

12^o Congreso Iberoamericano de Pavimentos de Concreto

MAYO 10 AL 13 DE 2023 - Barranquilla, Colombia
Centro de Convenciones Blue Gardens

LA NUEVA REALIDAD DE LOS PAVIMENTOS DE CONCRETO



Cortesía: Diego Jaramillo

Organizan:



Nota legal:

- Las informaciones y conceptos expresados en esta conferencia tienen el propósito de divulgar e informar de manera general sobre los temas relacionados con el concreto, NO son asesoría para una obra en particular.
- PROCEMCO NO es ni pretende ser asesor de proyectos específicos. Cualquier duda con relación a una obra determinada debe ser consultada por el interesado con los respectivos diseñadores e interventores de la misma.
- El uso que se haga de la información y conceptos aquí expresados no implica responsabilidad alguna para PROCEMCO ni para el conferencista; debe ser utilizada por personas idóneas bajo su responsabilidad y criterio.
- Esta información no sustituye las funciones y obligaciones de las personas contractualmente responsables de la concepción, ejecución y vigilancia de los respectivos proyectos.
- PROCEMCO no asume ningún tipo de responsabilidad por la información que divulguen los patrocinadores y por tanto cualquier reclamación relacionada con la calidad, idoneidad y seguridad de los bienes y servicios ofrecidos deben ser atendidos por cada anunciante.



12^o Congreso Iberoamericano de Pavimentos de Concreto

MAYO 10 Al 13 DE 2023 - Barranquilla, Colombia
Centro de Convenciones Blue Gardens

LA NUEVA REALIDAD DE LOS PAVIMENTOS DE CONCRETO

Organiza:



EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS DE CONCRETO Y TRANSFERENCIA DE CARGA EN TÚNELES

CAROL BOCKELMANN
PAVIMENTOS E INFRAESTRUCTURA S.A.S.
COLOMBIA





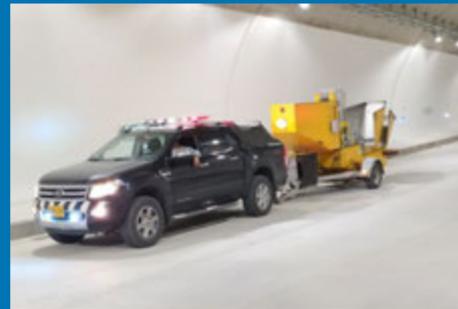
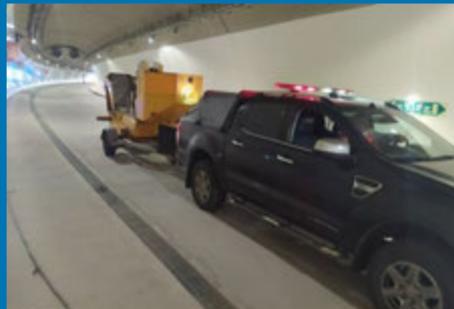
Contenido

- Introducción
- Aspectos técnicos del concepto de Transferencia de carga
- Metodologías de evaluación de eficiencia en la transferencia de carga.
- Consideraciones del análisis de la eficiencia en la transferencia de carga.
- Resultados de la Evaluación de la eficiencia en la transferencia de carga.
- Conclusiones





Introducción





Introducción

La evaluación de la capacidad estructural de los pavimentos rígidos está directamente relacionada con la capacidad de la transferencia de carga en las juntas.

Mediante ensayos no destructivos a través de mediciones de deflectometría, se puede evaluar el desempeño actual de las juntas en relación con el comportamiento esperado en la fase de diseño.



Figura 1. Medición de transferencia de carga en juntas de pavimento rígido con el equipo KUAB-50



Evaluación de Transferencia de Carga

LA NUEVA REALIDAD DE LOS PAVIMENTOS DE CONCRETO



REPÚBLICA DE COLOMBIA
 MINISTERIO DE TRANSPORTE
 AGENCIA NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA

CONTRATO DE CONCESIÓN BAJO EL ESQUEMA DE APP No 007 DE 2014
 Entre:

Concedente:
 Agencia Nacional de Infraestructura

Concesionario:

APENDICE TÉCNICO 4
 INDICADORES

Eficiencia en la
 transferencia de
 carga

E26

Eficiencia en la
 transferencia
 Prueba de carga
 en la junta
 transversal
 Mediante FWD.



Cada segmento debe cumplir la siguiente
 condición:

Valor Puntual: El 100% de las transferencias de
 cargas medidas deben ser superiores al 70%

El incumplimiento del valor puntual generará un
 incumplimiento del segmento.

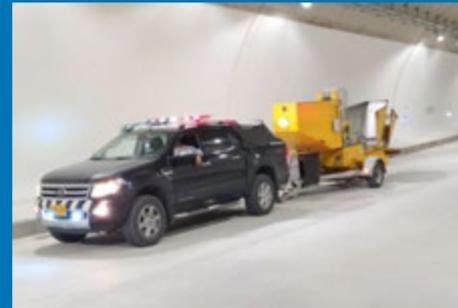
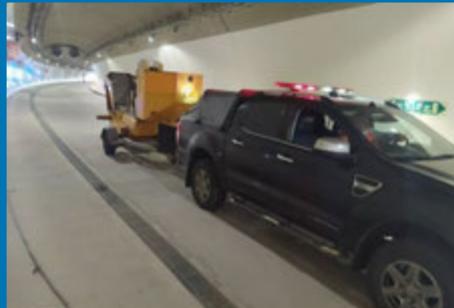
En las concesiones viales de 4G a nivel nacional evalúan sus pavimentos de acuerdo con el apéndice técnico No. 4 Indicadores.

