

GEOCELDAS TIPO “BUBBLE LOCK” PARA PAVIMENTOS PORTUARIOS: PRIMERA EXPERIENCIA EN CHILE

Carlos Marín¹, Felipe Halles², Tomás Retamal³

¹ Profesor Escuela de Construcción Civil, Pontificia Universidad Católica de Chile.
Av. Vicuña Mackenna 4860, Macul, Santiago
+56957494142
crmarin@uc.cl

² Gerente Técnico, Ingeniería de Caminos TSP Chile
Av. Kennedy 5757, of 506. Las Condes, Santiago
+56990790933
fhalles@tspchile.cl

³ Estudiante Magister en Construcción, Pontificia Universidad Católica de Chile
Av. Vicuña Mackenna 4860, Macul, Santiago
+56956753552
tiretama@uc.cl

RESUMEN

Los pavimentos portuarios y de la minería subterránea están sometidos a solicitudes de cargas repetidas y puntuales considerablemente altas. Los materiales más comúnmente empleados para sus capas de rodado son: Hormigón, Adoquines (bloques de hormigón), Concreto Asfáltico. No obstante, se han reportado fallas prematuras y deterioro acelerado de estos pavimentos ocasionando inconvenientes para el correcto desarrollo de las labores propias de cada industria, como por ejemplo: disminución de la producción, daños a los vehículos o maquinarias, pinchaduras o destrozo de neumáticos y aumento de los costos de mantenimiento y mejoramiento de los pavimentos. Las geoceldas, también llamadas Sistemas de Confinamiento Celular, se han propuesto como una solución permanente y de costo competitivo para ser aplicado en pavimentos con solicitudes de carga altas. Estos sistemas colocados in situ configuran una estructura con forma de panel, cuyas celdas pueden ser llenadas con arena, grava, suelo estabilizado u hormigón. El sistema patentado Hyson-Cells presenta una alternativa de geoceldas del tipo “Bubble Lock”, que consiste en unas celdas plásticas de forma cuadrada rellenas con hormigón, las cuales forman bloques cuyas paredes contienen una burbuja semiesférica para asegurar la interacción o traspaso de carga de cada bloque con su vecino, asemejando su funcionamiento al de un pavimento del tipo articulado. Este trabajo presenta los resultados preliminares de la primera experiencia en Chile sobre la aplicación de geo-celdas del tipo “Bubble Lock” en un pavimento portuario, mostrando fundamentalmente los principios funcionales, las especificaciones para los materiales empleados, las consideraciones de construcción, además de los resultados de un seguimiento visual durante los primeros seis meses de servicio.

1. INTRODUCCIÓN

Los pavimentos portuarios están sometidos constantemente a sollicitaciones de carga altas, lentas y otras veces canalizadas ocasionadas por la maquinaria que normalmente se utiliza para la manipulación de contenedores y los camiones que los transportan desde y hacia el puerto. Si estos pavimentos no están adecuadamente diseñados y/o construidos pueden presentar deterioros prematuros ocasionando daños a la infraestructura y problemas operativos en el puerto. Los pavimentos empleados tradicionalmente en un puerto son de hormigón, adoquines o concreto asfáltico. Elegir la tecnología de construcción, las estrategias de rehabilitación y las prácticas de mantenimiento más adecuadas es fundamental para garantizar la durabilidad requerida en este tipo de infraestructura.

Como una alternativa para un mejor desempeño estructural y menor mantenimiento, se desarrolló en Sudáfrica una nueva técnica de pavimentación utilizando celdas plásticas rellenas con hormigón (Visser, 1994), (Visser, 1999), (Visser & Hall, 1999), (Visser & Hall, 2003). Estas geoceldas, conocidas como Hyson-Cells, conforman un sistema patentado para la construcción de pavimentos del tipo articulado como una alternativa a los pavimentos tradicionales de hormigón, adoquines o asfalto. Una de sus aplicaciones se enfoca en pavimentos donde se esperan cargas muy pesadas, estáticas y donde sea frecuente el giro de neumáticos (Du Plessis & Visser, 2001), como ocurre en los puertos. Hyson-Cells difiere de los pavimentos articulados en que el hormigón es extendido in situ y que la trabazón entre bloques se produce de forma tridimensional (Du Plessis & Visser, 2001). Las geoceldas Hyson-Cells se pueden encontrar en dos versiones: regulares y Bubble Lock. Siendo estas últimas las de mayor interés actualmente debido a que posee una burbuja semiesférica que asegura la interacción o traspaso de carga de cada bloque con su vecino, mejorando el desempeño estructural del pavimento.

