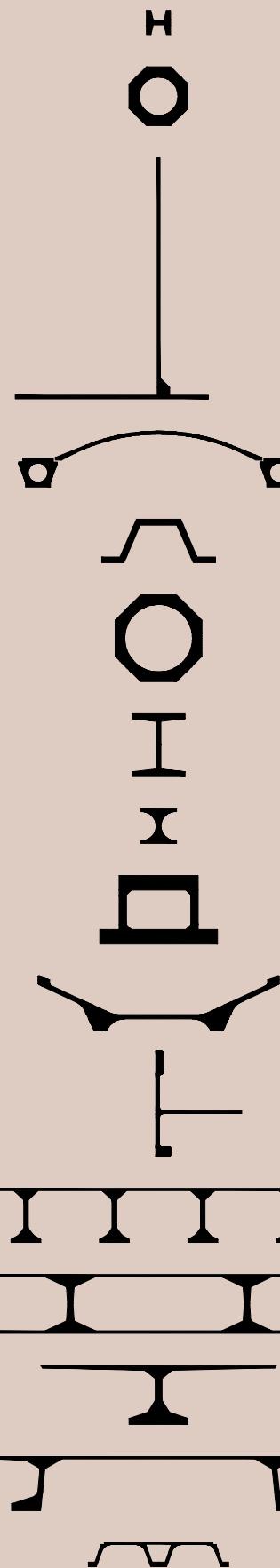


La estructura industrializada en UHPFRC

*Estudio del prefabricado estructural
en hormigón de ultra-altas
prestaciones reforzado con fibras*



Javier Fidalgo Saeta

Información del TFG

Título del TFG:

La estructura industrializada en UHPFRC

Subtítulo del TFG:

Estudio del prefabricado estructural en hormigón de ultra-altas prestaciones reforzado con fibras

Estudiante:

Javier Fidalgo Saeta
DNI: 05457350W
Expediente: 15164
Contacto: javier.fidalgo.saeta@gmail.com

Tutor:

Jaime Cervera Bravo
Departamento de Estructuras y Física de la Edificación

Aula TFG:

Aula TFG 5
Coordinadora: María Barbero Liñán
Adjunto: Jose Antonio Flores Soto

Entrega del TFG:

14 de enero de 2022
Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid
Universidad Politécnica de Madrid

Índice general

Resumen

Lista de acrónimos

1. Introducción: construcción industrializada y UHPFRC

2. Elementos estructurales prefabricados en UHPFRC

3. Sistemas estructurales industrializados en UHPFRC

4. Conclusiones finales del trabajo

Bibliografía referenciada

Sitios web consultados

Lista de figuras

Lista de láminas

Índice desarrollado

Resumen

Lista de acrónimos

1. Introducción: construcción industrializada y UHPFRC

1.1. La construcción industrializada

¿Qué es?

Beneficios y limitaciones

La estructura industrializada

1.2. El UHPFRC

¿Qué es?

Material estructural

Aplicaciones actuales

Situación alrededor del mundo

1.3. Hipótesis y objetivos del trabajo

Hipótesis

Objetivos

Metodología del trabajo

2. Elementos estructurales prefabricados en UHPFRC

2.1. Cimentaciones

Pilote en H

Pilote octogonal hueco

2.2. Contenciones

Muro en L

Muro compuesto

Tablestaca

2.3. Soportes

Soporte octogonal hueco

Pilar en I

2.4. Vigas

*Viga en X
Viga en T invertida hueca
Bandeja de cubierta
Grada*

2.5. Estructuras de piso

*Placa nervada
Losa hueca
Viga-tablero en I
Viga-tablero en Pi
Sistema Pi-placa*

3. Sistemas estructurales industrializados en UHPFRC

3.1. Ejemplo de sistema

*Elementos estructurales del sistema
Proceso constructivo del sistema*

3.2. Características generales

4. Conclusiones finales del trabajo

*Conclusiones
En la Escuela*

Bibliografía referenciada

Sitios web consultados

Lista de figuras

Lista de láminas

Resumen

Todo apunta a que en esta década el mercado del prefabricado estructural crecerá a un ritmo ascendente, por la tendencia del sector de la construcción hacia un modelo industrializado de la mano de las nuevas tecnologías digitales BIM.

En este contexto de expansión de la construcción industrializada, «descubrimos» el UHPFRC (hormigón de ultra-altas prestaciones reforzado con fibras), un material que parece creado para ser empleado en la estructura prefabricada arquitectónica: por sus altísimas prestaciones resistentes, que le permiten formar componentes duros, delgados y ligeros, por la incorporación de fibras de acero en su mezcla, que permite la eliminación de armados pasivos, por su imbatible durabilidad, que reduce los costes de mantenimiento al mínimo, y por su calidad estética, tanto de acabado superficial como de esbeltez general de las formas conseguidas en fábrica.

En este trabajo se exploran los diseños creados hasta la fecha de componentes estructurales prefabricados en UHPFRC, con especial atención a la sección del elemento, y comparándola con la de los elementos industrializados en materiales estructurales convencionales: hormigón armado y acero.

