



## SOSTENIBILIDAD:

### Rehabilitación y reciclado de pavimentos de concreto con el empleo de vibración resonante

**E**n el escrito se presenta una descripción técnica e ingenieril de la tecnología de triturado/pulverizado Rubblizing de pavimentos rígidos, así como los resultados de las primeras experiencias realizadas en Chile. La tecnología del Rubblizing se define como una técnica que fractura el pavimento de concreto en trozos angulares y entrelazados usando una máquina de vibración resonante, lo que permite transformar el concreto en un material granular de alta calidad. Esta técnica puede ser utilizada en la rehabilitación y demolición de pavimentos rígidos.

La primera experiencia chilena fue realizada a fines del año 2004. Una sección de prueba de 300 metros se construyó en la ruta 60 Ch, que es la principal conexión vial entre Chile y Argentina a través de la cordillera de Los Andes. La sección de prueba fue materializada

en un sector que según el proyecto de ingeniería original consideraba la intervención con una base granular intermedia (recarpeteo). Así es posible comparar las alternativas en términos de tiempo, de construcción, costos directos y comportamiento.

Las alternativas en estudio definían en el caso del recarpeteo de 5 cm de una capa de asfalto 1, y 7 cm de capa de asfalto 2; sobre 15 cm de base granular (CBR > 80%) y 20 cm de pavimento de concreto existente. En el caso del Rubblizing se trabajó con 5 cm de capa de asfalto 1 y 5 cm de capa de asfalto 2, sobre 20 cm de pavimento de concreto pulverizado/triturado. La primera comparación fue hecha en términos de tiempo de construcción para cada alternativa, considerando largos similares de proyecto. Evaluando sólo el tiempo que fue usado estrictamente en el proceso de construcción, la alternativa de Rubblizing

demoró menos de tres días y el recarpeteo siete días. También la reconstrucción fue evaluada en términos de tiempo de construcción; la que se estimó en aproximadamente tres semanas de duración.

Un segundo análisis fue realizado evaluando los costos directos de las diferentes alternativas, usando costos actuales de referencia. En este caso, la alternativa del Rubblizing resultó más económica comparada con el recarpeteo y la reconstrucción.

En un tercer análisis se compararon las alternativas desde el punto de vista del comportamiento. Desafortunadamente, cuando el camino fue liberado al tránsito, una lluvia primaveral intensa se produjo en la zona del proyecto por tres días. Los sistemas de drenaje diseñados no fueron suficientes; lo que provocó la saturación de la capa granular del recarpeteo por un tiempo extendido; mientras era solicitado por las pesadas cargas de tránsito. De la misma manera, la sección de prueba con la alternativa del Rubblizing fue sometida a las mismas condiciones de lluvia y tránsito. El drenaje de la sección pulverizada fue excelente, y resistió sin inconvenientes la intensa lluvia a la que fue sometida.

El último análisis realizado en las primeras pruebas chilenas fue un ensayo granulométrico de la mitad superior del material pulverizado. Este está compuesto aproximadamente de 15% de arena y 85% de granular. Basado en estos resultados el material pulverizado puede ser usado directamente en otras aplicaciones (bases, sub-bases, rellenos) sin una trituración adicional. La experiencia permitió demostrar que la técnica del Rubblizing es más económica, reduce los plazos de construcción y mejora el comportamiento de la recarpetea. Otro tramo de prueba aplicando el Rubblizing como técnica de demolición permitió además comprobar su alto rendimiento, la baja emisión de ruido y que el material resultante es fácil de reciclar en planta. **C**



Por I. Eduardo de J. Vidaud Quintana

Ingeniero Civil  
Maestría en Ingeniería

Su correo electrónico es:  
evidaud@mail.imcyc.com

**REFERENCIA:**

Thenoux G., et al. "Rehabilitación y reciclado de pavimentos de hormigón utilizando tecnología de vibración resonante (rubblizing)", publicado en XV Jornadas Chilenas del Hormigón, 2005.



