

Manteniendo la simplicidad en el diseño, la producción y la construcción

Losa Alveolar Ranurada: una manera simplificada de reducir significativamente el consumo de hormigón e incrementar los márgenes de beneficio

■ Sanabra-Loewe, Marc, Universidad Politécnica de Cataluña (UPC - Barcelona Tech), Barcelona, España

Un método para hacer que las losas alveolares puedan ser empotradas en sus extremos, y que permite una reducción de hasta el 20% del canto (= espesor) y del consumo de hormigón de los suelos estructurales acabados, ha sido desarrollado, detalladamente ensayado y protegido con patentes por la empresa de ingeniería Elastic Potential, de Barcelona, España. El método consiste en producir losas alveolares con profundas ranuras en su superficie superior. Una vez en la obra, directamente sobre las losas ranuradas se colocan las armaduras resistentes a momentos negativos y se hormigona una capa de compresión convencional, de al menos 50 mm de espesor. Las significativas reducciones de costes en la producción y en el transporte de las losas permite a la empresa de prefabricados una rápida amortización de la maquinaria necesaria para producir las losas ranuradas. En la fecha actual, proveedores de maquinaria líderes ya tienen maquinaria disponible para producir Losa Alveolar Ranurada o la están desarrollando y prevén tenerla pronto disponible (Prensoland, Echo Precast Engineering, UltraSpan, Elematic, Nordimpianti, Spancrete).

En muchas situaciones cotidianas, el rendimiento estructural de los suelos estructurales es superior cuando los extremos de las losas son empotrados en vez de ser articulados. Para techos estructurales hechos con losas alveolares, hace 20 años se desarrolló una solución para lograr este empotramiento de los extremos: abrir los extremos de algunos alveolos, alojar allí armaduras de momentos negativos, y rellenar dichos alveolos con hormigón. A pesar de ello, la gran mayoría de suelos de losas alveolares hoy en día se siguen diseñando con los extremos articulados.

Esto se debe a que la solución de abrir los alveolos es más complicada y no siempre más barata que la solución convencional con los extremos articulados.

El concepto principal: un rendimiento estructural mejorado hecho de manera sencilla

Ahora, una solución simplificada, llamada Losa Alveolar Ranurada, ha sido desarrollada para lograr que las losas alveolares empotradas sean prácticamente tan sencillas como las losas con extremos articulados, pero significativamente más baratas que las losas con extremos articulados.

Los suelos estructurales acabados, hechos con Losa Alveolar Ranurada, pueden ser mucho más baratos porque el espesor de las losas (y el consumo de hormigón) se reducen hasta un 20%. En consecuencia, las losas son hasta un 20% más ligeras, y son más sencillas de transportar y de manipular.

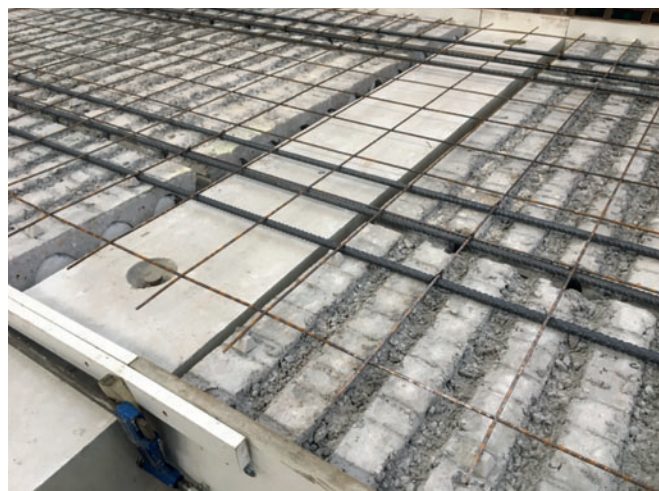


Fig. 1: Losa Alveolar Ranurada antes de verter el hormigón de la capa de compresión.