El apéndice establece los requerimientos mínimos de cumplimiento para la evaluación de eficiencia en la transferencia de carga.





Aspectos técnicos del concepto de Transferencia de carga





Evaluación de Transferencia de Carga

LA NUEVA REALIDAD DE LOS PAVIMENTOS DE CONCRETO

Particularidades de la evaluación de la eficiencia en la transferencia de carga de los túneles

- La transferencia de carga es la capacidad de un pavimento rígido para transferir parte de las cargas solicitantes a través de las juntas transversales.
- Su eficiencia es función de múltiples factores y tiende a disminuir a lo largo del tiempo con las repeticiones de carga.





Factores relacionados con la transferencia de carga

Existencia de dispositivos especiales de transferencia de cargas:

- Barras de traspaso o Dovelas

Para el caso de no existir dispositivos especiales:

- Transferencia por roce entre las caras de la junta - Trabazón de agregados
- Abertura de la junta
- Angulosidad de los agregados.
- Gradiente térmico.
- Geometría de las losas

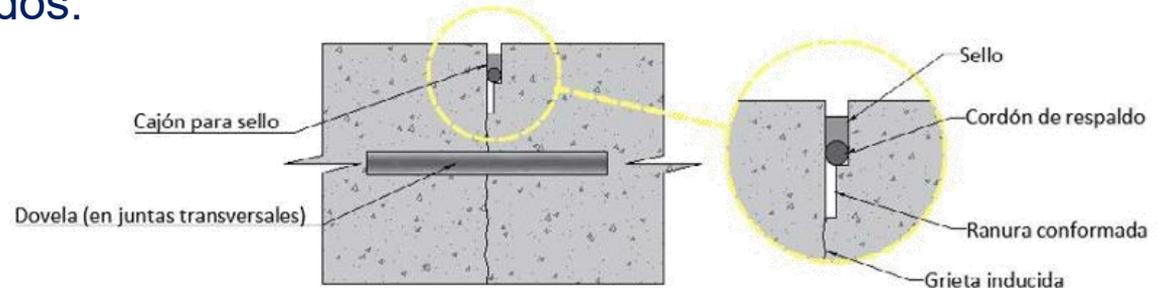
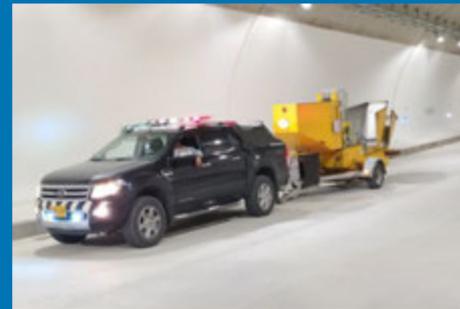
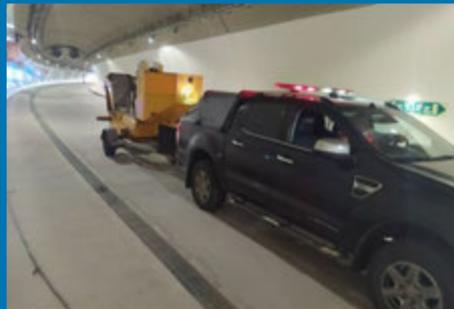


Figura 2. Elementos de la junta



Metodologías de evaluación de eficiencia en la transferencia de carga





Medición de la transferencia de carga

Las mediciones de campo que permiten obtener los parámetros de entrada para el análisis de transferencia de carga se realizan con el deflectómetro de impacto.



Figura 5. Medición de transferencia de carga en juntas de pavimento rígido en túneles

La capacidad de transferencia de carga es medida en función de la eficiencia de la junta:

- Eficiencia en función de la deflexión
- Eficiencia en función del esfuerzo.



Medición de la transferencia de carga

La carga empleada en el desarrollo del ensayo es ubicada a 0.15 m de la junta, permitiendo medir la transferencia de carga a 0.15 m en la losa adyacente no cargada:

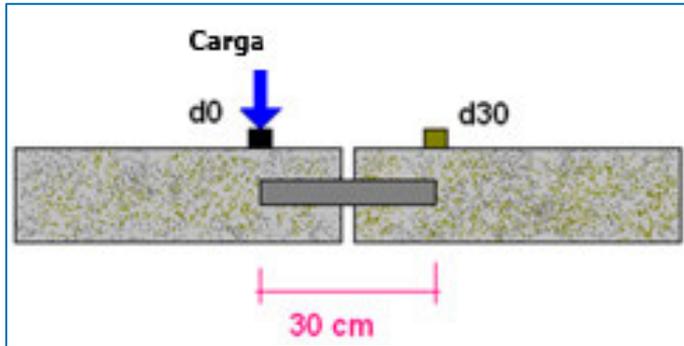


Figura 6. Esquema de medición de transferencia de carga



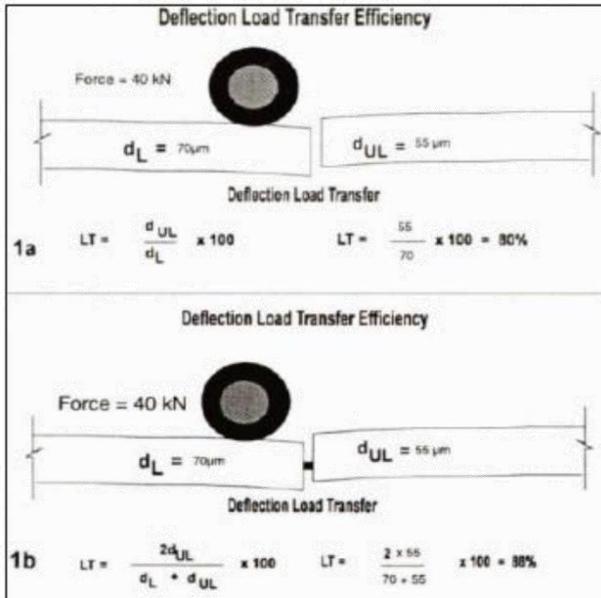
Figura 7. Demarcación de puntos a evaluar