Los tamaños estándar de las celdas oscilan entre 15 x 15 cm hasta 40 x 40 cm y el espesor mínimo es de 7,5 cm. Para evitar que las geoceldas colapsen durante el llenado con el hormigón, se utilizan estacas metálicas y cuerdas tensoras para suministrarle rigidez al sistema, lo cual permite tasas de producción de hasta 1000 m² por día.

El objetivo de este trabajo es discutir los fundamentos y comportamiento de los pavimentos conformados por la tecnología Hyson-Cells del tipo Bubble Lock, junto con revisar los resultados de la primera experiencia realizada en Chile, a través de un tramo de prueba localizado en el puerto seco de Curauma en la región de Valparaíso en Chile. A través de esta experiencia se conocerán los aspectos constructivos involucrados en el desarrollo de esta tecnología de pavimentación y se verificará el desempeño funcional y estructural del pavimento en servicio. Este trabajo corresponde a la primera fase de la implementación por lo que solo se incluye la construcción y un seguimiento visual del tramo luego de seis meses de materializado.

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

Las geoceldas, también llamadas Sistemas de Confinamiento Celular, se han propuesto como una solución permanente y de costo competitivo para diversas aplicaciones tales como pavimentos con solicitaciones de carga altas, estabilización de taludes, protección de canales y control de la erosión. Estos sistemas colocados in situ configuran una estructura con forma de panal, cuyas celdas pueden ser llenadas con arena, grava, suelo estabilizado u hormigón. El sistema patentado Hyson Cells presenta una alternativa de geoceldas plásticas rellenas con hormigón en dos versiones (Regulares y Bubble Lock) con dos usos principales: como pavimento articulado en caminos y como revestimiento de fondos de canales para conducción de agua.

Las geoceldas regulares consisten en unidades de celdas de forma cuadrada y con espesor variable según la magnitud de la carga a soportar. Para asegurar una transferencia de carga entre los bloques de las celdas es necesario deformar previamente las paredes plásticas de las celdas, buscando un trabajo conjunto y no individual de cada bloque. De esta forma también se evita que el bloque se desacomode y salga a la superficie. Para lograr la deformación de las paredes de la geocelda, ésta debe ser suave y flexible en lugar de dura y rígida, siendo el polietileno de alta densidad el material que cumple con este requisito. La Figura 1 muestra una fotografía típica de las geoceldas extendidas en terreno, mientras que la Figura 2 muestra una sección típica de una estructura que utiliza un pavimento articulado confirmado sobre la base de una geocelda rellena de hormigón, y que grafica la forma en que se busca lograr la trabazón entre cada uno de los bloques.



Figura 1: Geoceldas Regulares extendidas en terreno.

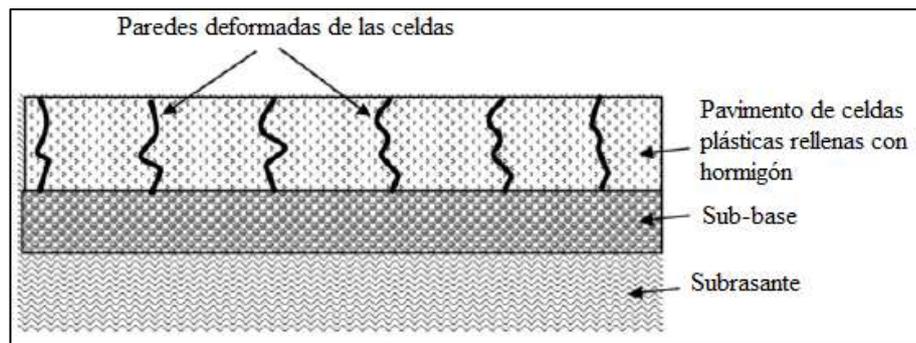


Figura 2: Esquema de sección conformada por Geoceldas y forma de lograr trabazón lateral

Por su parte, las geoceldas “Bubble Lock” consisten en unas celdas plásticas de forma cuadrada que se rellenan con hormigón formando bloques cuyas paredes contienen una burbuja semiesférica para asegurar la interacción o traspaso de carga entre cada bloque con su vecino. La Figura 3 muestra dos fotografías que representativas de este tipo de geoceldas.