■ El Profesor Marc Sanabra Loewe, Doctor Arquitecto, ha sido profesor de Ingeniería Estructural durante 11 años en la Universidad Politécnica en Barcelona, España (UPC-Barcelona Tech); y en 2018-2019 fue también Profesor en la University of Illinois en Urbana-Champaign. Ha sido, durante 15 años, director de MASA+Arquitectura, una consultoría de estructuras en Barcelona. Tanto su título de Maestría como su título de Doctorado fueron dedicados a la optimización de suelos estructurales prefabricados de hormigón. Es el inventor de diversas patentes de sistemas de suelos estructurales optimizados de hormigón, actualmente propiedad de Elastic Potential, S.L., una empresa española establecida para tener las patentes. msanabra@elastic-potential.com

El empotramiento de los extremos se logra mediante dos modificaciones respecto a la práctica habitual. Por un lado, las losas se fabrican con profundas ranuras sobre su superficie superior. Esto requiere de maquinaria apropiada (véase más abajo la sección "Disponibilidad de maquinaria"). Por otro lado, cuando la losa está colocada en la obra, las armaduras para resistir los momentos flectores negativos se colocan directamente sobre la losa (sin necesidad de separadores), y se hormigona una capa de compresión estructural convencional de al menos 50 mm (ver Fig. 1). Algunos detalles relevantes de la figura: las barras de refuerzo están colocadas directamente sobre la losa; las losas están convenientemente separadas de la viga para permitir que el hormigón llene ese espacio y permitir que el momento flector negativo se desarrolle apropiadamente; pueden ser necesarios tapones para evitar que los alveolos de las losas se llenen de hormigón.

Incluso considerando la necesidad de tener capa de compresión, los suelos estructurales que emplean Losa Alveolar Ranurada pueden ser mucho más baratos que los suelos estructurales convencionales sin capa de compresión.

Beneficiarios de emplear la Losa Alveolar Ranurada

Todos los actores de la cadena de valor pueden obtener ventajas relevantes y beneficios económicos de emplear a Losa Alveolar Ranurada.

El prefabricador puede producir losas mucho más delgadas, que a menudo también tienen menos armadura. Como promedio, las losas prefabricadas pueden ser hasta un 20% más delgadas que las convencionales (al compararlas con la solución actual con capa de compresión), y hasta un 25% más delgadas que las convencionales (al compararlas con la solución actual sin capa de compresión). Y el consumo de acero de pretensado también se reduce hasta en un 15% de promedio.

Al ser las losas de un 20% a un 25% más ligeras, su transporte también es más barato.

Si estas losas más delgadas se venden al mismo precio (o ligeramente más baratas) que las losas convencionales de extremos articulados (teniendo en cuenta que ambas soluciones ofrecen las mismas prestaciones), el prefabricador puede lograr relevantes márgenes económicos adicionales, y mejorar notablemente su rentabilidad.



Avermann

Sus Proyectos – nuestras máquinas

www.avermann.com

desde 1946



circuitos de carrusel • encofrados • mesas basculantes • líneas de vibrado • paletas • máquinas especiales