Figura 8. Posicionamiento de los sismómetros



Metodologías de evaluación de eficiencia en la transferencia de carga



$$TC = \frac{D_{30}}{D_0} * 100$$

$$TC = \frac{2 * D_{30}}{D_0 + D_{30}} * 100$$

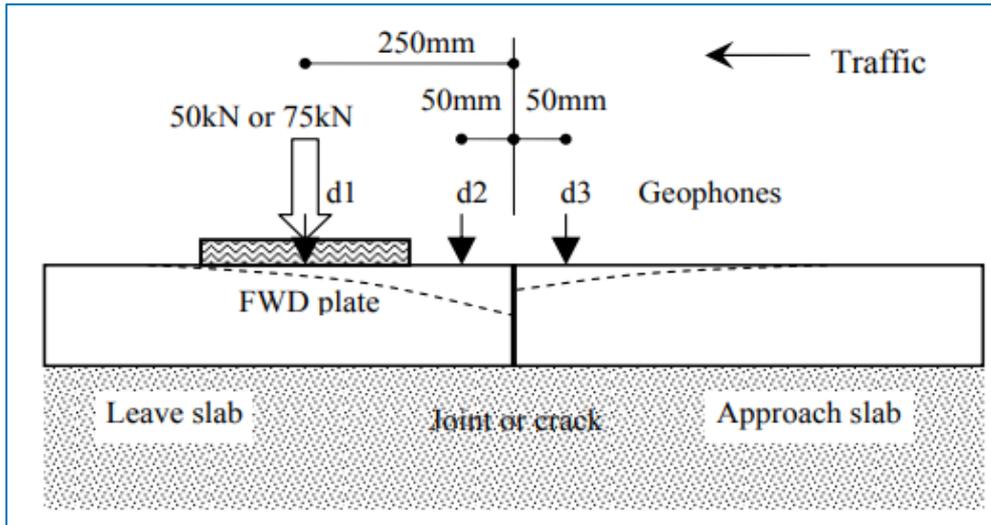
- TC = Eficiencia de la transferencia de carga en porcentaje.
- D30 = Deflexión a 30 cm del centro del plato de carga, losa no cargada.
- D0 = Deflexión en el centro de plato de carga, losa cargada.

Figura 9. Metodologías de evaluación de eficiencia en la transferencia de carga



Metodologías de evaluación de eficiencia en la transferencia de carga

En Inglaterra el análisis de TC mantiene consideraciones similares:



$$LTE = \frac{\text{deflexión de la losa sin carga}}{\text{deflexión de la losa cargada}}$$

$$LTE = \frac{d3}{d2} * 100\%$$

Figura 10. Metodologías de evaluación de eficiencia en la transferencia de carga



Validación de eficiencia en la transferencia de carga con las dos ecuaciones:

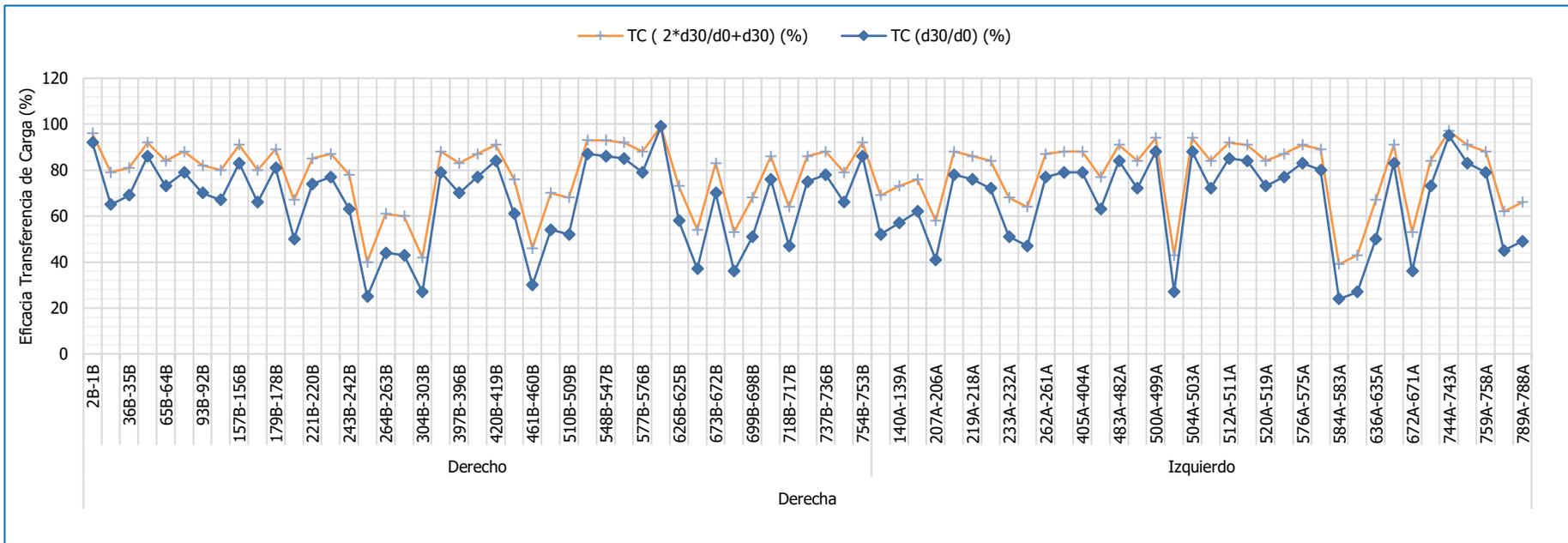
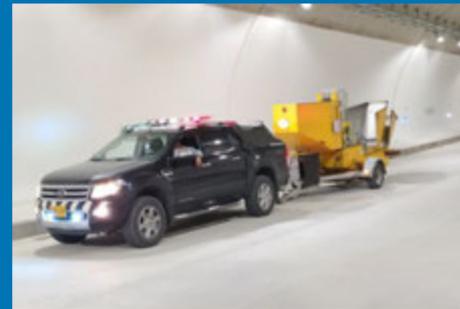
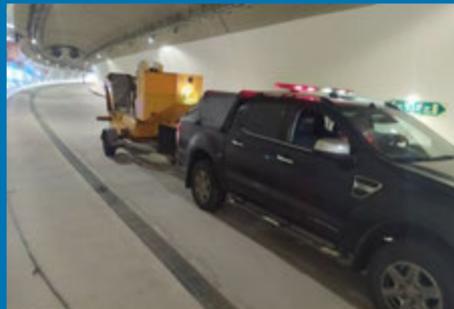


