

APLICACIONES DE HORMIGÓN RECICLADO:
- PREFABRICADOS VIBROCOMPRESOS: ADOQUINES.
- MOBILIARIO URBANO.

PASTOR

Fundación Rafael Escolá

0.- PRESENTACIÓN

Desde hace tres años, Xavier Espinar Albertí (ingeniero industrial), ha llevado a cabo un proyecto de investigación para conseguir fabricar piezas de hormigón vibrocomprimido usando áridos reciclados mixtos. El trabajo, que se ha llevado a cabo en las instalaciones de la empresa Pastor SA (fábrica de prefabricados para la construcción) de Santa Margalida, Mallorca, ha gozado, en los dos primeros años, de una beca I+D+i de la Fundación Rafael Escolá. Durante el último año de investigación ha sido posible ejecutar en obra pavimentos con adoquines de hormigón reciclado.

Desde 2009, en Pastor SA, se han empezado a fabricar prototipos de mobiliario urbano de hormigón con áridos reciclados.

Además, Pastor SA, empieza a fabricar otros prototipos de pequeños prefabricados de hormigón reciclado sin armadura.

RESUMEN

Con el objetivo de hallar un uso en hormigón al árido reciclado producido en las plantas trituradoras de escombros de Mallorca o similares, se ha investigado en la fabricación de prefabricados vibrocomprimidos. La idea nace de la voluntad de cerrar el ciclo de los RCDs (Residuos de Construcción y Demolición) de manera adecuada. La familia de los vibrocomprimidos comprende el conjunto de pequeños prefabricados hechos con máquina ponedora o compactadora. Ejemplos: bloques, adoquines, baldosas, losas, bordillos, ríngolas, bovedillas, cajetones, encofrados perdidos, etc. El árido reciclado de Mallorca (Mac Insular) tiene algunos inconvenientes asociados a su heterogeneidad y al contenido de impropios y contaminantes. Ante estas características la investigación se ha centrado en pequeños prefabricados sin armadura y en hormigón seco. Se han caracterizado los áridos reciclados. Se han diseñado las dosificaciones con árido reciclado. Se han fabricado y ensayado probetas vibrocomprimidas con las dosificaciones calculadas. Se fabricaron bloques de hormigón y adoquines con un 100% de árido reciclado y fueron ensayados a rotura. Se construyó un pavimento piloto con adoquines 100% reciclados y se está estudiando su evolución en servicio y expuesto al clima, siendo bastante satisfactorios los resultados obtenidos de esta experiencia. Al observarse la bondad de comportamiento del vibrocomprimido reciclado se ha procedido recientemente a la construcción del primer adoquinado piloto en obra real en el municipio de Alcudia (Mallorca).

Se empiezan desarrollar recientemente piezas para mobiliario urbano utilizando también áridos reciclados propios.

1. INTRODUCCIÓN

Existen numerosos trabajos de investigación realizados sobre la fabricación de hormigón reciclado. Ninguno de ellos concluye favorablemente para dosificaciones superiores al 20% de árido reciclado. Estos trabajos están centrados en hormigones fluidos para obra. Pocas investigaciones han indagado hasta hoy en el estudio de prefabricados de hormigón con árido reciclado. Tampoco existe ninguna publicación sobre el vibrocomprimido (convencional o reciclado). Por tanto podemos decir que la

investigación que nos ocupa es innovadora por partida doble. La ausencia de estudios sobre el vibrocomprimido es debida al carácter industrial de su proceso de fabricación. La Ingeniería Civil estudia el hormigón. La Ingeniería Industrial se centra en otros materiales y procesos. El vibrocomprimido responde a un proceso industrial con un material propio de la Ingeniería Civil. El secretismo industrial, cuánto a dosificaciones y procesos se refiere, ha favorecido esta situación. Ante este vacío en el estado del arte se decide centrar la investigación en el vibrocomprimido. Se trata de buscar un hormigón que admita el árido reciclado como materia prima y no como agregado testimonial o adición. En principio la ambición del proyecto pretende llegar a una dosificación rica en reciclado. Se busca en el vibrocomprimido un hormigón seco que admita unas características como las del árido reciclado disponible en Mallorca. Se centra el estudio en los adoquines, por sus características geométricas y mecánicas.