La intención es entender las posibilidades y el comportamiento estructural del material y vislumbrar el lenguaje estructural, la espacialidad y las posibilidades estéticas de la arquitectura industrializada del futuro en UHPFRC.

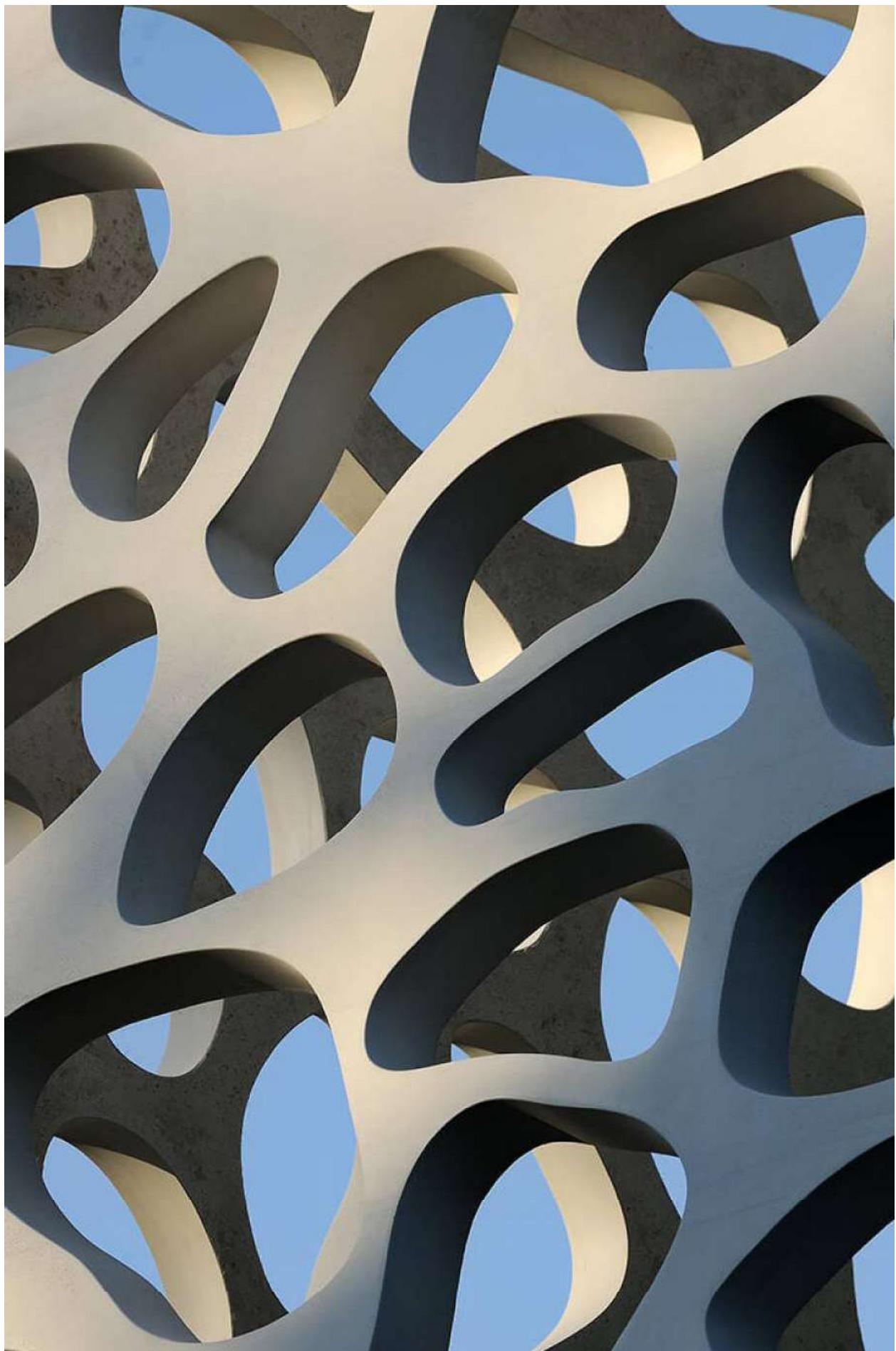
Palabras clave:

UHPFRC - UHPC - Fibras - Prefabricado - Industrializado - Estructura

Lista de acrónimos

ACHE	Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructural.
ACI	«American Concrete Institute», Instituto Americano del Hormigón.
AFGC	«Association Française de Génie Civil», Asociación Francesa de Ingeniería Civil, rama francesa de la RILEM y la FIB.
BIM	«Building Information Modelling».
CEO	«Chief Executive Officer», director ejecutivo.
DURA-UHPC	«DURA Ultra-High Performance Concrete», es el nombre comercial de la mezcla de UHPFRC desarrollada por Dura Technology Sdn Bhd.
EDF	«Electricité de France», empresa multinacional francesa de generación y distribución eléctrica.
EE.UU.	Estados Unidos de América.
EIC	«Environmental Impact Calculation», cálculo de impacto ambiental.
EPFL	Escuela Politécnica Federal de Lausana.
EPS	«Expanded Polystyrene», poliestireno expandido.
FDOT	Departamento de Transporte de Florida.
FHWA	«Federal Highway Administration», EE.UU.
FIB	«Fédération Internationale du Béton», Federación Internacional de Hormigón Estructural, asociación comprometida con el avance de los rendimientos técnicos, económicos, estéticos y ambientales de las estructuras de hormigón en todo el mundo.
GWP	«Global Warming Potential», potencial de calentamiento global, índice.
HPFRCC	«High Performance Fibre Reinforced Cement Composites», compuestos cementicios de altas prestaciones reforzados con fibras, grupo de materiales al que pertenece el UHPFRC.