Figura 11. Evaluación de eficiencia en la transferencia de carga empleando las dos ecuaciones de las metodologías planteadas



Consideraciones generales del análisis de la eficiencia en la transferencia de carga





Consideraciones del análisis de la eficiencia en la transferencia de carga

Casos extremos que pueden darse en la medición de la eficiencia en la transferencia de carga:

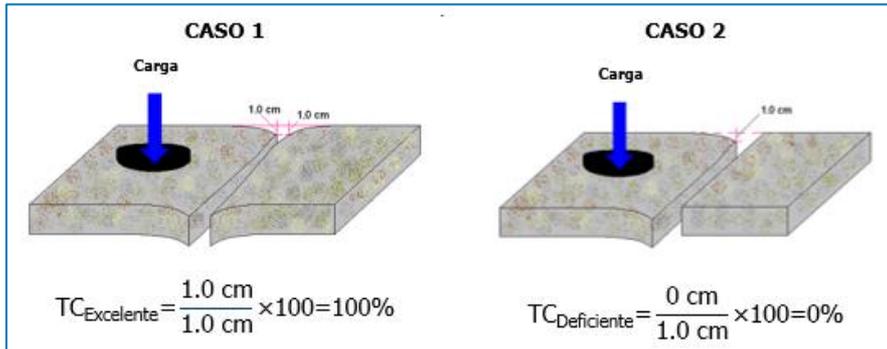


Figura 12. Casos extremos de evaluación de transferencia de carga

- Caso 1: Junta con una excelente eficiencia en la transferencia de carga.
- Caso 2: Junta sin transferencia de carga.



Factores que alteran los resultados de transferencia de carga

- Temperatura.

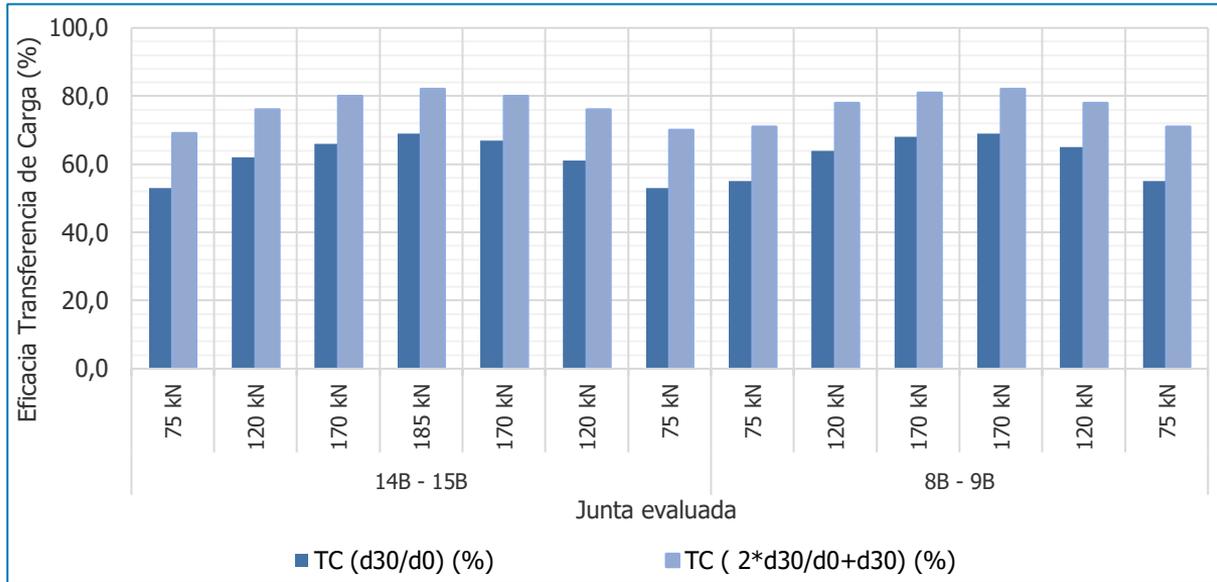
Por lo general, se obtienen valores más altos a temperaturas elevadas, ya que las losas se dilatan y se traban entre sí.