## CONCRETO RECICLADO:

### Estudio de los módulos de elasticidad en concretos autocompactantes elaborados con agregado reciclado

**E**n este escrito se presentan los resultados de un estudio desarrollado en España, en el que se evalúan los módulos de elasticidad: estático y dinámico de concretos reciclados autocompactantes (CRA) estructurales, elaborados con agregados procedentes de los rechazos en prefabricación.

En este caso se tomó como variable la sustitución de la fracción gruesa del agregado en porcentajes del 20, 50 y 100%, y su relación con el concreto de control. Fueron utilizadas en la investigación tres metodologías de ensayo para la determinación de los distintos módulos de elasticidad, relacionando los resultados con los valores presentados por diversos autores; en dependencia con la resistencia a compresión, densidad y su correspondencia con los valores experimentales. En la investigación se emplearon agregados reciclados (AR) procedentes de piezas prefabricadas desechadas en el propio proceso de prefabricación, las cuales garantizan concretos con resistencias mínimas de entre 30 y 50 MPa, sin estar sometidas a ningún proceso de contaminación. Se trabajó con mezclas de cemento Portland, aditivadas con superplastificante a base de policarboxilatos y filler calizo.

La fabricación del AR se realizó con una trituración previa de todas las piezas mediante pinza o martillo percutor hasta conseguir tamaños máximos de 30 cm, realizando una segunda trituración con cuchara hasta reducirlos a un tamaño de 0 a 5 cm. Con el agregado exento de acero se realizó un nuevo proceso de trituración mediante molino y cribado con cinta, seleccionando mediante tamizado únicamente la fracción 4/12, la cual se sometió a un proceso de lavado. Los agregados naturales empleados para la fabricación de la totalidad de los elementos prefabricados, así como para la fabricación de los concretos en estudio, presentaban como componentes principales: calcita, cuarzo, fragmentos de roca (caliza, cuarcita, metarenisca, chert, pizarra y granito). Se experimentó con probetas en estado seco, previamente curadas en cámara húmeda y mantenidas en condiciones ambientales de laboratorio 48 horas, y con probetas saturadas en agua.

Los ensayos realizados siguieron las normativas: UNE 83.316.96 "Determinación del módulo de elasticidad en compresión"; UNE 83.316.96, para la determinación del módulo de elasticidad en compresión, así como para la determinación de los módulos dinámicos por el método basado en la velocidad de propagación de una onda de ultrasonidos según UNE-EN 12504-4:2006 y ASTM C-215-08 "Standard Test Method for Fundamental Transverse, Longitudinal, and Torsional Frequencies of Concrete Specimens".

La investigación arrojó que el CRA elaborado presenta pérdidas en los valores de módulos de deformación estáticos y dinámicos, a medida que aumentan los porcentajes de AR sustituido, con valores máximos del 20% respecto al concreto de control, para sustituciones del 100% de la fracción gruesa de agregado. Comparando los resultados obtenidos para sustituciones del 100% de la fracción gruesa con respecto al concreto de control con cada uno de los tres tipos de ensayos realizados, los porcentajes de descensos de módulo han sido muy similares en los tres ensayos, con desviaciones inferiores al 20% en los porcentajes de pérdidas para cada una de las dosificaciones estudiadas. Al analizar los valores de módulos de deformación dinámicos obtenidos con las dos metodologías de ensayos realizados, las desviaciones en los valores de módulos dinámicos son inferiores al 10%. Estos valores evidencian la posible correlación en cuanto a las distintas metodologías de ensayo para los HR, incluso con sustituciones del 100% de la fracción gruesa de agregado por AR.

Dada la simplicidad en la ejecución de los ensayos para los módulos de elasticidad dinámicos frente a los estáticos, tanto el realizado mediante la medición de la velocidad de propagación de una onda de ultrasonidos y la aplicación de la fórmula que relaciona la velocidad de propagación de onda longitudinal con el módulo de elasticidad dinámico del profesor Fernández Cánovas, como el método basado en la frecuencia de resonancia de una pieza y las constantes elásticas del material de acuerdo a la norma ASTM C-215-08, se propuso avanzar en esta investigación al tiempo de llegar a correlacionar dichos valores. **C**

