

## LOS CONCRETOS ULTRA RESISTENTES (UHPC)

*A continuación se explicará la tecnología de este material (UHPC) para observar sus propiedades de manejo y colocación a través de la primera aplicación: el puente peatonal de la Paz, en Corea del Sur.*

Las ventajas del concreto como material plástico y escultural han hecho que los diseñadores de puentes lo tengan siempre en cuenta para su concepción. Basados en esta preferencia, las investigaciones sobre este material se han orientado a superar su limitante: los elementos en concreto reforzado convencional



Vista lateral Puente de la Paz

tienen restricciones cuando se trata de salvar grandes luces debido a su exigencia en esbeltez, propiedad que también es limitada por los requerimientos mínimos de recubrimiento del refuerzo por protección y la prevención de agrietamientos del material. Adicionalmente, el peso propio de elementos de gran luz puede generar eventuales complicaciones desde el punto de vista estructural.

Todo esto ha venido cambiando, primero con el desarrollo del preesforzado, luego con los concretos de alto desempeño y de polvo reactivo. Ahora, la tecnología de los concretos ultra resistentes (ultra high performance concrete-UHPC) genera la posibilidad de construir elementos que cumplen combinar bajo espesor, alta resistencia y ligereza.

A continuación se explicará la tecnología de este material, para observar enseguida sus propiedades de manejo y colocación a través de su primera aplicación: el puente peatonal de la Paz, en Corea del Sur, recientemente terminado.

### TECNOLOGÍA DEL MATERIAL

El UHPC está basado en el principio de minimizar defectos como las microfisuras y los vacíos, para lograr un mayor porcentaje de la carga última potencial e incrementar sustancialmente la durabilidad.

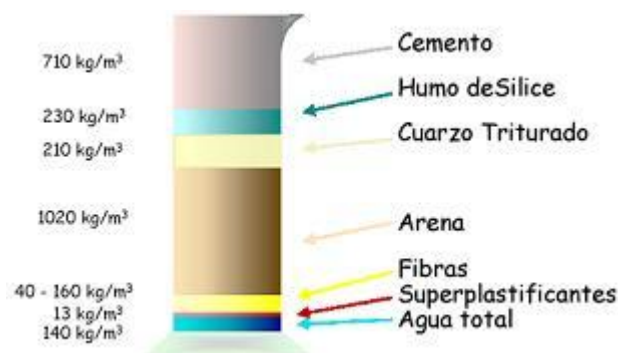
Al generar una mezcla mucho más densa, a través de la eliminación de los agregados de mayor tamaño y la optimización de la masa granular, se obtiene una matriz con alta fuerza de compresión por encima de los 180 Mpa. Si a esto se agrega la aplicación de un tratamiento de curado mediante calor, se obtienen mejoras de la microestructura del material e incremento de la resistencia a la

compresión hasta más de 200 Mpa. Este tratamiento de calor hace que a partir de este momento el material sea estable y exhiba sólo tensiones diferidas menores.

## COMPONENTES

Este material se compone de una mezcla de cemento, materiales pétreos cuidadosamente granulados, sílice, agua, fibras de acetato de polivinilo y un aditivo superfluidificante que da al concreto sus cualidades dúctiles.

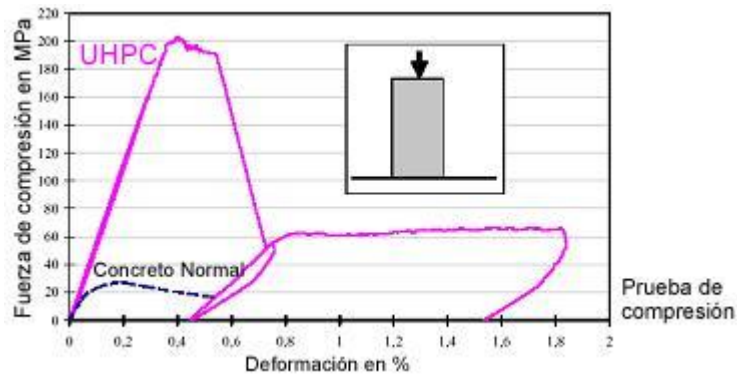
Composición en peso de UHPC:



## PROPIEDADES

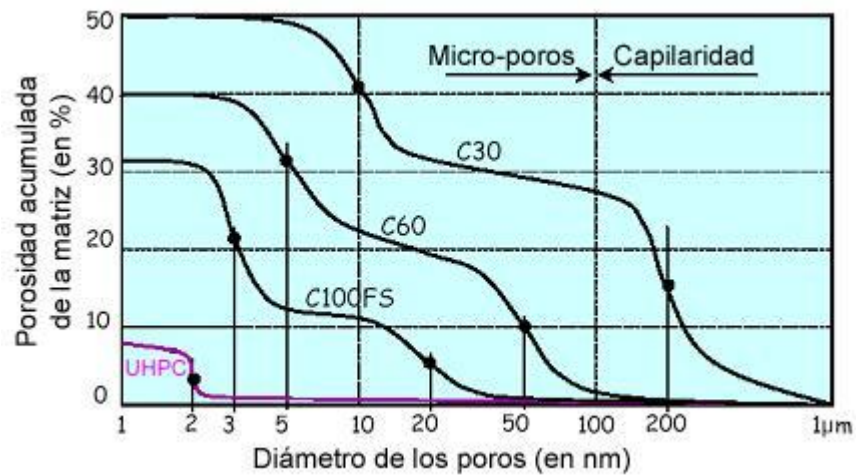
- Alta compresibilidad y fuerza a flexión (10 veces la resistencia de un concreto convencional).
- La ductilidad intrínseca y la resistencia a la flexión permiten el diseño de estructuras diseñadas sin ningún refuerzo pasivo y con elementos de espesores reducidos.
- Aumentos sustanciales en su resistencia a la tensión.
- Resistente a la abrasión, al mal tiempo y a la cizalladura en igualdad con el granito.
- Sus características de durabilidad garantizan un menor mantenimiento y lo convierten en un material prácticamente impermeable.
- Es perfectamente adaptable a las formaletas de diferentes texturas.
- La matriz fina, que puede ser tan lisa como la del mármol acabado, permite que los arquitectos creen diversas texturas.
- Estéticamente agradable.

## Relación esfuerzo de formación: Concreto convencional y UHPC



La porosidad baja del UHPC, entre 1 y 2%, lo hace casi impermeable. Esto se traduce en capacidad para soportar daños del agua o de productos químicos. En pruebas de laboratorio, el UHPC ha demostrado ser resistente al agua salada. La durabilidad se debe traducir en estructuras que duran más largo tiempo y que requieren menos mantenimiento durante el transcurso de su vida.

Gráfica que refleja la baja porosidad del UHPC:



El primer uso del UHPC para una escultura fue el Arbre Martel. Esta réplica de una escultura cubista de 1925 fue construida por Jean y Joel Martel y está ubicada en Boulogne-Billancourt en las afueras de París. El árbol de 9,1 m de altura, construido sin ningún refuerzo de acero, es una estructura pretensada con fibras.

<b>PROPIEDADES DEL UHPC EN CIFRAS</b>	
Resistencia a la compresión	180 - 230 Mpa
Resistencia a la flexión	32 - 50 Mpa
Resistencia a la tensión	6 - 8 Mpa
Módulo de elasticidad	50 000 MPa
Aire comprimido	2 - 4%
Retracción	500 µm/m
Capilaridad	<1%
Fluidez (Cono de Abrams)	500 - 700 mm.
Capilaridad	<1%

- Perfeccionamiento de las propiedades de durabilidad
- Estabilización dimensional (después del curado al vapor, la retracción total es nula)
- Aumento de las características mecánicas (+15%)

#### **NORMATIVA**

Las recomendaciones de uso del UHPC, de las cuales se tiene conocimiento, se publicaron a mediados del año 2002. Fueron establecidas por el grupo de trabajo BFUP- Béton Fibré Ultra Performant, de Francia y coordinadas por Road and Traffic Governmental Agency.

#### **EL PUENTE DE LA PAZ**

##### **Ficha Técnica**

Diseño: Arq. Rudy Ricciotti

Construcción: Dongyang:

Subcontratistas construcción de arco: Bouygues Travaux Publics

Tensionamiento: VSL-Intrafor

El puente de Seonyu en Seúl, Corea de Sur, también llamado "Puente Peatonal de la Paz", es la primera estructura construida totalmente con UHPC. Inaugurada a mediados del 2002, comunica la ciudad de Seúl con la isla de Seonyu en el río de Han.

La estructura arqueada es parte de un proyecto para transformar la isla de Seonyu en un parque urbano. Concebido en común por la ciudad de Seúl y por el Comité Francés del año 2000 para conmemorar el nuevo milenio, la obra simboliza la cooperación y amistad entre Corea del sur y Francia. El parque y el puente peatonal

habilitaron la isla hacia finales del 2002 para recuperar su belleza anterior y atraer nuevamente al turismo interno.

## **OPINIÓN DEL ARQUITECTO**

“Esta tecnología va a conducir a cambios radicales y mejoras, así como lo hizo el concreto en sus inicios en comparación con la piedra, y el concreto postensionado lo hizo en comparación con el concreto reforzado. Es una revolución de la misma magnitud. Imagine la reacción del constructor de una catedral en el siglo 18, que tenía que confiar en piedras angulares, si se le mostrara el concreto reforzado! Nosotros estamos cambiando los elementos. Estamos rompiendo la sólida barrera. El arquitecto y el ingeniero están regresando hacia el arco, para trabajar involucrando compresión, que significa fuerzas complejas que hasta ahora han requerido de grandes secciones. El UHPC es capaz de resistir compresión muy fuerte, y aún así es muy dúctil. Construir con él exige mucha habilidad y conocimientos.”