Avermann Betonfertigteilterchnik GmbH & Co. KG

Lengericher Landstr. 35 · 49078 Osnabrück/Germany

Tel.: +49 5405 505-0 · Fax: +49 5405 6441 · info@avermann.de

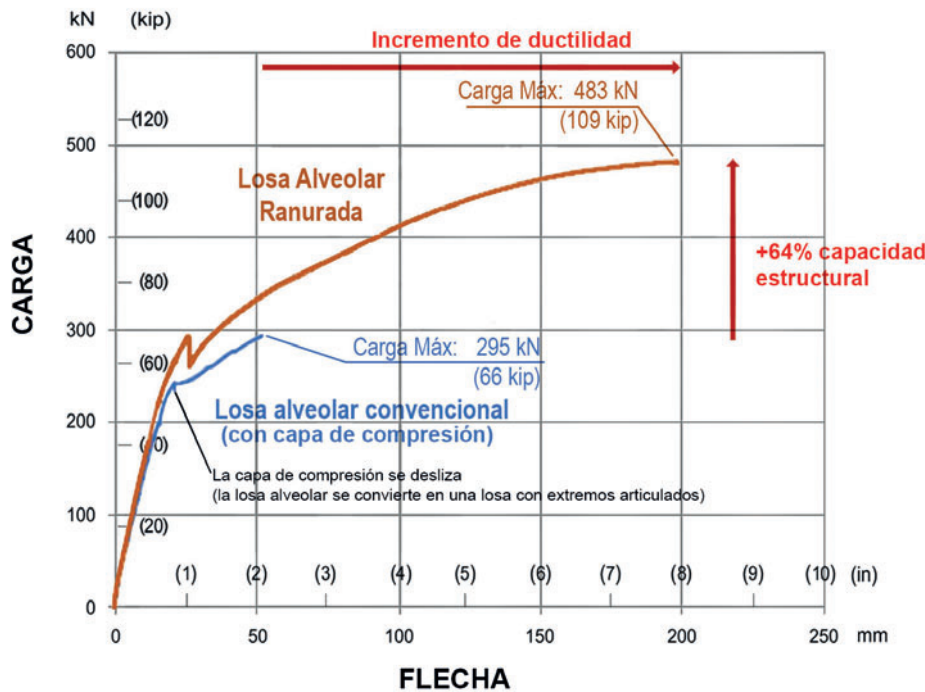


Fig. 2: Diagrama carga-deformación obtenido, al cargar dos suelos estructurales idénticos; uno usando Losas Alveolares Ranuradas, y otro usando losas alveolares convencionales.

Estos márgenes adicionales ya tienen en cuenta el hecho que las Losas Alveolares Ranuradas (mucho más delgadas) pueden venderse a un precio ligeramente por debajo del precio de las losas biarticuladas equivalentes (más gruesas), para compensar el coste adicional que el constructor puede tener en la obra debido a la necesidad de colocar la armadura para resistir los momentos flectores negativos.

El constructor, a su vez, no sólo se beneficiará de un precio menor de las losas; sino que también se beneficiará del hecho que las losas son más ligeras: las vigas, los pilares y las cimentaciones se podrán reducir. Además, como las losas son más delgadas (y las bigas también pueden ser de menor canto), el suelo estructural puede ser en su conjunto entre 5 cm (2") y 15 cm (6") más delgado. Por tanto, la altura de cada nivel del edificio se puede reducir en esta cantidad. Esto permite una reducción del área de fachada, permitiendo ahorros adicionales. Se ha estudiado que en Europa, sumando todos estos ahorros y considerando un coste de construcción entre los 500 €/m² y los 1000 €/m², el constructor puede lograr ahorros entre los 2 €/m² y los 6 €/m² (alrededor del 0,5% del coste total de construcción del edificio). Los ahorros reales para el constructor dependen principalmente de la reducción de canto de los forjados, del tipo de cimentación (pilotes o zapatas) y del coste por m² de la fachada.

El promotor del edificio y los diseñadores del edificio (arquitecto, ingeniero) también pueden obtener numerosas ventajas. Las Losas Alveolares Ranuradas del mismo espesor que las losas alveolares biarticuladas convencionales pueden soportar hasta un 25% más de carga (ver Fig. 2), o incrementar la luz entre apoyos hasta un 25%. También la libertad de diseño se incrementa: los voladizos son posibles, y las grandes aberturas en las losas también son fáciles de lograr, porque las losas cortadas en mitad del vano pueden trabajar en voladizo desde su extremo apoyado.

Las Losas Alveolares Ranuradas, más ligeras, también son beneficiosas en situación de sismo, gracias a su masa reducida y a la mayor ductilidad de la junta losa-viga que reduce el riesgo de colapso progresivo. Además, como en todas las losas continuas, el hecho de tener una parte significativa de la armadura (15% al 50%) situada en la cara superior permite disponer de unas mejores prestaciones frente al fuego. Esto se debe a que la armadura superior está mucho menos expuesta al calor proveniente de abajo causado por el fuego [1].