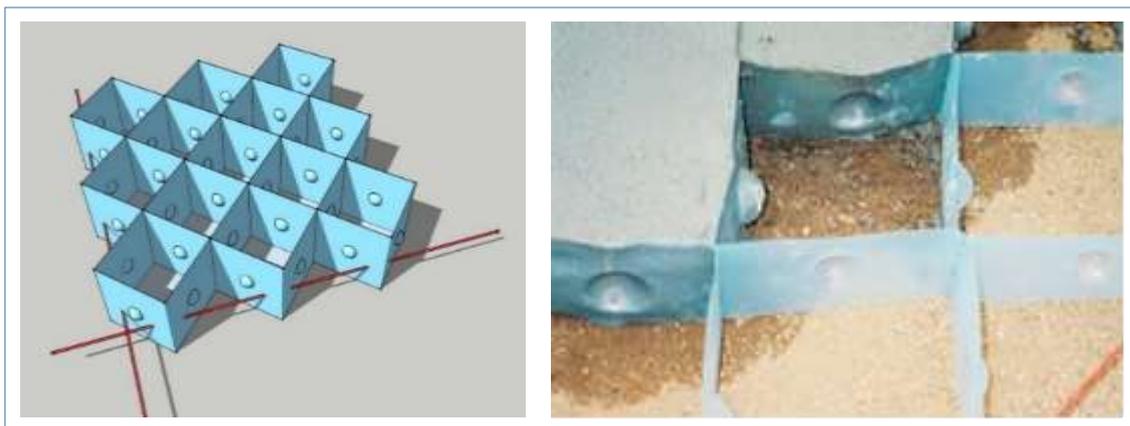


Figura 3: Esquema y Fotografía de Geoceldas Hyson Cells.

Debido a la transferencia de carga que se logra debido a existencia del Bubble Lock, el pavimento se comporta como una losa colaborante de bloques discretos, por lo que las cargas son distribuidas en un área mayor, incrementando la capacidad de soporte y disminuyendo los asentamientos diferenciales de las capas subyacentes del pavimento.

3. CONSTRUCCIÓN TRAMO DE PRUEBA

Como parte del proceso de introducción de la tecnología, se construyó un tramo piloto en un Puerto Seco (o Antepuerto) donde se almacenan y mantienen containers que se utilizan para traslado de mercancía.

3.1 Localización del tramo piloto y características de los pavimentos existentes

El puerto seco se encuentra localizado a unos 10 km del puerto de Valparaíso, el cual es considerado uno de los más importantes de Chile. Se denomina puerto seco por dos características: la función que cumple en todo el proceso portuario almacenando

contenedores vacíos y por ser un punto de almacenamiento más alejado del mar. La Figura 4 muestra dos fotografías satelitales que indican la localización geográfica del antepuerto respecto al puerto de Valparaíso.



Figura 4: Localización del tramo piloto (Curauma, Valparaíso)

El antepuerto fue construido utilizando diferentes tipos de pavimentos, mayoritariamente del tipo flexible con una capa de rodadura de mezcla asfáltica para soportar el tránsito canalizado de los camiones y el trabajo de apilamiento de los contenedores realizado por los montacargas o grúas. Luego de 7 a 10 años de operación, la inspección visual mostró que las patologías más comunes eran la fatiga, deformaciones y baches. La Figura 5 presenta cuatro fotografías con los problemas de deterioro que actualmente presenta el antepuerto.



Figura 5: Condición (Nivel de Deterioro) del pavimento en Antepuerto

3.2 Características del tramo piloto

El tramo piloto se construyó utilizando geoceldas del tipo Bubble Lock con dimensiones de 20 m de largo y 6 m de ancho. Se localizó en un sector de un pavimento antiguo de asfalto que soporta tránsito canalizado de camiones cargados con contenedores vacíos y maniobra de grúas stacker para carga y almacenamiento de los mismos. El espesor de las geoceldas utilizadas, y el espesor de los bloques de hormigón resultante, fue de 15 cm.