Ante el intrínseco know-how de una empresa de prefabricados en materia de mobiliario urbano, Pastor apuesta por la aplicación de hormigones reciclados en esta familia de prefabricados. Por ello Pastor está empezando a desarrollar la técnica para fabricar piezas para mobiliario urbano reciclado. Se han llevado a cabo las primeras pruebas piloto.

La filosofía yace en asignar a usos de baja exigencia mecánica los hormigones con árido reciclado que, por sus características, no pueden trabajar como materiales estructurales.

Todo entorno urbano se halla dotado de gran cantidad de piezas que pueden ser consideradas de esta índole: desde balizas de cierre de calles peatonales hasta decoración de coronación de muretes, pasando por cerramientos de jardinería, además de un largo etcétera.

2. PROBLEMÁTICA DEL ÁRIDO RECICLADO DE MALLORCA SU POSIBLE USO EN HORMIGONES

La elevada heterogeneidad de los áridos reciclados mixtos, como son los producidos en Mallorca, implica un contenido de impropios y contaminantes que influyen negativamente en los hormigones fluidos. Por lo que en principio se desaconsejaría su uso para aplicaciones en hormigón. Por ello se procura hallar la cabida de este árido en hormigones secos vibrocomprimidos.

La durabilidad representa el factor más problemático. Se ve perjudicada por la posible fisuración. El contenido de contaminantes, en el árido reciclado, que pueden desencadenar reacciones que acaben en fisuración en hormigones fluidos es de una magnitud variable, aunque medianamente baja. Esta fisuración se acota especialmente como problemática, sobretodo cuando estos hormigones tienen que ser estructurales o cuando su servicio represente exigencias elevadas. En el caso de adoquines (y en el de otros pequeños vibrocomprimidos), en aplicaciones públicas puramente peatonales u ornamentales en parques y jardines, una mínima fisuración no representaría un estado que perjudique el servicio del elemento constructivo. De momento, pasados dos años de la primera experiencia piloto, no se ha manifestado fisuración alguna. Cabe señalar que la fisuración es una característica común en la casi totalidad de este tipo de pavimentos, observándose que siguen cumpliendo con su cometido de servicio adecuadamente.

Se ha decidido estudiar este tipo de hormigón con la intención de poder encontrar un hormigón que permita incluir un % mayor de reciclado del que hasta el momento han incluido las investigaciones para otros tipos de hormigón.

Las ventajas de utilizar áridos reciclados en el prefabricado vibrocomprimido son:

- Son piezas que no llevan armaduras.
- La baja fluidez no es una propiedad limitante, sino deseable, de la trabajabilidad de este tipo de hormigón y por lo tanto los efectos de la adición de los finos del árido reciclado no acarrearán los problemas de trabajabilidad, ya conocidos en dosificación de los hormigones fluidos, debidos a estos finos.
- Los prefabricados vibrocomprimidos presentan un amplio abanico de piezas de uso común y mayoritario.
- Poder optar por prefabricados de menores exigencias mecánicas y estructurales.
- Usar moldes de precisión más elevada.
- Tener mayor control sobre las variables en la fabricación.

FABRICACIÓN Y ENSAYO DE PROTOTIPOS VIBROCOMPRIMIDOS

Se fabricaron y ensayaron los primeros prototipos: adoquines 12,5x25x8, 10x20x8 y bloques 40x20x20 (Fig.9). Fueron todos fabricados con un 100% de árido reciclado. Los ensayos fueron los normativos [4][5]: compresión simple para los bloques, compresión lineal para los adoquines y configuración dimensional para los dos tipos de piezas. Cuánto a la configuración dimensional, se concluye que no hay retracción significativa y que las tolerancias dimensionales se mantienen correctas según normativa. El árido reciclado se compacta bien en el proceso de vibrocompresión. Los bloques fueron fabricados y ensayados a modo de probeta, con el fin de obtener una medida real de resistencia a compresión de un hormigón reciclado fabricado en planta. Los valores de compresión de los bloques y los ensayos a compresión lineal de los adoquines resultan, siendo fabricados con un 100% de árido reciclado, aceptablemente satisfactorios.

TABLA III
RESISTENCIAS DE LOS HORMIGONES RECICLADOS DE FÀBRICA:
BLOQUES Y ADOQUINES

<i>BLOQUES</i>	<i>RESISTENCIA (MPa)</i>	<i>ADOQUINES</i>	<i>RESITENCIA (MPa)</i>
<i>100% Reciclado</i>	<i>R. deseada > 12MPa</i>	<i>100% Reciclado</i>	<i>R. deseada (> 3,6)</i>
SÈRIE 1	10,5	SÈRIE 1	3.1
SÈRIE 2	12,5	SÈRIE 2	3.2
SÈRIE 3	11,5	SÈRIE 3	3.2

PAVIMENTO PILOTO DE ADOQUINES RECICLADOS, ESTUDIO DE DURABILIDAD.