#### REFERENCIA:

Pérez Benedicto J. A., Del Río Merino M., López Julián P. L., Orna Carmona M. Salesa Bordanaba A., "Estudio de los módulos de elasticidad en concretos autocompactantes fabricados con árido reciclado procedente de la no calidad en prefabricación", 3º Congreso Iberoamericano sobre hormigón autocompactante. Avances y oportunidades, Madrid, 2012



## OBRAS MARINAS:

### Flotadores de concreto para turbinas eólicas

La energía eólica que pueden proporcionar los espacios marinos es sin dudas una fuente que aún no se explota en todas sus posibilidades, sobre todo por los costos que implican colocar turbinas en los mares y océanos. La innovación que se describe a continuación podría ser la solución a ese inconveniente y llega desde Cataluña en España.

Para aprovechar la energía del viento es necesario colocar las turbinas eólicas en superficies despejadas donde se puedan aprovechar al máximo las corrientes de aire circundantes. Los espacios marinos son un lugar ideal para hacerlo, pero los costos de colocar las turbinas sobre la superficie del agua son tan elevados, que impiden usar este recurso con eficiencia.

Climent Molins (investigador de la Universidad Politécnica de Cataluña) es uno de los inventores y dueños de la patente de los flotadores de concreto, unas estructuras de forma cilíndrica que poseen una gran boya y un lastre, que serían la forma "low cost" de colocar los molinos de viento sobre el agua. El investigador los describe como un "tentempié" que resulta sencillo y barato de construir y tiene gran resistencia y durabilidad. En cuanto al oleaje, según sus estudios apenas se moverían con mar en calma, y en caso de oleaje más fuerte podrían soportar olas de hasta 25 metros de alto. A las turbinas que se colocan en el mar se las denomina offshore y son las que reciben una mayor cantidad de viento; por tanto su generación de energía es significativamente mayor. El mayor contratiempo es que las condiciones ambientales suelen ser perjudiciales para las infraestructuras, ya que la oxidación, las tormentas y la erosión natural del agua van en detrimento de las grandes inversiones necesarias para instalarlas. Pero estas nuevas estructuras tienen la gran ventaja de la durabilidad y la resistencia, ya que el concreto resulta hasta un 60 % más barato que otros materiales de uso común como el acero y su vida útil se estima en al menos cincuenta

años; por lo que una vez colocados, la base de las turbinas dejaría de ser un problema para los productores de electricidad.

Al prototipo se le ha llamado "WindCrete" y consiste en un cilindro de concreto armado, que al no poseer juntas y constituir una pieza única formada por el lastre y el flotador, resulta mucho más sólido y robusto que los actuales tipos de plataformas. Un problema muy importante con el que suelen tener que lidiar quienes tienen turbinas flotantes, es el del mantenimiento de las infraestructuras; que debe hacerse cada dos años, para evitar el deterioro por corrosión. Esta tecnología ahorraría miles de euros en gastos de esta índole. Con referencia a sus costos básicos, la construcción de este tipo de sostén resultaría mucho más económica que las convencionales. Molins asegura que el ahorro podría rondar el 60 % del costo global y que gracias a que su principal material es el concreto, tendrá treinta años más de vida útil que si se utilizara acero en su fabricación.

En cuanto al tema de la resistencia, este tipo de flotadores es capaz de soportar pesos mayores, por lo que se podrían colocar turbinas de potencias mucho más importantes (el investigador sugiere que hasta un 70 % más de potencia como los generadores que producen unos 15 MW); lo cual representaría un ahorro real en los costes de dicha energía, que podrían reducirse a la mitad. Los ensayos se han llevado a cabo mediante simulaciones del tipo numérico (en ordenadores) y en canales de oleaje inducido; pero la prueba definitiva debería realizarse en mar abierto. El WindCrete tiene mucho potencial pero no es probable que a corto o mediano plazo sea implementado en España, donde por más que sobren las superficies para aprovechar el viento con turbinas offshore, hay muy pocas instalaciones de ese tipo (aunque las existentes suelen registrar récords de producción). Sus inventores han puesto la mira en el exterior, donde por ejemplo los escoceses ya han mostrado su interés por el invento y su desarrollo, y lo presentarán también en Alemania. **C**