3.3 Materiales

3.3.1 Geoceldas Hyson Cells

Las geoceldas se fabrican en base a mallas de polietileno de baja densidad. Las mallas tienen espesores de 7,5 - 10 - 12,5 - 15,0 y 20,0 cm. La selección del espesor se realiza considerando las cargas de tránsito y las condiciones de soporte de la plataforma. Las celdas se proveen en paquetes de aproximadamente 35 kg de peso y vienen en formatos de 100 y 200 m² según el espesor de la celda (Ver Figura 6)



Figura 6: Presentación y extensión de las geoceldas

3.3.2 Hormigón

El hormigón utilizado para rellenar las geoceldas no es convencional. Se recomienda que el agregado esté limpio, sus partículas sean cúbicas y que el tamaño máximo oscile entre los 10 a 13 mm. La mezcla debe ser bombeable y tener un asentamiento entre 140 y 180 mm. Asimismo, este asentamiento debe conservarse entre 1 a 2 horas para completar correctamente el ciclo de trabajo. Para lograr la fluidez requerida, se utilizan aditivos superplastificantes y se utiliza arena de canto rodado. La resistencia mínima a la compresión es de 40 MPa. Su colocación debe garantizar que no se produzca segregación de los materiales o excesiva agua libre en la superficie.

3.4 Procedimiento de construcción

3.4.1 Obras previas al hormigonado

La Figura 7 muestra un set de fotografías que representa el proceso de preparación de la plataforma, a nivel de base granular, junto al proceso de colocación de las geoceldas Hyson Cells.



Figura 7: Fotografías proceso de preparación plataforma y colocación geoceldas

La preparación de la subrasante y de las bases granulares se realiza cumpliendo los mismos requerimientos exigidos para un pavimento de asfalto en cuanto a cotas y compactación. Debe tenerse especial cuidado en la planitud de la superficie debido a que cualquier defecto se verá reflejado en el pavimento confirmado por las geoceldas y el hormigón. El confinamiento del área de pavimentación se realiza mediante la instalación de soleras o bordillos de hormigón in situ o prefabricados.

Una vez terminada la base granular, se instalan estacas de anclaje en las esquinas del área de pavimentación y cada 60 cm por el perímetro de la malla. También deben colocarse

estacas cada dos celdas de extremo a extremo de la malla. Estas estacas van unidas por unas cuerdas de aparejo que sirven para extender y tensar correctamente la malla de geoceldas. Se utilizan unos bloques fabricados de poliestireno expandido de alta densidad que tiene como objetivos delimitar el área del hormigonado y evitar el daño de la malla por la presión del hormigón. Estos bloques se conocen como “*bloques frontera*” y tienen la misma dimensión que una celda de la malla.

Cuando el pavimento conformado por las geoceldas rellenas con hormigón quede a tope contra un borde o una estructura existente, existen dos opciones: a) construir una viga de borde entre los dos pavimentos o estructuras terminando las geomallas de manera normal; b) unir el nuevo pavimento con el antiguo mediante barras de traspaso de carga instalados en este último. Previo a la colocación del hormigón, se humedece la plataforma y las paredes de las geoceldas.

3.4.2 Proceso de hormigonado de las geoceldas

La Figura 8 muestra un set de fotografía de las distintas etapas asociadas a la colocación del hormigón. El hormigón puede ser colocado dentro de las mallas mediante los equipos tradicionales, como por ejemplo utilizando una bomba de hormigón, directamente desde el camión mezclador utilizando la canaleta o mediante carretillas. Para compactar el hormigón se utiliza una regla vibratoria liviana, recomendándose dos pasadas por zona hormigonada. Posteriormente se realizan labores de enrasado utilizando un platacho plástico.