También debe tenerse en cuenta que un gradiente de temperatura a través de la losa puede afectar a la eficiencia de la transferencia de carga.



Factores que alteran los resultados de transferencia de carga

- Cantidad y magnitud de las cargas.



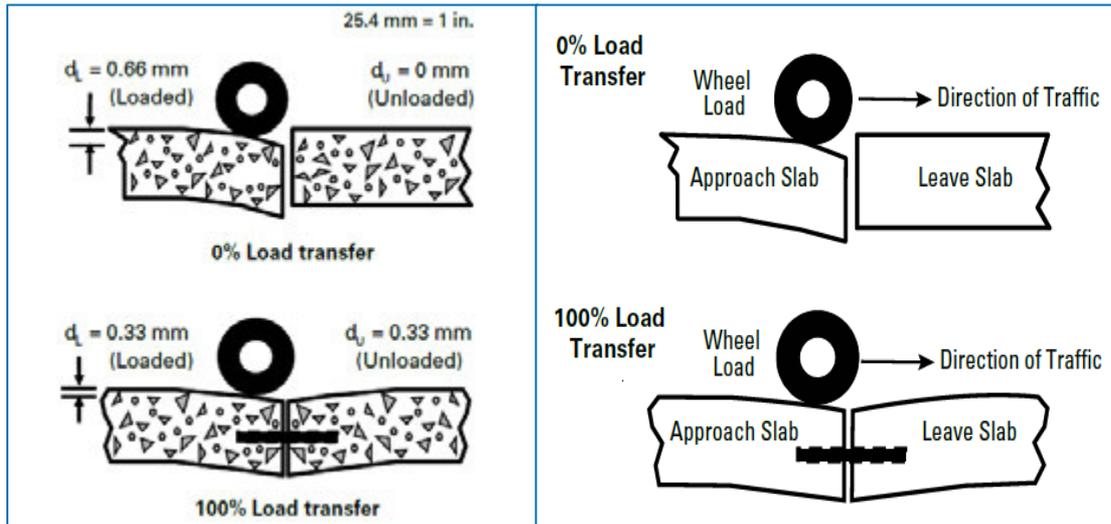
Según los resultados de medición, a mayor carga aplicada mayor es la eficiencia en la transferencia.

Figura 13. Evaluación de la eficiencia en la transferencia variando la carga aplicada



Factores que alteran los resultados de transferencia de carga

- Presencia de barras de transferencia.



Las barras de transferencia posibilitan una mejora en la condición de la eficiencia de la transferencia de carga.

Figura 14. Influencia de inclusión de barras en las juntas



Factores que alteran los resultados de transferencia de carga

- Capa de soporte.

A mayor capacidad de soporte mayor variación se puede esperar de la eficiencia en la transferencia de carga.

- Angulosidad de los agregados del concreto.

Influyen en la trabazón de agregados y permiten un mayor desarrollo de transferencia de carga.

- Espaciamiento de las juntas.



Factores que alteran los resultados de transferencia de carga

Otros factores que pueden alterar los resultados:

- Módulo de elasticidad.
- Espesor de la losa.

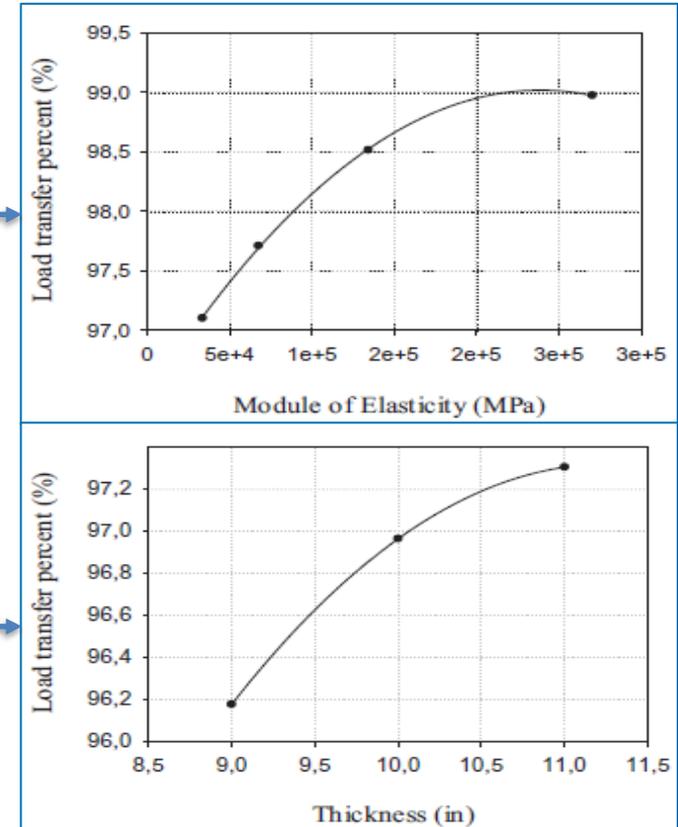


Figura 15. Transferencia de carga en función de Módulo de elasticidad (arriba) y en función del espesor de la losa (abajo).