HSS	«High Speed Steel», acero rápido o acero de alta velocidad.
IDOT	Departamento de Transporte de Iowa.
ISU	Universidad Estatal de Iowa.
JPS	Departamento de Riego y Drenaje de Malasia.
LTU	Universidad Técnica de Louisiana.
MuCEM	«Musée des Civilisations de l'Europe et de la Méditerranée», Museo de las civilizaciones de Europa y del Mediterráneo.
NCSU	Universidad Estatal de Carolina del Norte.
PCI	«Precast/Prestressed Concrete Institute», Instituto del Hormigón Prefabricado/Pretensado, EE. UU.
RDC	«Research & Development Concretes», ingeniería valenciana especializada en UHPC.
RILEM	«Réunion Internationale des Laboratoires et Experts des Matériaux», Unión Internacional de Laboratorios y Expertos en Materiales de Construcción, Sistemas y Estructuras.
RPC	«Reactive Powder Concrete», hormigón de polvo reactivo, otra nomenclatura referida al UHPFRC.
SCP	«Standard Concrete Products», ingeniería establecida en Columbus, Georgia, especializada en soluciones en hormigón prefabricado pretensado.
UHPC	«Ultra-High Performance Concrete», otra nomenclatura referida al UHPFRC, en este caso sin hacer explícito el empleo de fibras en la mezcla, pero se da por hecho que así es. Nomenclatura utilizada especialmente en Norteamérica.
UHPFRC	«Ultra-High Performance Fibre Reinforced Concrete», hormigón de ultra-altas prestaciones reforzado con fibras.
UNL	Universidad de Nebraska-Lincoln.
UPV	Universidad Politécnica de Valencia.
WJE	«Wiss, Janney, Elstner Associates», ingeniería basada en Northbrook, Illinois, especializada en materiales de construcción.



1. Introducción: construcción industrializada y UHPFRC

En este primer capítulo se introduce el concepto de construcción industrializada y se presenta el UHPFRC como material estructural, exponiendo sus principales ventajas y aplicaciones actuales alrededor del mundo. Por último, se presentan hipótesis y objetivos generales del trabajo.

Fig. 1.0. Prefabricado arquitectónico ligero de fachada en UHPFRC Ductal.

1.1. La construcción industrializada

¿Qué es?

En la actualidad, todo proceso constructivo está industrializado en cierto grado, por ello no se puede hablar rotundamente de construcción industrializada y construcción no industrializada, pero sí nos podemos referir a un modelo que ofrezca soluciones acordes con los valores contemporáneos de sostenibilidad y con las tendencias del sector hacia una digitalización del proceso completo, en el que cada detalle del proyecto queda definido mediante metodología BIM antes de que comience la fase de ejecución de este. En este modelo predominan la industria y el prefabricado frente a las soluciones tradicionales *in situ* [1].

En definitiva, la construcción industrializada en la arquitectura se refiere a un proceso edificatorio en el que la mayoría de los elementos de obra son fabricados en taller, transportados a la ubicación del proyecto, y ensamblados entre sí para componer la edificación (Fig. 1.1.).

La construcción industrializada es una tendencia de avance científico y técnico, que está cambiando como diseñamos, manufacturamos y ensamblamos. Se prevé que para 2035 la mayoría de los edificios estarán construidos de forma industrializada [2].



Fig. 1.1. Instalación de cerramiento modular prefabricado.

Beneficios y limitaciones

Con la implementación de tecnologías industriales avanzadas, el mundo de la construcción puede observar multitud de beneficios en sus procesos:

- Reducción del esfuerzo laboral: el proceso constructivo se simplifica y los trabajos físicos se sustituyen por técnicas avanzadas con mecanización y automatización.
- Mejora de la seguridad en taller y obra: este punto está directamente relacionado con el anterior. Los procesos, tanto de fabricación como de ensamblaje, están totalmente controlados y no dan lugar a imprevistos, reduciendo los riesgos posibles.
- Rapidez de ejecución: aunque la fase proyectual requiera más detalle que en un proceso tradicional, la ejecución de la obra compensa desarrollándose a gran velocidad y sin retrasos por climatología o imprevistos, cumpliendo con los plazos planeados.
- Calidad superior: la fabricación en taller garantiza resultados óptimos, con productos precisos y uniformes. Esto repercute en la ejecución, en el resultado estético final y en aspectos como la durabilidad del conjunto.
- Productividad, eficiencia y sostenibilidad: los procesos industriales optimizados garantizan un empleo inteligente de materiales y recursos, reduciendo costes y residuos.

