

2021 Special International Symposium on Concrete Pavements: A Tribute to Juan Pablo Covarrubias

Challenging the status quo of concrete pavement design

In recognition of his contributions to concrete pavement design, Juan Pablo Covarrubias Sr., FACI, was honored with an online symposium on March 25, 2021. Twenty speakers summarized the history of concrete pavement design and research in Chile, the United States, and other countries, with a major emphasis on the role Covarrubias had in inspiring his friends and colleagues to think differently.

The symposium was sponsored by the International Society for Concrete Pavements, Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile, ACI, the National Concrete Pavement Technology Center, the American Concrete Pavement Association, and the National Ready Mixed Concrete Association. Jeffery Roesler, University of Illinois at Urbana-Champaign, and Lev Khazanovich, University of Pittsburgh, were the Co-Chairs of the symposium. More than 400 individuals registered for the largely virtual event.

Thin Concrete Pavements

Covarrubias was honored for his creativity and persistence in the development of a new design concept for jointed plain concrete pavement (JPCP). Symposium speakers recounted that previous Chilean JPCP designs typically had joint spacing of about 4.5 m

(about 15 ft), no dowels at joints, a cement-treated base, and asphalt shoulders. For many years, Chile used the American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) design procedure (prior to the adoption of the mechanistic-empirical [ME] design method), and it was widely accepted that pavement slabs cracked from the bottom up.

Covarrubias's early research showed that all pavement slabs in Chile curled upward and heavily traveled truck lanes suffered transverse, corner, and often longitudinal cracking. Covarrubias found that, contrary to the widely accepted concept of bottom-up cracking, fatigue cracks often propagated from the top down. He further showed that upward curling and warping accelerate pavement joint faulting.

As he extended his study of the cracking behavior, Covarrubias recognized that the tensile stresses at the top of pavement slabs could be reduced by changing the geometry of the slab panels. After reducing the panel sizes of JPCP to ensure that each panel would be loaded by no more than one wheelset (Fig. 1), Covarrubias and his son Juan Pablo Covarrubias Jr. developed a concrete thickness design procedure called OptiPave 2, adapting models from the AASHTO Pavement ME,

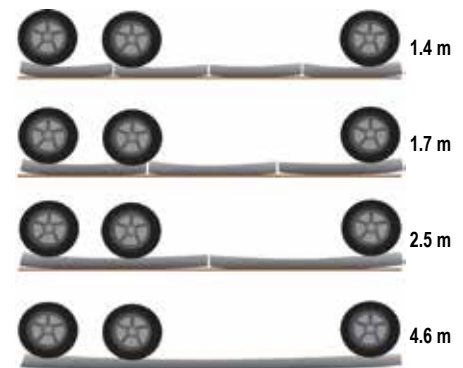


Fig. 1: Thin concrete pavements (TCPs) are achieved by ensuring that panels are loaded by only one wheelset at a time

including finite element analysis, fatigue, faulting, and smoothness, and adding new models for slab capacity and macrofibers. Because the smaller panels had reduced curling and slab liftoff near the joints, they could be designed as thin concrete pavements (TCPs).

Data generated using test sections in Chile, in Guatemala, and at the University of Illinois verified that TCPs have very good fatigue performance. Many of the concepts behind TCPs are described in U.S. Patent 7,571,581, "Concrete Pavement Slabs for Streets, Roads or Highways and the Methodology for the Slab Design," which was issued to Covarrubias on August 11, 2009. Through the years,



Fig. 2: Commercial distribution center in Santiago, Chile



Fig. 3: Alameda Avenue, Santiago, Chile

TCPs have further developed to include:

- Slab panels no more than 2.4 m (8 ft) long;
- A thickness from about 90 to 230 mm (3.5 to 9 in.);
- A granular base with normally 6 to 8% passing the 75 μm sieve for normal rainfall with 150 mm (6 in.) minimum thickness;
- Geotextile separation between the base and subgrade;
- Thin sawcuts 2 to 3 mm (0.08 to 0.12 in.) wide at joints;
- No joint sealant;
- No dowel bars, tie bars, or targeted reinforcement; and
- Lateral confinement with curb, shoulder, or macrofibers.

Snapshots of Projects

Many TCP projects have demonstrated outstanding durability; significant examples include:

One of the first projects constructed with short slabs was a commercial distribution center in Santiago, Chile (Fig. 2), built in 2007 to accommodate 250 heavy trucks per day or 5 million equivalent single-axle loads (ESALs). The slab thickness was 140 mm (5.5 in.) on a granular base with panel sizes of 1.75 x 1.75 m (5.7 x 5.7 ft), and no significant cracking exists after 14 years.