Finalmente, usar Losa Alveolar Ranurada permite construir suelos estructurales que emiten entre un 10% y un 15% menos de CO₂. Esto es el resultado de reducir el consumo de hormigón hasta un 20%, e incrementar ligeramente el consumo total de acero. Este incremento se debe al hecho de reemplazar una parte del acero de pretensado de la pieza prefabricada por barras de armadura colocadas en la obra, que típicamente tienen un límite elástico inferior al de las armaduras de acero pretensado.

Compatibilidad con los códigos de diseño estructural

La mayoría de códigos, incluidos el Eurocódigo (EC-2) [2] y el código americano PCI Manual for the Design of Hollow Core [1], admiten que las losas alveolares se pueden diseñar y construir con los extremos empotrados. Esto es porque la solución anteriormente mencionada para lograr el comportamiento abriendo los alveolos existe desde hace mucho tiempo. Por tanto, la nueva solución de Losa Alveolar Ranurada a menudo es compatible con los códigos estructurales vigentes.

El principio en que se basa el diseño de Losas Alveolares Ranuradas es la resistencia a esfuerzo rasante en la junta hormigón - hormigón (losa alveolar - capa de compresión).

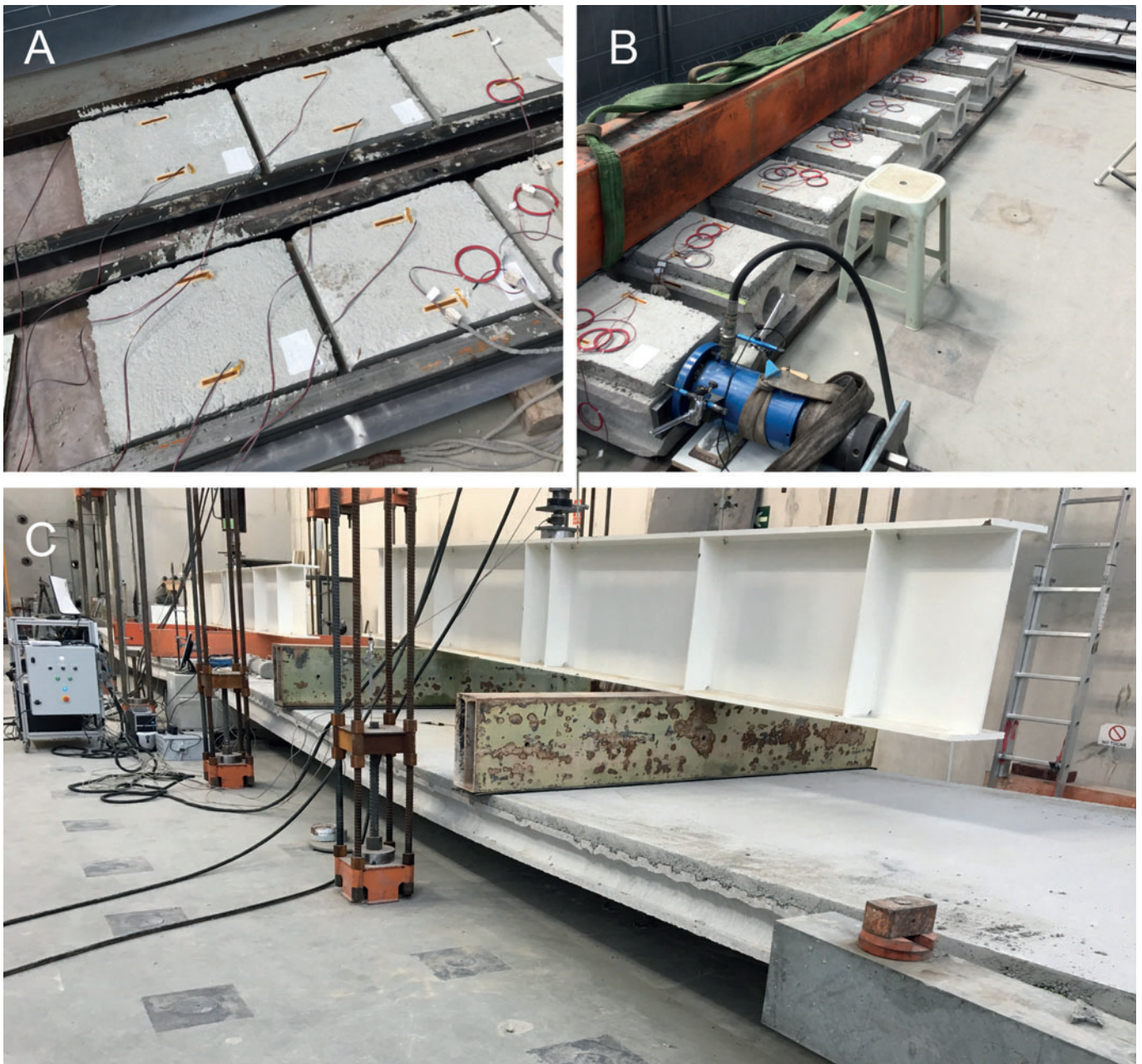


Fig. 3: A) Ensayos de retracción libre en especímenes de capa de compresión con hormigones de distintas composiciones; B) Ensayos de resistencia a rasante horizontal en especímenes pequeños; C) Ensayo a escala real (intensamente cargado) de un suelo estructural de 2 vanos formado con Losas Alveolares Ranuradas.

De nuevo, diversos códigos (EC-2 [2]; ACI-318 norteamericano [3]) tienen artículos que pueden entenderse como compatibles con estos principios: artículos que regulan la resistencia a esfuerzo rasante en la interfaz de juntas hormigón - hormigón.

La Losa Alveolar Ranurada convirtiéndose en una realidad

Una tecnología desarrollada después de un extenso programa de ensayos