Evaluación de la eficiencia en la transferencia de carga

A nivel general se define que una transferencia de carga óptima debe estar por encima del 70%, una transferencia de carga aceptable se encuentra entre el 50% y el 70% y una transferencia deficiente se da cuando los resultados están por debajo del 50%.

La exigencia de cumplimiento en los apéndices técnicos de las concesiones indica:

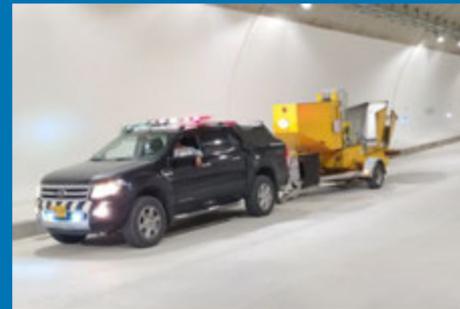
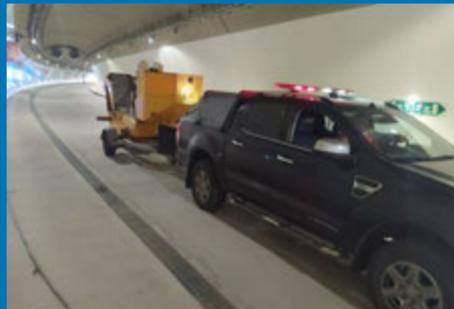
TC > 70%.

CALIFICACIÓN	PORCENTAJE DE TRANSFERENCIA DE CARGA
Excelente	90-100
Buena	75-89
Aceptable	50-74
Mala	25-49
Muy Mala	0-24

Tabla 1. Calificación de la transferencia de carga según la AASHTO 2002



Resultados del análisis de la eficiencia en la transferencia de carga en túneles de diferentes proyectos a nivel nacional





Pavimento del Túnel 1: Estructura y parámetros del diseño

Capa	Espesor (cm)
Losa de Concreto	24
Subbase Granular	25
Estrato Rocoso	-
Total Estructura	49



Figura 16. Espesores en las losas del Túnel 1.

Geometría de las losas:

- Longitud de las losas: 5.25 m
- Ancho de los carriles: CD 4.1m, CI 4.5 m.

Barras de transferencia:

- Diámetro: 1 ¼" (32 mm).
- Longitud embebida: 225 mm considerando un largo de 450 mm.
- Separación entre centros: 300 mm.

Temperatura media de la zona 27°C
Menos de 1 año en servicio



Pavimento del Túneles 2 al 5: Estructura y parámetros del diseño

Capa	Espesor (cm)
Losa de concreto - MR 4.5	29
Mezcla MDC 25	4
Subbase granular	25
Subrasante	CBR > 10%
Total Estructura	58

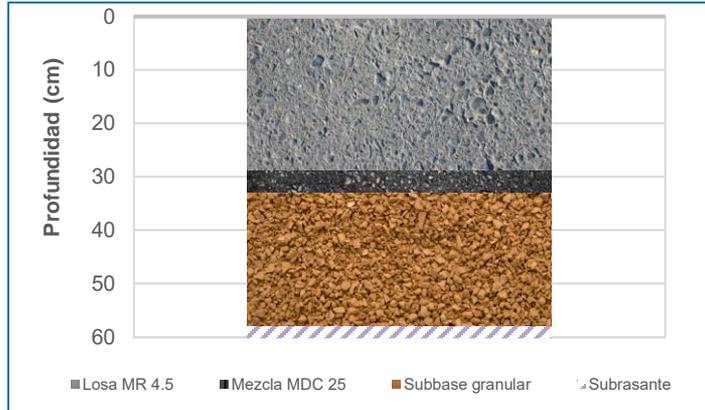


Figura 17. Espesores en las losas del Túnel 1.

Geometría de las losas:

- Longitud de las losas: 5.00 m
- Ancho de los carriles: 4.30 m.

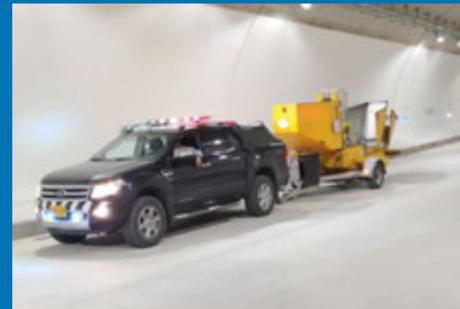
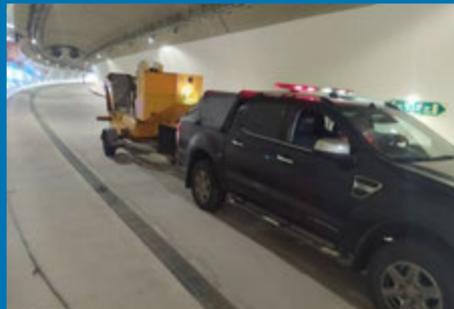
Barras de transferencia:

- Diámetro: 1 ¼" (32 mm).
- Longitud embebida: 225 mm considerando un largo de 450 mm.
- Separación entre centros: 300 mm.

Temperatura media de la zona 24°C
Menos de 2 años en servicio



Generalidades de los pavimentos en los túneles evaluados





Resultados del análisis de la eficiencia en la transferencia de carga en túneles de diferentes proyectos a nivel nacional (Colombia)

Caso de estudio Túnel 1: valores que oscilan entre el 10% y el 100%, y cerca del 30% de las juntas evaluadas no cumplía con el indicador establecido para la concesión del 70%.