TCP was used to construct an overlay on Alameda Avenue, Santiago, Chile, in 2014 (Fig. 3). This street is one of the most heavily trafficked corridors in the city, with 120 million design ESALs. The overlay slab thickness was 200 mm, placed on an asphalt interlayer of at least 50 mm (2 in.), and over various existing pavement structures in the corridor. The panel sizes were 1.75 x 1.75 m with macrofibers and colored concrete in locations. The street carries very heavy buses, yet it exhibits very few cracks and no joint faulting.

Route 5 of the Pan-American Highway near Talca, Chile, was placed in 2009. This is the most heavily trafficked highway in Chile, with perhaps 10,000 average annual daily truck traffic in both directions. The outer lane is 160 mm (6.25 in.) thick concrete inlay, placed on 60 mm (less than 2.5 in.) of asphalt concrete. A longitudinal joint was cut at the center of the traffic lane, and transverse joints were cut on 2 m (6.6 ft) centers. The joints were cut with a 2 mm saw, and no sealant was used.



Fig. 4: Highway segment from Cauquenes to Chanco in Chile

A highway segment from Cauquenes to Chanco in Chile was opened to traffic in December 2012 (Fig. 4). The slab is 170 mm (6.75 in.) thick and was placed on a 150 mm (6 in.) thick unbound aggregate base with fines limited to less than 8% to promote subdrainage. The base was placed on geotextile fabric. A longitudinal joint was cut 1.75 m from the center line, and the outer slab was 1.95 m (6.4 ft) to keep wheel loads off the edge. The integral shoulder is 0.5 m (1.6 ft) wide. Transverse cuts were made on 2.2 m (7.2 ft) centers. Sawcuts were made using 2 mm blades.

Future of Thin Concrete Pavements

Research has shown that thinner concrete slabs such as TCPs have a much higher flexural capacity than indicated by the modulus of rupture determined from beam tests. Also, polymer macrofibers and steel fibers have been shown to increase the flexural strength and fatigue life of concrete slabs. Using data generated from finite element analyses, a neural network-based stress prediction model is now available in OptiPave 2 for design of pavements to account for expected design inputs such as load configuration and magnitude, slab geometry, and local climate. In addition to roadways, the technology is now being used to construct concrete pavements at commercial and industrial building sites around the world.

Selected for reader interest by the editors.

2021 Simposio Internacional Especial sobre Pavimentos de Concreto: Un tributo a Juan Pablo Covarrubias

Desafiando el estatus quo del diseño de pavimentos de concreto

El 25 de marzo de 2021, Juan Pablo Covarrubias Sr., FACI, fue honrado con un simposio virtual en reconocimiento a sus contribuciones al diseño de pavimentos de concreto. Veinte ponentes resumieron la historia del diseño y la investigación de los pavimentos de concreto en Chile, Estados Unidos y otros países, destacando el rol que tuvo Covarrubias en inspirar a sus amigos y colegas a pensar de manera diferente. El simposio fue patrocinado por la Sociedad Internacional de Pavimentos de Concreto, el Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile, el ACI, el Centro Nacional de Tecnología de Pavimentos de Concreto, la Asociación Americana de Pavimentos de Concreto y la Asociación Nacional de Concreto Premezclado. Jeffery Roesler, de la Universidad de Illinois en Urbana-Champaign, y Lev Khazanovich, de la Universidad de Pittsburgh, fueron los copresidentes del simposio.

Más de 400 personas se inscribieron en el evento, en gran parte virtual.

Pavimentos delgados de concreto

Covarrubias fue galardonado por su creatividad y persistencia en el desarrollo de un nuevo concepto de diseño de pavimento de concreto liso articulado (JPCP). Los ponentes del simposio indicaron que los anteriores diseños chilenos de JPCP solían tener una distancia entre juntas de aproximadamente 4,5 m (unos 15 pies), sin espigas en las juntas, una base de cemento y arcenes de asfalto. Durante muchos años, Chile utilizó el procedimiento de diseño de la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras

Estatales y Transportes (AASHTO) (antes de adoptar el método de diseño mecanicista-empírico [ME]), y se aceptó ampliamente que las losas del pavimento se agrietaban de forma ascendente.