La solución presentada aquí fue desarrollada siguiendo un completo programa de ensayos llevado a cabo durante 18

meses en la Universidad Politécnica de Valencia (UPV) en 2016 y 2017, en España (ver Fig.3). Los ensayos fueron dirigidos por el Dr. Pedro Miguel Sosa, Catedrático de Ingeniería Civil, y por el Dr. Luís Pallarés Rubio, Profesor Titular de Universidad de Ingeniería Civil, bajo la supervisión de Elastic Potential (la empresa propietaria de las patentes).

El principal objetivo de los ensayos fue encontrar una solución fiable para garantizar la correcta conexión entre la losa alveolar y la capa de compresión. El programa de ensayos incluyó ensayos de pequeña escala, de media escala y de escala real (forjados completos). Las principales variables estudiadas fueron: geometría de la interfaz; las edades de los dos hormigones (prefabricado y capa de compresión); y el

tamaño de los especímenes. Una de las principales conclusiones de la investigación fue que la diferente velocidad y magnitud de la retracción del hormigón de la losa alveolar y del hormigón de la capa de compresión, conocida como retracción diferencial, reduce significativamente la resistencia a rasante de la junta. Este efecto puede llevar a la desconexión de la capa de compresión bajo cargas muy bajas. Esto ocurre especialmente cuando la retracción en la losa alveolar es alta (por ejemplo las losas tienen algunos meses de antigüedad en el momento de verter la capa de compresión) o cuando la retracción de la capa de compresión es alta (por ejemplo con una relación A/V alta, en caso de intensa insolación, etc.). Estos resultados son coherentes con los resultados y las conclusiones obtenidas por otros autores [4, 5, 6].

El Código Modelo [7] escrito por la Fédération International du Béton (fib) también menciona que, en ciertas estructuras, la retracción diferencial puede tener que considerarse para poder garantizar la resistencia de juntas hormigón - hormigón.