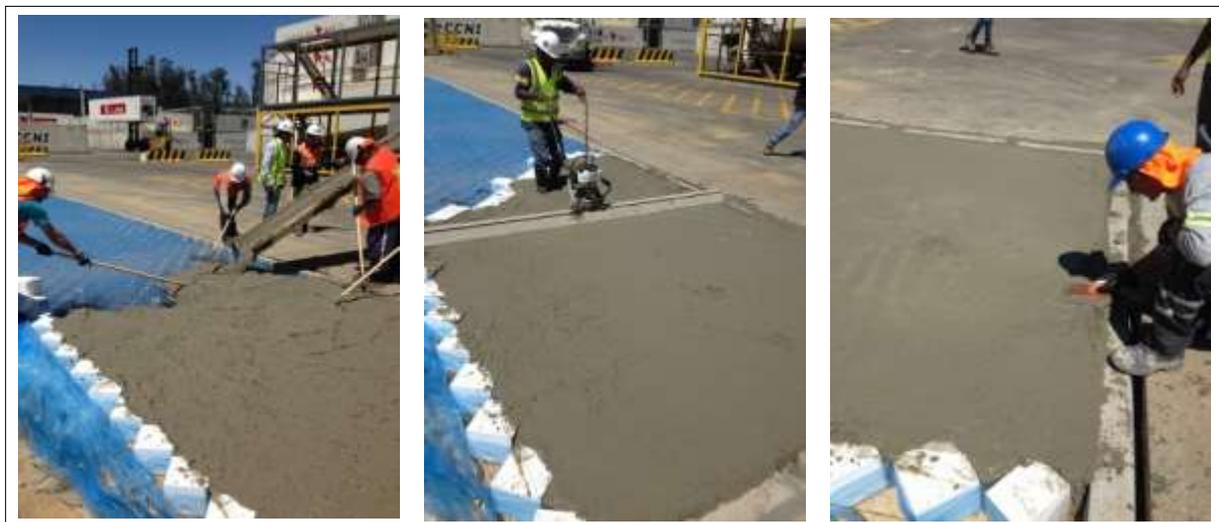


Figura 8: Fotografías proceso de hormigonado de geoceldas

La terminación final se realiza utilizando una escoba con cerdas de plástico para cepillar la superficie, de acuerdo al set de fotografías que se presenta en Figura 9. El curado del hormigón se realiza de la misma manera que para un hormigón para pavimento tradicional y se recomienda aplicar una membrana de curado cuando las condiciones medioambientales lo ameriten



Figura 9: Fotografías proceso de hormigonado de terminación y curado

4. SEGUIMIENTO AL TRAMO DE PRUEBA

4.1 Inspección Visual

El seguimiento de la condición visual del tramo de prueba se realizó a través de inspecciones visuales durante un período de 6 meses, a los 7, 30, 60, 90 y 180 días posteriores a su construcción.

La Figura 10 muestra dos fotografías en las cuales se puede observar que a los 7 días de hormigonado no se distingue la marca divisoria de la malla que divide los bloques, mientras que a los 30 días de hormigonado, se observa claramente la división de los bloques de hormigón debido a la junta generada por la malla plástica de las geoceldas.

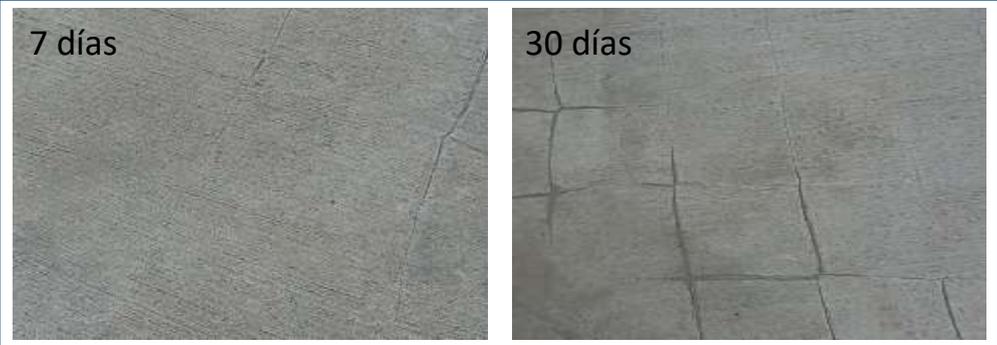


Figura 10: Fotografías pavimento terminado, a los 7 y 30 días posteriores al hormigonado

Por su parte, la Figura 11 muestra una fotografía donde se puede apreciar el aspecto general del tramo luego de 180 días de uso. En este se puede apreciar claramente el reticulado de bloques de hormigón que se logra producto del sistema Hyson Cells. En la fotografía se puede apreciar desgaste y material suelto producto de los pavimentos que se encuentran en el contorno del tramo piloto. En el costado derecho de la fotografía se puede apreciar una pequeña deformación y desgaste de los bloques, la cual podría deberse a un problema de terminación y soporte de las capas granulares.