La construcción industrializada es aún un sistema emergente y, pese a sus enormes beneficios potenciales, existen ciertas limitaciones que ralentizan su expansión en la industria:

- Aceptación del sector: el mundo de la construcción adopta las innovaciones metodológicas y tecnológicas a un ritmo más lento, en comparación con otras industrias como la automovilística, por ejemplo.
- Falta de tejido industrial: en países como España, se combina la reducida infraestructura industrial con la mano de obra barata, desincentivando la transición hacia procesos industrializados.
- Coste inicial elevado: se requiere una gran inversión inicial para adoptar el modelo industrializado en construcción.
- Falta de mano de obra cualificada: en los procesos constructivos industrializados la precisión es máxima, y la colaboración entre trabajadores requiere un conocimiento profundo de los procesos y las herramientas técnicas.
- Reducción de la libertad estética: la producción en masa beneficia la eficiencia de la construcción industrializada, pero, en principio, repercute negativamente en la creatividad del arquitecto.

La estructura industrializada

La estructura industrializada consiste en elementos prefabricados, trasladados a la ubicación del proyecto y vinculados entre sí mediante conexiones in situ.

En lugar de trasladar la «fábrica» hasta el lugar de construcción, como sucede en la construcción tradicional, son los elementos estructurales los que, ya producidos, viajan hasta su ubicación final, ahorrando cuantiosos residuos en obra y reduciendo el impacto ambiental.

Estos elementos se fabrican en taller, bajo control, garantizando su efectividad estructural, y obteniendo una gran calidad final. Normalmente se trata de productos catalogados, es decir, prediseñados y ofertados por una empresa fabricante como componentes estructurales genéricos, incluso pueden estar previamente fabricados y almacenados. Otra opción es que el proyectista plantee una estructura industrializada con componentes de nuevo diseño, fabricados específicamente para su encargo concreto. Esta última estrategia permite personalizar y amoldar la estructura al proyecto arquitectónico individual, pero no es habitual. Para que la metodología del componente personalizado resulte rentable, debe tratarse de un proyecto de grandes dimensiones en el que la fabricación de elementos alcance la escala de producción en masa.

En general, cuanto mayor es el proyecto más sentido tiene el planteamiento de una estructura industrializada repetitiva u organizada en módulos, por un motivo logístico. El resultado suelen ser esquemas estructurales en retícula regular, con luces relativamente grandes para rentabilizar la fabricación y transporte de los componentes. Son soluciones más rígidas frente a la libertad de las estructuras tradicionales in situ.

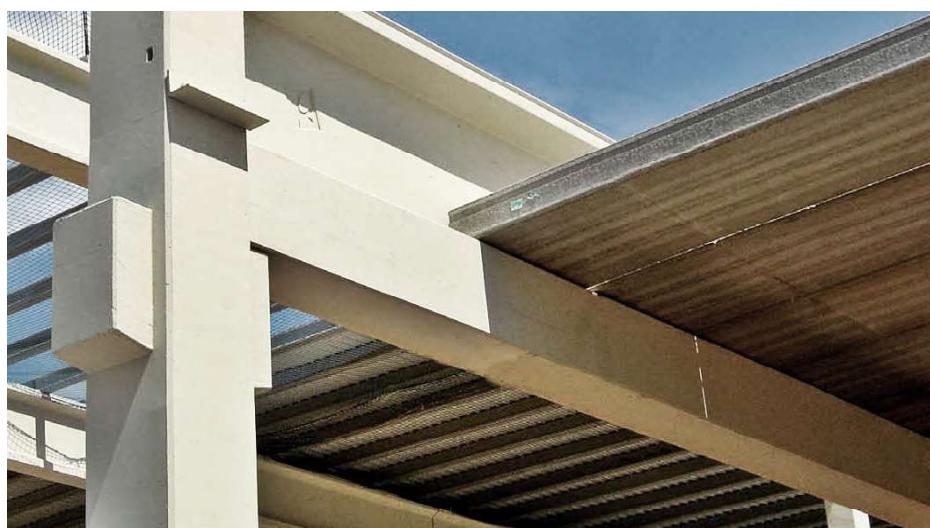
En cualquier caso, una vez fabricados los miembros, deben ser transportados desde el centro de producción hasta el lugar de construcción, lo que condiciona profundamente las características de los elementos estructurales empleados. Cuanto más ligero sea el componente más fácil y barato será su transporte, de hecho, hay tipologías estructurales especialmente difíciles de plantear como elementos prefabricados por su elevado peso. Es el caso de las cimentaciones superficiales prefabricadas, tipología poco empleada en nuestro país por falta de grandes ríos: vía de transporte más lógica para trasladar las pesadas zapatas prefabricadas. Esto con elementos volumétricos, pero en el caso de la superestructura de los edificios (Fig. 1.2.) encontramos tipologías predominantemente lineales, pilares y vigas, y superficiales, forjados, donde entran en juego otros factores como las dimensiones del propio componente, teniendo en cuenta las limitaciones en carreteras o la accesibilidad al lugar de construcción, o su capacidad de almacenamiento para ahorrar espacio, tanto en almacén como en obra [3].

