

RESUMEN

El hormigón de muy alto rendimiento reforzado con fibras (UHPFRC) puede ser considerado como una moderna y mejorada evolución del hormigón reforzado con fibras (FRC) capaz de desarrollar grandes propiedades mecánicas y una alta durabilidad. Estas características pueden llevar a considerar el UHPFRC como un material de construcción competitivo si su producción y sus propiedades son optimizadas y si se define una adecuada estrategia de modelización que permita un diseño estructural efectivo capaz de aprovechar las propiedades mejoradas de este material.

La mayoría de la investigación vinculada con el UHPFRC durante los últimos veinte años está relacionada con el comportamiento de endurecimiento por deformación (SHUHPFRC). Con este comportamiento se aseguran grandes propiedades mecánicas y de durabilidad, pero con altos costes iniciales derivados de los materiales base necesarios para su fabricación, del sistema de vertido, del curado y del tratamiento térmico tras su fabricación. El estudio del comportamiento del UHPFRC con reblandecimiento por deformación (SS-UHPFRC), que podría resultar en un ahorro de estos costes iniciales, ha estado considerado en menor medida.

El principal objetivo de la presente tesis es el desarrollo de una completa metodología para el modelado numérico del UHPFRC desde el material hasta el elemento estructural. Se pretende contribuir al avance del conocimiento del comportamiento mecánico del UHPFRC obteniendo como resultado un procedimiento para la modelización numérica que permita el modelado y diseño estructural que permitiría hacer que este material fuera competitivo para ser utilizado en el mercado de la construcción. En la metodología de modelado propuesta, se considera un comportamiento constitutivo del UHPFRC optimizado por medio de un procedimiento directo y fiable con el que se aprovechan las ventajas del material, resultando en un diseño estructural eficiente desde el punto de vista mecánico y económico.

¿Es necesario producir SH-UHPFRC para conseguir grandes propiedades mecánicas? ¿Es posible generar SS-UHPFRC de manera que queden reducidos los costes iniciales y se mantengan unas propiedades mecánicas y de durabilidad competitivas que comporten un diseño estructural efectivo? El desarrollo de UHPFRC con bajo endurecimiento por deformación y de SS-UHPFRC puede reducir sus propiedades mecánicas, pero si son adecuadamente estudiadas y controladas, éstos podrían ser optimizados.

La tesis aborda algunas de estas cuestiones a través del estudio del comportamiento a tracción que va desde SH-UHPFRC hasta SS-UHPFRC. Se pretende llevar a cabo una propuesta de procedimiento fiable para caracterizar el comportamiento constitutivo a tracción y definir un modelo numérico de elementos finitos fiable para modelar con precisión la respuesta de probetas y elementos estructurales armados de UHPFRC.

Para definir el procedimiento directo para caracterizar a tracción tanto SH-UHPFRC como SS-UHPFRC, se ha llevado a cabo una campaña experimental y numérica en la que se ha analizado el resultado de ensayar 227 probetas sin armadura fabricadas con UHPFRC con cantidades de fibras cortas y lisas de acero de 120-130kg/m³ y 160kg/m³, ensayadas a flexión a través del ensayo a cuatro puntos (4PBT). El desarrollo y la validación de dicho proceso se respaldan mediante un modelo no lineal de elementos finitos (NLFEM) fiable. La validación numérica llevada a cabo ha sido decisiva para que este procedimiento sea preciso, simple y fiable.

Utilizando esta campaña experimental, se ha desarrollado una aplicación predictiva para estimar los parámetros que definen el comportamiento constitutivo a tracción del UHPFRC. Esta aplicación es simple y directa y evita la posible variabilidad producida por malas interpretaciones en la aplicación del proceso.

Además, se ha llevado a cabo una segunda campaña experimental constituida por vigas de UHPFRC armadas a flexión con diferentes escalas: 36 vigas cortas con 130 y 160kg/m³ de fibras y dos vigas largas. Esta campaña experimental se ha modelado con el NLFEM aquí desarrollado teniendo en cuenta efectos importantes debidos a la interacción del UHPFRC con las barras de armado. También se han modelado con el NLFEM tirantes de UHPFRC armados de una campaña experimental de otra investigación. El modelo considera efectos debidos a la retracción, al 3D y comportamiento tensión stiffening que generan resultados muy precisos cuando se comparan con los resultados experimentales.

Por tanto, como resultado de la presente tesis doctoral, se ha obtenido un modelo de elementos finitos capaz de modelar con precisión elementos estructurales de UHPFRC armados. Los resultados no sólo demuestran la fiabilidad del NLFEM llevado a cabo sino también la coherencia del procedimiento desarrollado para caracterizar el comportamiento constitutivo a tracción del UHPFRC para los dos casos, tanto SHUHPFRC como SS-UHPFRC, tanto en elementos estructurales armados a flexión como en elementos estructurales armados a tracción directa. Consecuentemente se ha propuesto una metodología completa y efectiva para el modelado numérico del UHPFRC que va desde el material hasta el elemento estructural.