Dados estos resultados, los ensayos se llevaron a cabo con diversos tipos de acabado de la superficie superior de la losa: moderadamente lisa (como sale de la máquina de prefabricado); cepillada; con ranuras cuadradas profundas; y, finalmente, con ranuras transversales a la pieza de distintas profundidades sobre la cara superior de la pieza. Solamente hubo una solución que fue capaz de resistir completamente los efectos de la retracción diferencial y de ofrecer una resistencia fiable y predecible. Una solución con ranuras profundas (20 mm) dispuestas sobre la losa, transversalmente a la dirección de producción. Esta solución ofrece una trabazón fiable entre la capa de compresión y la pieza prefabricada. La fiabilidad se demuestra por el hecho que el fallo en la junta se produce cuando el hormigón de la capa de compresión o el hormigón de la losa alveolar falla a cortante. Este es un tipo de fallo predecible, que depende sólo de un reducido número de variables: geometría y resistencia del hormigón. Mientras que, en todas las otras juntas ensayadas, el fallo se produjo cuando el hormigón de la capa de compresión se despegó del hormigón de la losa. Este es un fallo en la interfaz, que es un fallo mucho menos fiable, puesto que es mucho más difícil de predecir, porque depende de un número mucho mayor de factores (presencia de humedad, agua, o suciedad en la junta, retracción diferencial, velocidad de endurecimiento, etc.)

Los resultados de los ensayos están actualmente siendo preparados para ser publicados en revistas científicas.

La reacción de los prefabricadores

En los últimos meses, Elastic Potential ha estado presentando la tecnología individualmente a unos 20 prefabricadores en Europa (España, Italia, Francia y Bélgica) y en Estados Unidos. La gran mayoría de los prefabricadores que han oído la presentación han mostrado un interés genuino en la tecnología, porque comprendieron que parece muy sencilla de usar y puede llevar a incrementos significativos de sus márgenes. De todos ellos, aproximadamente 2/3 han decidido verificar en detalle si las reducciones de coste mencionadas más

arriba son realistas en su caso particular. Para ello, han seleccionado algunos proyectos que han diseñado recientemente, y han pedido a Elastic Potential que los rediseñe empleando Losa Alveolar Ranurada para poder ver la diferencia. En todos los proyectos rediseñados hasta la fecha se han logrado ahorros como los mencionados más arriba. Por ejemplo, para proyectos reales situados en Europa, considerando un precio medio de venta de las losas entre 25 y 40 €/m²; las reducciones de coste reales obtenidas en estudios están entre 3 €/m² (para luces cortas y cargas bajas) hasta 10 €/m² (para luces largas y cargas intensas). La carga y la luz tienen una relevancia importante en el resultado: cuanto mayor la luz y la carga, mayor es el ahorro de costes que se puede lograr.

Finalmente, el 90% de aquellos prefabricadores que estudiaron proyectos en detalle, han pedido presupuestos de maquinaria para valorar si harán la inversión. En base a precios reales de maquinaria, todos los estudios de amortización que se han llevado a cabo hasta la fecha han dado periodos de amortización inferiores a 1 año.

Disponibilidad de maquinaria

Elastic Potential considera muy importante, y ha dado prioridad, a tener maquinaria disponible para producir las losas en serie. Por este motivo, hasta la fecha Elastic Potential ha estado trabajando con empresas de maquinaria líderes a nivel global, y todas ellas ven que la Losa Alveolar Ranurada puede ser una opción interesante para sus clientes. Actualmente, el proveedor de maquinaria Prensoland puede suministrar o bien máquinas nuevas que fabrican Losas Alveolares Ranuradas o bien modificaciones en su maquinaria existente para habilitarla para producir Losas Alveolares Ranuradas según las especificaciones de Elastic Potential.

Echo Precast Engineering y UltraSpan (de Progress Group) están actualmente trabajando en el prototipo / concepción de maquinaria que se espera que esté lista y disponible en los primeros meses de 2020.