Las primeras investigaciones de Covarrubias mostraron que todas las losas del pavimento en Chile se curvaban hacia arriba y que los carriles para camiones muy transitados sufrían grietas transversales, en las esquinas y, a menudo, longitudinales. Covarrubias descubrió que, a diferencia del concepto ampliamente aceptado de agrietamiento ascendente, las grietas por fatiga a menudo se propagan en sentido descendente. Además, demostró que la curvatura y el alabeo ascendente aceleran el deterioro de las juntas del pavimento.

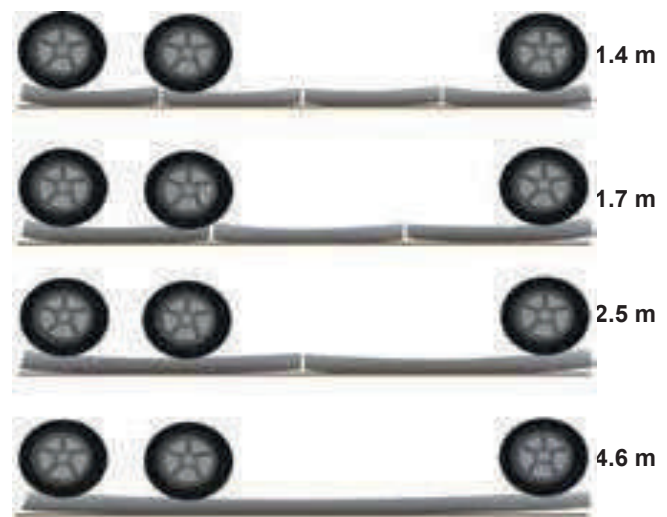


Fig. 1: Los pavimentos de concreto delgados (TCP) se logran asegurando que los paneles son cargados por un solo eje de ruedas a la vez.

Al ampliar su estudio sobre el comportamiento de las grietas, Covarrubias reconoció que los esfuerzos de tracción en la parte superior de las losas del pavimento podían reducirse cambiando la geometría de los paneles de las losas. Después de reducir el tamaño de los paneles del JPCP para garantizar que cada panel no fuera cargado por más de un eje de ruedas (Fig. 1), Covarrubias y su hijo Juan Pablo Covarrubias Jr. desarrollaron un procedimiento de diseño de espesores de concreto llamado OptiPave 2, adaptando los modelos de AASHTO Pavement ME, incluyendo el análisis de elementos finitos, fatiga, defectos y suavidad, y añadiendo nuevos modelos para la capacidad de la losa y las macrofibras. Como los paneles más pequeños presentaban una menor curvatura y levantamiento de la losa cerca de las juntas, podían diseñarse como pavimentos de concreto delgado (TCP).

Los datos obtenidos mediante tramos de prueba en Chile, en Guatemala y en la Universidad de Illinois verificaron que los TCP tienen un muy buen comportamiento ante la fatiga.

Muchos de los conceptos en los que se basan los TCP se describen en la patente estadounidense 7.571.581, “Losas de concreto para calles, carreteras o autopistas y metodología para el diseño de losas”, que se concedió a Covarrubias el 11 de agosto de 2009.