Figura 11: Fotografías del pavimento terminado a los 180 días de operación.

4.2 Deflectometría de Impacto

A los 180 días de operación de operación se realizó una deflectometría de impacto para evaluar la capacidad de soporte de la estructura de pavimentos Hyson Cells. Las cargas aplicadas fueron de 50, 90, 115 kN. A modo de referencia una grúa stacker aplica cargas de 90 kN por rueda cuando carga un contenedor vacío.

Las evaluaciones fueron realizadas sobre la estructura con el sistema Hyson-Cells y sobre un pavimento contiguo construido utilizando adoquines de 10 cm de espesor. Los resultados obtenidos para una aplicación de carga de 90 kN del deflectómetro de impacto fueron los siguientes:

- Deflexión máxima promedio en pavimento con Adocreto: 1832 micrones
- Deflexión máxima promedio en pavimento con sistema Hyson-Cells: 1478 micrones

Los resultados corresponden al promedio de 12 puntos evaluados en el pavimento Hyson Cells y 6 puntos evaluados en el pavimento de adoquín.

Si bien estos resultados son preliminares, permiten apreciar claramente la mayor capacidad de disipación de cargas que posee el pavimento Hyson Cells respecto al de adoquines, lo cual podría traducirse en mejoras significativas de vida útil, desempeño y la consecuente optimización de costos a largo plazo.

Mayores antecedentes estarán disponibles una vez se analice toda la información disponible de estos ensayos junto con los ensayos de deflectometría que se realizarán a los 12 meses de operación.

5. CONCLUSIONES

Se construyó un tramo de prueba de 180 m² de un pavimento compuesto por geoceldas rellenas con hormigón del tipo Bubble Lock en el antepuerto de Curauma, cerca de la ciudad de Valparaíso. Esta corresponde a la primera experiencia en Chile que se utiliza con esta tecnología de pavimentación, como una alternativa para ser utilizada en puertos que estén sometidos a solicitaciones de cargas altas, lentas y/o canalizadas. La inspección visual realizada durante los primeros 180 días de la construcción muestra que la estructura se está comportando de acuerdo con lo esperado y no se han presentado fallas prematuras producto de la operación.

Resultados preliminares muestran que un pavimento Hyson Cell del tipo Bubble Lock presenta menores deflexiones comparado con un pavimento con capa de rodado compuesta por adoquines de 10 cm de espesor, cuando se somete a una carga de 90 kN aplicada por un deflectómetro de impacto.

En terreno se detectaron algunos temas asociados al proceso constructivo y de diseño que deben ser resueltos en futuras experiencias y/o investigaciones. Estos son: a) determinar las ventajas reales sobre otro tipo de pavimentos considerando la maquinaria disponible para su construcción y establecer resultados en términos de rendimiento; b) detectar las ventajas para realizar las reparaciones y las actividades de mantenimiento del pavimento; c) verificar si los bloques de hormigón generados por la malla de las geoceldas se pueden desconchar al no tener un biselado en los bordes; d) verificar y calcular la eficiencia real en la transferencia de carga de la semi-burbuja como sistema de traspaso de carga entre bloques.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Du Plessis, B., & Visser, A. (2001). Rehabilitation of Heavy Duty Concrete Pavements With Hyson-Cells Overlay. *20th South African Transport Conference*. South Africa: Document Transformation Technologies.
- Visser, A. (1994). A Cast In-situ Block Pavement for Labour-enhanced Construction. *Concrete Beton*, 1-8.
- Visser, A. (1999). Rhe Response of Flexible Portland Cement Pavements Under Ultra Heavy Loading. *Concrete Beton*, 11-18.
- Visser, A., & Hall, S. (1999). Flexible Portlnad Cement Concrete Pavement for Low-volume Roads. *Transportation Research Record*, 1652, 121-127.
- Visser, A., & Hall, S. (2003). Innovative and Cost Effective Solutions for Roads in Rural Areas and Difficult Terrain. *Transportation Research Record*(1819A), 169-173.