Otras condiciones que afectan a la logística de la construcción industrializada de la estructura, es la manejabilidad de los componentes, siendo de nuevo de capital importancia el peso de los mismos, pero también su resistencia intrínseca, ya que a menudo necesitarán ser izados y ubicados de forma precisa para proceder a su instalación definitiva. Para este proceso se precisa de maquinaria pesada y especializada en obra.

Los principales materiales empleados para fabricar componentes de estructura industrializada son el hormigón armado y el acero, teniendo este último ventaja sobre el anterior en los factores comentados de logística de transporte e instalación, ya que se trata de un material mucho más resistente y por lo tanto ofrece componentes estructurales más ligeros. Además, la estandarización de los distintos perfiles en acero es muy superior a la normalización de los fabricantes de prefabricado en hormigón, dificultando la combinación de productos de distintas marcas comerciales. No obstante, el hormigón armado presenta ventajas en otros muchos aspectos, como el de la resistencia a incendios, la durabilidad frente a agentes atmosféricos o marinos, y su idoneidad para estructuras de forjado. Sería absurdo e ineficiente producir una estructura superficial, como las de piso, completamente en acero, por eso el prefabricado en hormigón siempre tendrá presencia en la estructura industrializada. Además, el hormigón prefabricado se beneficia enormemente de las tecnologías de pretensado, pretesado y postesado, que explotan al máximo su capacidad resistente a compresión y aumentan las prestaciones a flexión de los elementos.

El mayor desafío estructural a la hora de construir el esqueleto del edificio de forma industrializada, es el asunto de las uniones entre elementos prefabricados, esenciales para la estabilidad del edificio. Es el punto débil del sistema por ser la única ejecución *in situ* que se realiza. Los métodos de combinación de miembros son diversos, dependiendo de la tipología estructural y el material, y cada uno con un nivel de rigidización determinado, desde los simples apoyos hasta las conexiones húmedas de empotramiento total.

Fig. 1.2. Construcción de superestructura industrializada en hormigón armado prefabricado.



1.2. El UHPFRC

¿Qué es?

UHPFRC responde al acrónimo de Ultra-High Performance Fibre-Reinforced Concrete, es decir, hormigón de ultra-altas prestaciones reforzado con fibras. Este material surgió en Francia, hace unos 25 años, como resultado de la combinación de numerosas investigaciones en tres líneas distintas [4]:

- Mejora de la resistencia y compacidad de los materiales cementosos, reduciendo intensivamente la relación agua/cemento gracias a los avances en superplastificantes y adiciones minerales.
- Uso de fibras de acero en la mezcla, proporcionando capacidad a tracción después de agrietarse. Las fibras lo convierten en un material pseudo-dúctil.
- Reducción de las imperfecciones naturales escogiendo agregados de alta calidad con gradaciones optimizadas y limitaciones de tamaño.



Fig. 1.3. Elemento de UHPFRC fracturado, en el que se observan las fibras de acero incorporadas en la matriz del material.

Material estructural

Las principales propiedades del UHPFRC, según la Asociación Francesa de Ingeniería Civil (AFGC), son las siguientes:

- Capacidad a compresión: 150 – 250 MPa.
- Capacidad a tracción: 7 – 12 MPa.
- Módulo de Young: 45 – 65 GPa.
- Encogimiento total: 550 – 800 $\mu\text{m/m}$.
- Consistencia en estado fresco: Autocompactante.

Estas propiedades demuestran las extraordinarias capacidades estructurales del UHPFRC, con una capacidad a compresión muy superior a la del hormigón tradicional, del orden de 4 a 5 veces más resistente, y con capacidad flexión, gracias a las fibras metálicas. Estas “micro armaduras”, delgadas y de apenas un par de centímetros de longitud, cosen las fisuras que recorren el hormigón cuando este se tracciona.

Fig. 1.4. Capacidad a compresión del UHPFRC (Ductal) en comparación con un hormigón convencional.

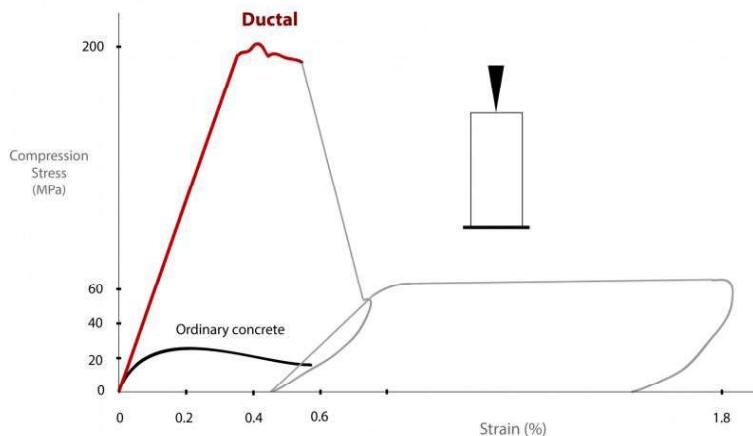
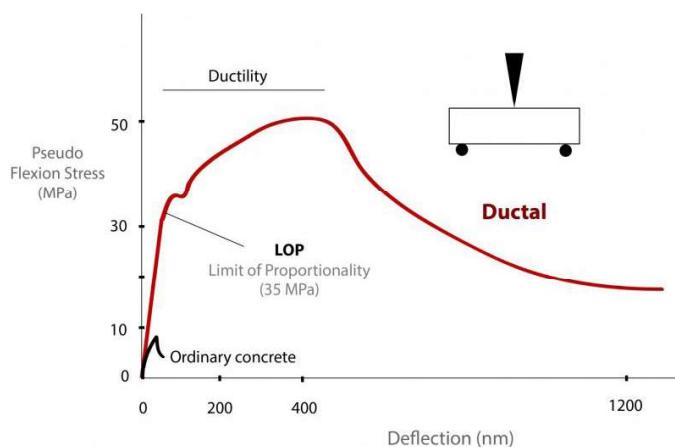