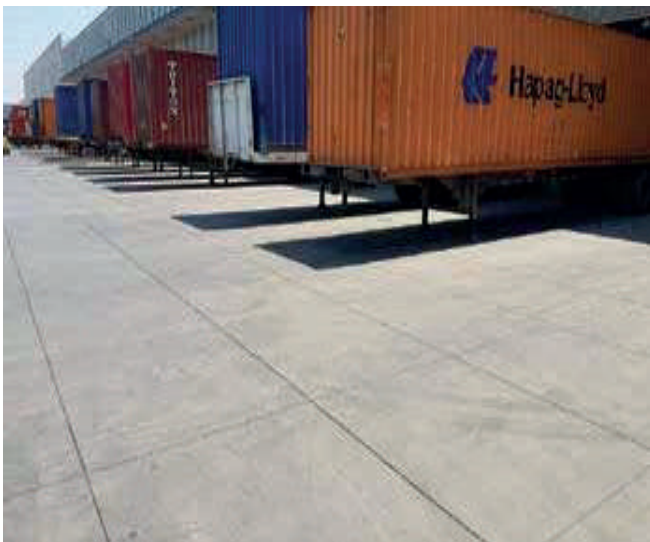


Fig. 2: Centro de distribución comercial en Santiago, Chile

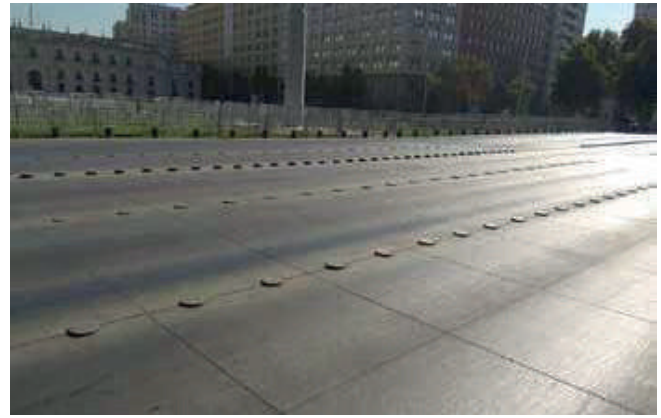


Fig. 3: Avenida Alameda, Santiago, Chile

Instantáneas de proyectos

Muchos proyectos TCP han demostrado una extraordinaria durabilidad; entre los ejemplos más significativos se encuentran:

Uno de los primeros proyectos construidos con losas cortas fue un centro de distribución comercial en Santiago de Chile (Fig. 2), construido en 2007 para acoger 250 camiones pesados al día o 5 millones de cargas equivalentes de un solo eje (ESAL). El espesor de la losa era de 140 mm (5,5 pulgadas) sobre una base granular con tamaños de panel de 1,75 x 1,75 m (5,7 x 5,7 pies), y no existe ningún agrietamiento significativo después de 14 años.

El TCP se utilizó para construir una superposición en la Avenida Alameda, Santiago de Chile, en 2014 (Fig. 3). Esta calle es uno de los tramos más transitados de la ciudad, con 120 millones de ESAL de diseño. El espesor de la losa de recubrimiento era de 200 mm, colocada sobre una capa intermedia de asfalto de 50 mm (2 pulgadas) como mínimo, y sobre varias estructuras de pavimento existentes en el corredor. El tamaño de los paneles era de 1,75 x 1,75 m con macrofibras y concreto coloreado en las ubicaciones. La calle está expuesta a autobuses muy pesados y, sin embargo, presenta muy pocas grietas y ningún defecto en las juntas.

La ruta 5 de la Carretera Panamericana, cerca de Talca, Chile, fue construida en 2009. Se trata de la

autopista más transitada de Chile, con un promedio de 10.000 camiones diarios en ambas direcciones. El carril exterior es una capa de concreto de 160 mm de espesor, construida sobre 60 mm de concreto de asfalto. Se cortó una junta longitudinal en el centro del carril de tránsito y se cortaron juntas transversales en centros de 2 m (6,6 pies). Las juntas se cortaron con una sierra de 2 mm y no se utilizó ningún sellador.



Fig. 4: Tramo de carretera de Cauquenes a Chanco en Chile

En diciembre de 2012 se abrió al tránsito un segmento de la autopista que va de Cauquenes a Chanco, en Chile (Fig. 4). La losa tiene un grosor de 170 mm (6,75 pulgadas) y fue colocada sobre una base de áridos no ligados de 150 mm (6 pulgadas) de grosor con finos limitados al 8% para favorecer el subdrenaje. La base se colocó sobre tejido geotextil. Se cortó una junta longitudinal a 1,75 m de la línea central y la losa exterior era de 1,95 m (6,4 pies) para mantener las cargas de las ruedas fuera del borde. El arcén integral es de 0,5 m (1,6 pies) de ancho. Los cortes transversales se hicieron a cada 2,2 m (7,2 pies). Los cortes de sierra se realizaron con hojas de 2 mm.

El futuro de los pavimentos delgados de concreto

Las investigaciones han demostrado que las losas de concreto más delgadas, como las TCP, tienen una capacidad de flexión mucho mayor que la indicada por el módulo de ruptura determinado en los ensayos de vigas. Asimismo, se ha demostrado que las macrofibras de polímero y las fibras de acero aumentan la resistencia a la flexión y la vida a la fatiga de las losas de

concreto. Al utilizar los datos generados por los análisis de elementos finitos, OptiPave 2 dispone ahora de un modelo de predicción de tensiones basado en redes neuronales para el diseño de pavimentos que considera los datos de diseño previstos, como la configuración y la magnitud de las cargas, la geometría de las losas y el clima local. Además de las carreteras, esta tecnología se utiliza ahora para construir pavimentos de concreto en obras comerciales e industriales en todo el mundo.

Seleccionados por los editores para el interés de los lectores.

La traducción de este artículo correspondió a la Sección Perú

2021 Simposio Internacional Especial sobre Pavimentos de Concreto: Un tributo a Juan Pablo Covarrubias



Traductor: Ing. Jackelyn Soledad Quispe Vasquez



Revisor Técnico: Ing. Luciano Lopez Vinatea