REFERENCIA:  
 ECOTICIAS.COM/RED/AGENCIAS (2015). "Flotadores de hormigón, innovación low cost para las turbinas eólicas",  
 publicado en ECONOTICIAS.com:  
<http://www.ecoticias.com/energias-renovables/108254/Flotadores-hormigon-innovacion-low-cost-turbinas-eolicas>



## CONCRETO Y ENERGÍA: Energía a través del concreto

Un grupo de investigación dirigido por Takashi Ohira, profesor del Departamento de Informática, Eléctrica y Electrónica de la Universidad Tecnológica de Toyohashi, está completamente dedicado a una investigación con vistas a aplicar las tecnologías inalámbricas de transmisión de energía; sobre la base de acoplamiento del campo eléctrico (o acoplamiento inductivo), para transmitir energía a un vehículo en marcha, mientras está rodando sobre la carretera.

El método presentado permite atravesar una capa de concreto de 10 centímetros de espesor y entregar una energía inicial de 50 a 60 Watts (o Vatios) con una eficiencia superior al 90%. Con anuncios de este tipo, las rutas electrificadas de Japón, pronto comenzarían a ser una realidad. La demostración tuvo lugar en el Parque Tecnológico de la DAP Wireless 2012, una feria comercial sobre tecnologías inalámbricas, que se realizó desde el 5 hasta el 6 de Julio, en Yokohama, Japón. La Universidad Tecnológica de Toyohashi demostró allí su tecnología de transmisión inalámbrica de energía, mediante el acoplamiento de un campo eléctrico a las llantas de automóviles, a través de una capa del mismo concreto que se utiliza para las vías públicas en Japón.

Respecto a desarrollos anteriores, el grupo logró avances significativos en cuanto al aumento de la energía transmitida (50 a 60 Watts) y al agregado "extra", como material intermedio, entre las placas transmisoras de energía y los neumáticos, de una estructura de concreto de 10 centímetros de espesor. Otra de las virtudes destacadas del sistema, y que también se anuncia en el sumario, es que la eficiencia de transmisión energética puede superar el 90%. Sin dudas, este último dato es el más importante a destacar en función de la presencia del concreto entre los elementos de transmisión y recepción de la energía.

En cuanto a la mejora alcanzada sobre el material empleado (el concreto), el grupo de investigación expresó que será posible utilizar esta misma tecnología con una capa de 20 centímetros o más, que es la medida habitual utilizada en las rutas de largas distancias, aptas para camiones de gran porte. Esta posibilidad se presenta gracias a las propiedades de alta conductividad encontradas en este material (concreto). Para llegar a disponer esta tecnología en uso práctico, en el mundo real, la energía eléctrica "transferida" necesitaría alcanzar un incremento aproximado de 100 veces. Sin embargo, el grupo de investigación expresó que este no es un problema importante a resolver ya que los elementos necesarios para elevar el índice energético son relativamente baratos y el objetivo no se vería como una meta lejana de alcanzar. La idea del equipo es utilizar este tipo de tecnología de transferencia energética para complementar los sistemas eléctricos existentes sobre los vehículos eléctricos. Durante la primera etapa, un aporte "extra" de energía al sistema móvil, que rueda sobre cualquier carretera (ruta, autovía o camino asfaltado), se presenta como muy auspicioso para alimentar sistemas secundarios dentro del coche.

Para el grupo de investigación, haber alcanzado la misma eficiencia que Sony con su TV inalámbrica; a través de 50 centímetros de aire y con el agregado del concreto, es un mérito que los llena de orgullo y los motiva a continuar desarrollando un sistema que, quizás, en el futuro se convierta en un estándar dentro del mundo del automóvil eléctrico; ya sea como alimentación secundaria o como sistema de recarga de baterías. El camino es muy amplio y extenso aún, sobre todo, en las tecnologías de fabricación de las llantas receptoras y de los emisores optimizados, a lo largo de las carreteras. La optimización de los sistemas en las llantas, serán la clave del trabajo.

C