Ante los resultados obtenidos se decidió construir un pavimento piloto de adoquín reciclado para observar su comportamiento. Pasados dos años se observa su buena resistencia al paso del tiempo en servicio y expuesto al clima. No presenta fisuración y presenta algunos desconchones, aunque mínimos, por el tráfico rodado de maquinaria de la fábrica (Fig.10)



Fig. 9: Ensayo de bloque reciclado.



Fig. 10: Estado actual adoquinado piloto.

PAVIMENTO EN OBRA REAL: PRIMERA PRUEBA PILOTO EN SERVICIO

Observando el buen comportamiento del pavimento piloto se decide empezar a realizar un pavimento piloto experimental en obra real. De este modo se puede exponer el adoquinado a situaciones de servicio público y analizar su comportamiento en un escenario real.

Las recientes reformas correspondientes al entorno peatonal de la iglesia de Alcudia (Mallorca) han permitido la construcción de una franja peatonal de 300m². Esta intervención se ha ejecutado con adoquines reciclados fabricados en doble capa. La capa gruesa de 8cm ha sido dosificada con un 100% de áridos reciclados. La doble capa, con una huella de 2mm, se ha fabricado con mortero natural: cemento blanco con árido fino calcáreo y de sílice. Se ha dotado de una doble capa a estos adoquines para poder darles el color deseado por la dirección técnica de la obra (Juan José Lemm, Ingeniero de Caminos). Ante las observaciones de comportamiento del adoquinado piloto, se ha decidido fabricarla con aportación de sílice para mejorar las características a desgaste de la superficie del pavimento.



Fig. 11: Pavimento de 300m² con adoquines reciclados, Alcudia.



Fig. 12: Detalle de pavimento y adoquín reciclado.

MOBILIARIO URBANO CON ÁRIDOS RECICLADOS

La última etapa comenzada por Pastor en su carrera de I+D+i en hormigones reciclados nace para dar continuidad a la apuesta en diseño urbano sostenible empezada con los adoquines. Se están fabricando como prototipos, desde principios de 2009, bancos de hormigón reciclado para mobiliario urbano. Se está usando, como fracción fina para estos hormigones, árido 0-8mm de planta trituradora (el mismo que se usa para la fabricación de los adoquines). Como fracción gruesa se usan recortes, triturados en Pastor S.A., de su sección de marmolería. De este modo se recicla gran parte de los residuos de la propia fábrica. Estos áridos reciclados por Pastor S.A. tienen una granulometría de 8-16mm. De este modo, y dosificando al 50%, la continuidad de la curva granulométrica queda garantizada. Este hormigón, siendo en la práctica 100% reciclado, tiene unas características mecánicas superiores. El motivo es que los áridos provenientes de marmolería (granitos y rocas metamórficas) tienen una resistencia a compresión muy superior a los áridos naturales calcáreos disponibles en Mallorca. De todos modos se está optando por diseños sencillos y no comprometidos estructuralmente, aunque también se realizan algunas pruebas de comportamiento para diseños más complejos. El objetivo de este nuevo proyecto es el de hallar una familia de piezas de mobiliario urbano para poder fabricar sin dificultades en hormigón reciclado.



Fig.13: Prototipo banco reciclado cúbico. Fig.14: Prototipo banco rec. con luz.

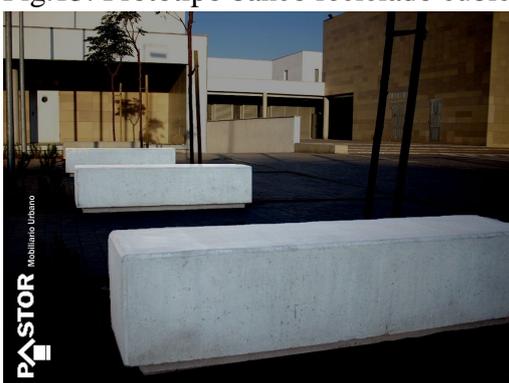


Fig.15: Prototipo banco rec. Prismático. Fig.16: Prototipo baliza esférica rec.