Fig. 1.5. Capacidad a flexión del UHPFRC (Ductal) en comparación con un hormigón convencional.



Además, la densificación de la matriz y la reducción de porosidad implican una enorme durabilidad, con parámetros, como la permeabilidad, un orden de magnitud superiores a los de un hormigón tradicional.

Estas características se traducen en las siguientes ventajas como material estructural:

- Secciones estructurales reducidas. Comparando con hormigón tradicional, piezas entre un 50-70% más ligeras. Esto supone una simplificación y un abaratamiento de los procesos de transporte y montaje.
- Diseño simplificado. En la mayoría de las situaciones el esfuerzo cortante es completamente asumible por la matriz cementicia y las fibras metálicas, eliminando armados pasivos. Además, las longitudes de adherencia se reducen considerablemente.
- Mayor vida útil de los elementos. Reducción o eliminación de los costes de mantenimiento.
- Valor estético. Estructuras esbeltas y con excelentes acabados superficiales.

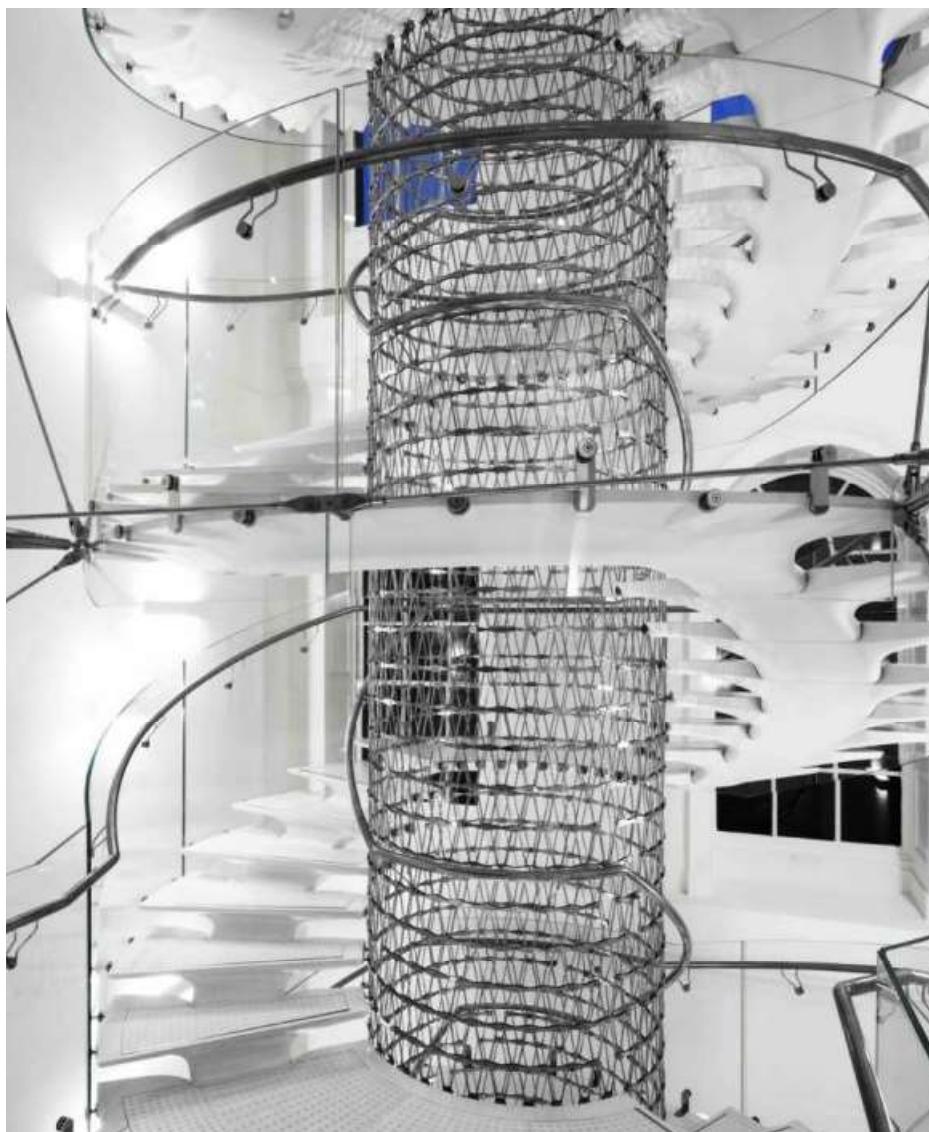


Fig. 1.6. Escalera de diseño con peldaños en UHPFRC (Ductal) pretensado.