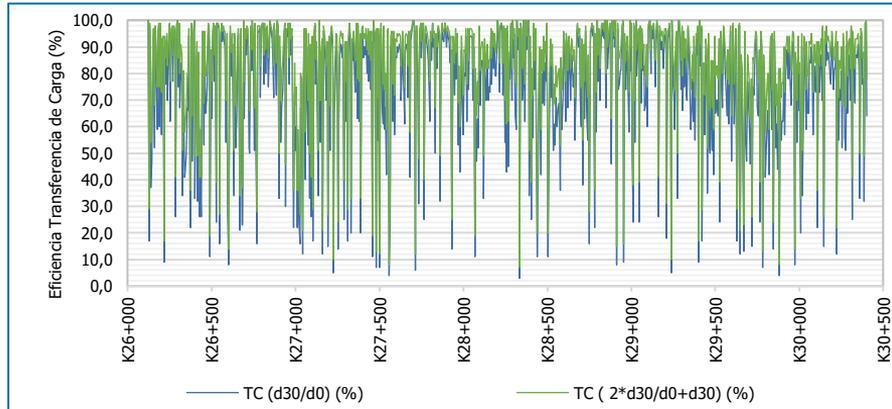


Figura 18. Evaluación de transferencia de carga en la calzada derecha – Túnel 1.

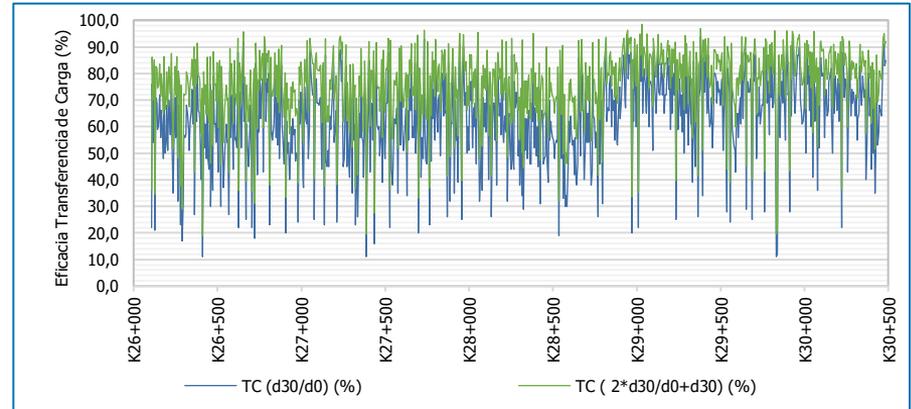


Figura 19. Evaluación de transferencia de carga en la calzada izquierda – Túnel 1.



Evaluación de Transferencia de Carga

LA NUEVA REALIDAD DE LOS PAVIMENTOS DE CONCRETO

Resultados del análisis de la eficiencia en la transferencia de carga en túneles de diferentes proyectos a nivel nacional (Colombia)

Hay que considerar que los pavimentos evaluados:

- Tienen menos de 2 años en servicio.
- Fueron diseñados por el método de la PCA.
- Tienen materiales de apoyo bastante rígidos.





Análisis de capacidad estructural para validación de la condición estructural del pavimento: Deflexión central

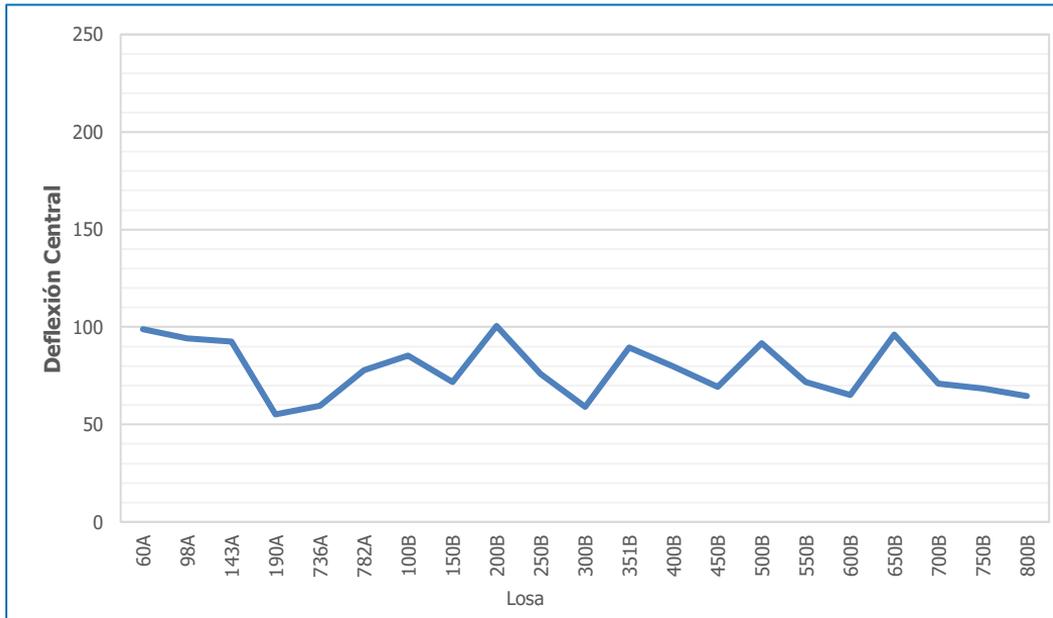
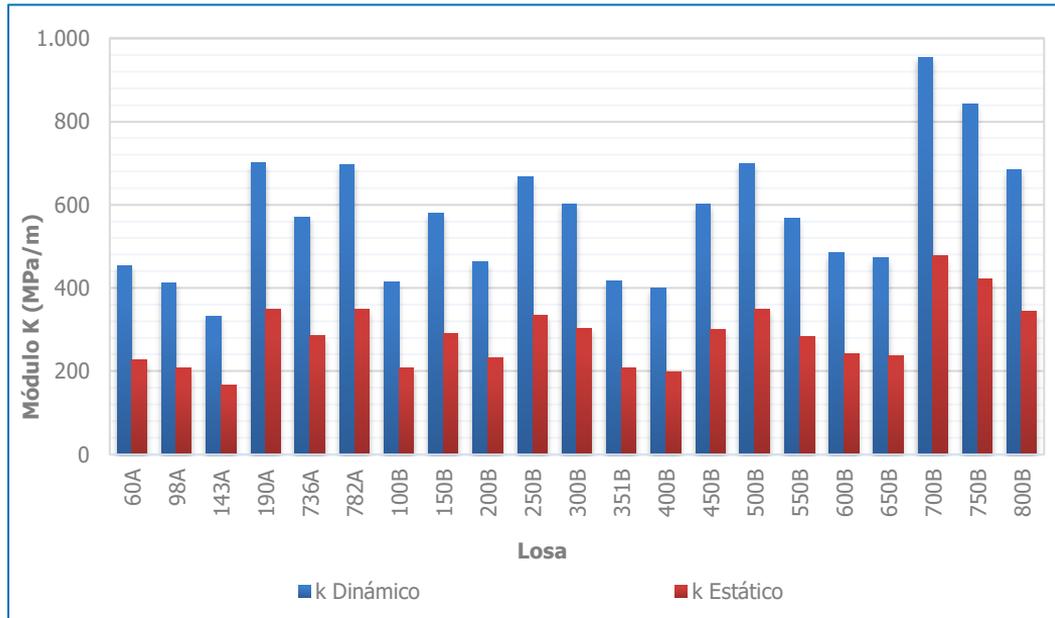