## **PROCESO CONSTRUCTIVO DEL ARCO**

La longitud total del puente es de 430 m; el arco delgado cubre una luz de 120 m y una altura libre de 15 m sin refuerzo pasivo; está hecho de seis secciones, de 20 m de largo y 1,3 m de alto. El arco tiene una sección transversal en forma de p, que consiste en una losa superior transversal acanalada de 4,3 m de ancho y 3 cm de espesor, y dos almas de 1,23 m de altura por 16 cm de espesor, proporciones imposibles de lograr con un concreto convencional. Los UHPC no sólo alcanzan resistencias equivalentes a casi 10 veces las de un concreto convencional, sino que son altamente durables, llevando a ahorros sustanciales en costos durante su vida.

Figura 5: Sección transversal del puente



### **El preesforzado**

En la dirección longitudinal, la estructura es pretensada por tres tendones por alma. Según el diseño, los tendones de abajo están conformados por 9 torones y los superiores por 12. Después de la realización de la fase de tensado, todos los tubos por donde van cada uno de los tendones son rellenados con lechada. Este proceso se denomina torón adherido

### **Fundida de los segmentos**

Los segmentos tienen una forma complicada, por lo el diseño de una formaleta requirió mucho trabajo. Después de pruebas se fabricó un molde metálico con extremos son adaptables para que diafragmas de diferentes formas pudieran ser fundidos.

- Los segmentos, entre 20 y 22 m de longitud, se curvan generando una inclinación a sus extremos de más de 8%.
  - Debido a que el UHPC es un material autocompactante, fue necesario usar tapas de acero en los extremos de cada uno de los segmentos.
  - Con el fin de conseguir una calidad uniforme en la superficie de la placa, se decidió cubrir el molde entero. Y con el fin de permitir la salida de aire atrapado se agregó un dispositivo en la formaleta.
  - Gracias a la ductilidad del concreto, el arco tiene mayor capacidad para deformarse y para soportar cargas de tensión y flexión, incluso después del agrietamiento inicial.

En casos particulares, la vibración leve puede ser necesaria para facilitar el relleno del encofrado. La vibración se aplica a través de vibradores fijados a las caras externas del encofrado.

- **Curado**

Después de fundido, el segmento es curado al vapor a 90 °C durante 48 horas, controlando la temperatura y disminuyéndola lentamente para prevenir posibles choques térmicos.

- **Izado de elementos**

Cada uno de los 6 segmentos es izado utilizando 5 apoyos temporales en el río. El ensamblaje es realizado utilizando el debido tensionamiento longitudinal y el llenado de juntas con UHPC.

**Detalle del proceso constructivo:**



**Etapa final: instantes después de haber fundido el segmento central**



La eliminación del refuerzo pasivo y la reducción del espesor mejora las condiciones de instalación del segmento, lo cual proporciona mayor seguridad y velocidad.

### El acabado

- Se evitaron ángulos afilados y se agregaron llaves a las formaletas para evitar que estas se abrieron por las presiones del concreto.
- Con el fin de no bloquear la retracción plástica del material, las formaletas fueron revestidas en su parte interior con poliestireno.
- Se utilizaron encofrados precisos.



- El UHPC permite reproducir la micro y la nano-textura del molde, produciendo superficies de alta calidad y belleza.

### · Control de vibración

Las frecuencias naturales calculadas del arco están dentro del rango de valores que podrían incomodar el paso de las personas. Con el fin de amortiguar las vibraciones de los modos siguientes a la frecuencia natural causada por un peatón se implementó un sistema de TDM (Tuned Mass Dampers).



### CONCLUSIÓN

Todavía en sus inicios, el potencial de los concretos ultra resistentes está aún por ser descubierto. Pero de acuerdo a su desarrollo, no pasará mucho tiempo antes de que veamos un puente en UHPC que sobrepase el récord actual para una luz y que gracias a las ventajas que presenta el material, esta tecnología de concreto sea más competitiva que la de otros materiales para ciertas estructuras. Las propiedades de UHPC dieron la posibilidad de diseñar un puente arquitectónico en donde las características de esbeltez del arco dan un aspecto elegante al puente peatonal.



## BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES

- "Slender Arch, High-tech Leap:The Peace Footbridge in Seoul", News, VSL -INTRAFOR Magazine, one, 2002.
- "Frequently Asked Questions", Introduction to Ductal®, Development Department; 2003.
- BEHLOUL Mouloud, ETIENNE Denis, MAILLARD Michel, "Ductal® Seonyu footbridge TMD for better comfort", Footbridge 2002, Congreso Internacional de Puentes peatonales", París, Francia, noviembre, 2002.
- "Concrete, but not as we know it", International Construction magazine, July/August, Vol 41, N°6, 2002.
- Ing. Alberto González. VSL-International
- ["Delgado pero resistente"](#). Última visita: marzo de 2003.



Inauguración Puente de la Paz