Aplicaciones actuales

A pesar de sus numerosos atractivos como material constructivo, el uso del UHPFRC no está precisamente extendido alrededor del mundo. Esto se debe principalmente a dos factores, el económico y el de incertidumbre en normativa.

El precio por unidad de volumen del UHPFRC actualmente supera aproximadamente en 10 veces al del hormigón tradicional. Es cierto que el volumen empleado siempre va a ser inferior al que se utilizaría con un hormigón tradicional, y que el ahorro en mantenimiento también podría tenerse en cuenta, pero en la mayoría de las situaciones supone una inversión inicial no asumible por los promotores.

Respecto a las normativas que amparen el uso de este material, se están realizando muchos esfuerzos por crear un marco internacional común que normalice el cálculo y diseño estructural con UHPFRC. No obstante, aún hay mucha incertidumbre en este asunto, especialmente en países como el nuestro, en los que el UHPFRC no queda reflejado en ninguna normativa.

Otro factor que ralentiza el crecimiento de este material en la industria es el desconocimiento y la complejidad de sus métodos productivos. El hecho de incluir fibras en su mezcla hace que el tratamiento del UHPFRC sea distinto al de un hormigón convencional, en ocasiones requiriendo procesos o precauciones específicas.

Frente a estos «baches» en el camino del UHPFRC, son numerosos los agentes que se embarcan en proyectos de investigación sobre el material para abaratar la mezcla con nuevas fórmulas y usando materiales locales, desarrollar normativas y métodos de cálculo sólidos, y experimentar con los métodos de aplicación y fabricación. De entre estos proyectos el más reciente y relevante es el llevado a cabo en estos dos últimos años por el Precast/Prestressed Concrete Institute (PCI), en EE.UU. [5]: «Implementation of Ultra-High Performance Concrete in Long-Span Precast Pretensioned Elements for Concrete Buildings and Bridges».

A pesar de las limitaciones comentadas, el UHPFRC se ha demostrado un material efectivo para las siguientes aplicaciones:

- Productos de diseño: mobiliario urbano, escaleras (Fig. 1.6.).
- Prefabricado arquitectónico ligero: paneles en celosía para fachada, estructuras superficiales de cubierta.
- Refuerzo de estructuras existentes, «retrofitting».
- Conexiones en obra civil, vertido para juntas de elementos prefabricados.
- Componentes estructurales prefabricados para obra civil: vigas y tableros de puente, pasarelas.

Situación alrededor del mundo

En Europa tenemos una larga tradición en la ingeniería de materiales cementicios, especialmente en Francia, donde surgió el UHPFRC en los años 90. La marca comercial predominante en el mercado del UHPFRC, y heredera directa de los grupos que desarrollaron originalmente este material, es Ductal, de LafargeHolcim. A pesar de sus precedentes y del desarrollo de normativas propias, su uso extensivo actual se limita a prefabricados arquitectónicos ligeros de fachada y elementos de diseño o mobiliario urbano. Encontramos proyectos arquitectónicos emblemáticos para el UHPFRC, como el MuCEM, en Marsella, pero son obras muy puntuales. También se ha empleado en algunos proyectos de reparación de superficies de puentes, vertiendo una capa sobre el suelo deteriorado para reforzarlo e impermeabilizarlo [6], es el caso del Viaducto de Chillon, en Suiza. El «retrofitting» con hormigón de ultra-altas prestaciones también es una práctica relativamente habitual en países como el Reino Unido. Precisamente cerca de Londres encontramos un ejemplo de otro tipo de refuerzo estructural posibilitado por las prestaciones únicas del UHPFRC, en este caso como estructura de anclaje: postensando exterior de puente (Fig.1.7.). En el resto de Europa su utilización es anecdótica y experimental, aunque con resultados muy interesantes.

En España encontramos UHPFRC en aplicaciones muy concretas como las bateas o las pasarelas peatonales desarrolladas por RDC, ingeniería especializada en este material. Las investigaciones y propuestas de diseño más relevantes sobre estos materiales en nuestro país surgen de la Universidad Politécnica de Valencia, del entorno del profesor Serna Ros, para ser más concretos.

Tenemos que viajar hasta el sudeste asiático, en Malasia, para encontrar un uso extendido del UHPFRC como material estructural para puentes de nuevo diseño. Yen Lei Voo, creador de Dura Technology Sdn Bhd, ha revolucionado la industria de la construcción de infraestructuras de transporte en su país gracias a su marca comercial de UHPFRC, con la que fabrica componentes-viga pretensados en U, entre otros, optimizados y ligeros, con capacidad para cubrir grandes luces (Fig.1.8.). En Malasia emplean normativas desarrolladas en Francia para calcular estas estructuras.

