al resto de los FRP. Dada la variedad de propiedades y precios es instructivo analizar la influencia del tipo de refuerzo colocado partiendo como referencia del armado convencional con acero. De esta manera se pueden extraer cuáles son las ventajas e inconvenientes de cada uno de ellos, tal que plateadas unas necesidades, pueda ser elegido el adecuado tipo de FRP. Expuesta la importancia de esta cuestión se establece como un objetivo secundario.

Como se deja entrever en el apartado anterior y en la introducción del proyecto, los FRP suelen caracterizarse por unas excelentes propiedades mecánicas respecto al acero. Si se utiliza junto con un hormigón de resistencia normal parece lógico pensar que no se está obteniendo el máximo rendimiento de este tipo de elementos. De ahí que se establezca también como objetivo secundario el estudio de la influencia de la resistencia del hormigón en elementos armados con barras de FRP, en particular la utilización de hormigones de alta resistencia.

Hay que añadir que normalmente los materiales compuestos exhiben un relativo bajo módulo elástico. Esto quiere decir que, previsiblemente las deformaciones sean bastante considerables en estos elementos, luego ahora son los Estados de Servicio

los que usualmente condicionan el diseño. En lo que concierne a las aberturas de fisuras carecen de importancia pues debido a la alta resistencia a la corrosión los límites impuestos atienden más bien a fines estéticos. Por tanto, un factor clave es el control de la flecha que se divide a su vez en una flecha instantánea y una diferida debido a cargas de larga duración. Como se verá a lo largo de este documento, la flecha instantánea se ajusta muy bien a la predicción teórica, sin embargo, no ocurre lo mismo con la flecha diferida que depende de más parámetros del tenido en cuenta en la fórmula convencional. Un estudio especial cabe ser abierto a este respecto marcándose también como un objetivo secundario.

Por último, y no menos importante, una vez estudiada y elaborada la metodología de diseño, se establece como un objetivo prioritario la elaboración de una pequeña campaña experimental con el fin de aplicar los conocimientos adquiridos teóricamente y constatarlos experimentalmente. En este aspecto cabe decir, que ha sido de gran utilidad unas hojas de cálculo que se han elaborado a medida que se desarrollaba el bloque analítico.

En resumen, este proyecto consta de dos bloques bien diferenciados. El primero de ellos corresponde a un bloque analítico, donde se elabora una guía de diseño en base a unas modificaciones sobre la instrucción española de hormigón armado (EHE-08), siguiendo las recomendaciones recogidas en el fib Task Group 9.3 y tomando como ejemplo el código ACI 440. Además también incorpora los estudios antes mencionados debido a la gran relevancia que poseen. Y un segundo bloque experimental en el que se hace uso de la guía elaborada, se registra el comportamiento real de estos elementos y se comparan con los resultados previamente calculados obteniéndose las conclusiones pertinentes.