Elematic ya dispone de una máquina para hacer ranuras sobre losas alveolares previamente fabricadas; y actualmente está trabajando en ajustar esta máquina para los requerimientos de las Losas Alveolares Ranuradas (con expectativa de tenerlas listas a principios de 2020). Por otro lado, Elematic considerará desarrollar una máquina para extruir losas con ranuras (todo de una vez) si recibe un encargo para fabricar dicha máquina.

Nordimpianti tiene una máquina para ranurar capaz de formar ranuras sobre piezas que han sido previamente producidas por una máquina extrusora, una slipformer o una flowformer. Nordimpianti planea hacer los ajustes necesarios en su máquina de ranurado una vez que reciba un encargo para fabricarla.

Spancrete actualmente está evaluando el interés que sus clientes pueden tener en las Losas Alveolares Ranuradas, y actualmente ofrece modificaciones en maquinaria para cubrir estas necesidades.

A cada proveedor de maquinaria que afirme tener maquinaria para fabricar Losas Alveolares Ranuradas, Elastic Potential le pide que pase un proceso de validación de su maquinaria. Esto es una serie de ensayos de laboratorio llevados a cabo sobre losas fabricadas con su maquinaria. Estos ensayos verifican que las losas tengan unos requerimientos mínimos para poder ser consideradas como Losas Alveolares Ranuradas.

Qué se necesita para empezar a usar Losas Alveolares Ranuradas

En primer lugar, un prefabricador querrá verificar si los ahorros descritos más arriba en este artículo son reales en su caso. El modo de verificar esto es contactado con Elastic Potential para seleccionar 2 o 3 proyectos de ejemplo y estudiarlos. Elastic Potential rediseñará estos proyectos (gratuitamente) y se los enviará de vuelta al prefabricador para que pueda evaluar los ahorros de costes que puede obtener en la producción y transporte, y por tanto los potenciales incrementos de márgenes para el prefabricador. Por otro lado, para poder hacer un estudio de amortización, el prefabricador debería solicitar un presupuesto a su proveedor de maquinaria.

Una vez que el prefabricador ha decidido empezar a emplear Losas Alveolares Ranuradas, sólo necesita tres cosas:

a) Aprender como diseñar (calcular) y construir con estas nuevas losas (siguiendo un manual facilitado por Elastic Potencial);

b) Alcanzar un acuerdo con Elastic Potential para emplear la tecnología (incluyendo la patente [8]); c) Comprar una máquina validada a su proveedor preferido. ■

Referencias

- [1] Precast/Prestressed Concrete Institute: PCI Manual for the Design of Hollow Core Slabs and Walls (MNL-126-15E), Third Edition, 2015, Edited by S. K. Ghosh, ISBN 978-0-9968021-0-9.
- [2] European Committee for Standardization (CEN): Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings, Brussels, 2004.
- [3] ACI Committee 318: Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14) and Commentary, 2014, Farmington Hills: American Concrete Institute.
- [4] Beushausen, Hans-Dieter: Long-term performance of bonded concrete overlays subjected to differential shrinkage, PhD Thesis, 2006.
- [5] Beushausen, H.; Alexander, M.G.: Localized strain and stress in bonded concrete overlays subjected to differential shrinkage, Materials and Structures, March 2007, Volume 40, Issue 2; pp. 189-199.
- [6] Santos, Pedro M. D.; Júlio, Eduardo N. B. S.: Interface Shear Transfer on Composite Members, ACI Structural Journal, January-February, 2014; 113-121.
- [7] Fédération internationale du béton (fib): Model Code 2010, final draft. fib Bulletin Nos. 65/66, Lausanne, 2012.
- [8] Sanabra, Marc: Prefabricated floor element, structure comprising prefabricated floor elements and installation for obtaining the prefabricated floor element, EP 3486392, Filed: 12.03.2018, Published: 22.05.2019.



**VERTI
BLOCK**

Bloque Hueco.
Solución Sólida.

+1 (801) 571-2028 | www.verti-block.com