En Norteamérica el UHPFRC se ha empleado anecdóticamente para la construcción de pasarelas peatonales y puentes de carretera, pero su uso extendido está enfocado en la reparación de infraestructuras deterioradas y el vertido para juntas de elementos prefabricados convencionales [7] (Fig.1.9.). En EE. UU., la Administración Federal de Carreteras lleva 20 años involucrada en proyectos de implementación del UHPC como tecnología en reparación y construcción de puentes. También nu-

merosas universidades del país colaboran en estas labores de investigación. En 2016, un grupo de especialistas, estadounidenses y de otros países también (España incluida, entorno de la FIB), viajaron a Malasia [8] para comprobar el éxito de las grandes estructuras construidas en UHPFRC pretensado. Estos investigadores quedaron asombrados y decidieron emprender el proyecto más ambicioso hasta el momento para implementar en EE.UU. el UHPFRC en la construcción industrializada de puentes y edificios con grandes luces. Este proyecto, dirigido por el PCI [5], finalizó en 2021 y sus resultados han sido imprescindibles para la elaboración del presente trabajo.

Fig. 1.7. Hammersmith Flyover. Refuerzo de puente con postensado exterior emplazado cajones de anclaje de UHPFRC (Ductal).



Fig. 1.8. Construcción de puente en Malasia, empleando vigas pretensadas en U de UHPFRC (Dura).



Fig. 1.9. Vertido de UHPFRC en junta de tableros prefabricados para puente en hormigón armado convencional.



1.3. Hipótesis y objetivos del trabajo

Hipótesis

Todo apunta a que en esta década el mercado del prefabricado estructural crecerá a un ritmo ascendente, por la tendencia del sector de la construcción hacia un modelo industrializado de la mano de las nuevas tecnologías digitales BIM. La estructura prefabricada tiene multitud de beneficios asociados a la reducción de los plazos de ejecución, la mano de obra y las labores a realizar *in situ*, una relación de costes más favorable, el menor impacto ambiental, el mayor control y la calidad final de los elementos [9].

No obstante, existen ciertas desventajas o limitaciones acompañando a este modelo de estructura. Destacan las limitaciones o encarecimiento del transporte e instalación por el peso elevado de los componentes, requiriendo medios especiales y maquinaria pesada. También en relación con esto, y especialmente en hormigón prefabricado [10], los miembros estructurales pueden sufrir daños fácilmente en los procesos desarrollados entre su producción y su ubicación final. Por último, está el aspecto estético, es un asunto subjetivo, pero parece que hay consenso en la afirmación de que la apariencia de las estructuras industrializadas dejan algo que desear para el arquitecto.

En este contexto de expansión de la construcción industrializada, «descubrimos» el UHPFRC, un material que parece creado para ser empleado en la estructura prefabricada arquitectónica: por sus altísimas prestaciones resistentes, que le permiten formar componentes duros, delgados y ligeros, por la incorporación de fibras de acero en su mezcla, que permite la eliminación de armados pasivos, por su imbatible durabilidad, que reduce los costes de mantenimiento al mínimo, y por su calidad estética, tanto de acabado superficial como de esbeltez general de las formas conseguidas en fábrica.

Por todo ello, la hipótesis que se expone en este trabajo plantea la incorporación del UHPFRC como material de producción de elementos prefabricados estructurales de edificación en los próximos años. Gradualmente, y gracias a los grandes esfuerzos realizados por agentes como el PCI, el UHPFRC será más accesible para el sector constructivo eliminando las barreras económicas y de incertidumbre normativa. Se abrirá así un nuevo horizonte para la construcción industrializada, con un material que parece diseñado para reinar en el prefabricado.

Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es explorar los diseños creados hasta la fecha de componentes estructurales prefabricados en hormigón de ultra-altas prestaciones reforzado con fibras, con especial atención a la sección del elemento.

La intención es entender las formas y configuraciones adoptadas por el material para servir a cierta tipología estructural, y así vislumbrar como será el lenguaje estructural, la espacialidad y las posibilidades estéticas de la arquitectura industrializada del futuro. Se pretende obtener una comparación gráfica con los sistemas prefabricados actuales.

También se quieren observar sus debilidades frente a una hipótesis de trabajo optimista respecto al material.

Metodología del trabajo

En la primera parte del trabajo - Capítulo 2. Elementos estructurales prefabricados en UHPFRC -, se elaborará una recopilación de los diseños de elementos prefabricados encontrados por el autor, seleccionando los que considera más relevantes de cara a una estructura de edificación industrializada con este material.

Los elementos estarán clasificados según las siguientes categorías de estructura primaria: cimientos / contenciones / soportes / vigas / estructuras de piso.

Se indicará el autor o el proyecto del que se extrae cada diseño, e irán acompañados de una breve explicación justificando constructiva y estructuralmente la solución en UHPFRC. Todos los diseños se redibujarán con la misma representación gráfica, siendo, en la mayoría de los casos, la sección transversal del elemento el documento relevante en esta colección. Esta sección del elemento en UHPFRC podrá compararse con la misma de su homólogo más representativo en prefabricado de hormigón tradicional y/o acero para facilitar la comparativa entre soluciones.

En la segunda parte del trabajo - Capítulo 3. Sistemas estructurales industrializados en UHPFRC -, se analiza un ejemplo concreto de sistema estructural de edificación compuesto por elementos prefabricados en UHPFRC y se comentan las principales características de los modelos de estructura industrializada en este material.