Figura 21. Evaluación del módulo de reacción K en las losas del Túnel 1.



Análisis de capacidad estructural para validación de la condición estructural del pavimento: Módulos de Reacción



Las losas de concreto evaluadas en el Túnel 1 en términos de K dinámico, tienen valores que oscilan entre 300 MPa/m y 700 MPa/m, mientras que el módulo K estático varía entre 150 MPa y 350 MPa.

Figura 22. Evaluación del módulo de reacción K en las losas del Túnel 1.



Análisis de capacidad estructural para validación de la condición estructural del pavimento: Retrocálculo de módulos de las capas del pavimento

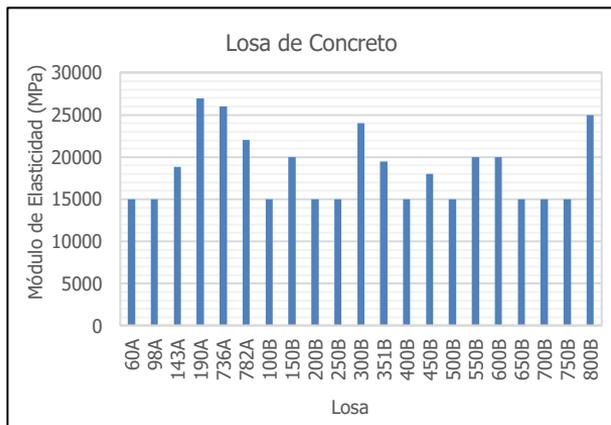


Figura 23. Módulos de la losa de concreto.

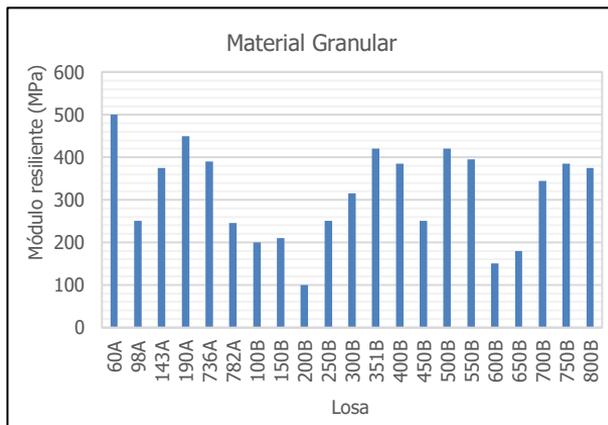


Figura 24. Módulos de la losa del material granular.

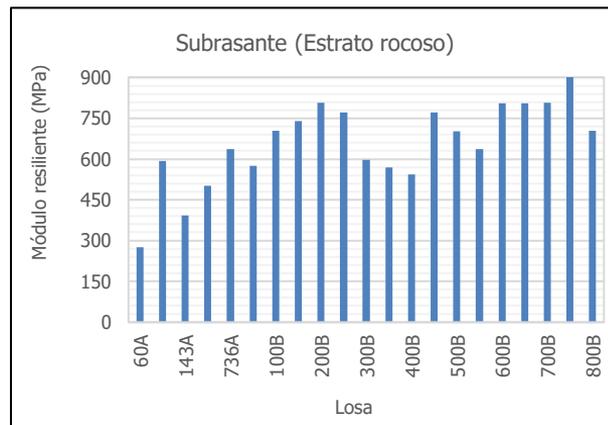


Figura 25. Módulos de la losa de la subrasante.



Modelación en DowelCAD en el análisis de transferencia

Modelar la eficiencia de la transferencia de carga para el proyecto

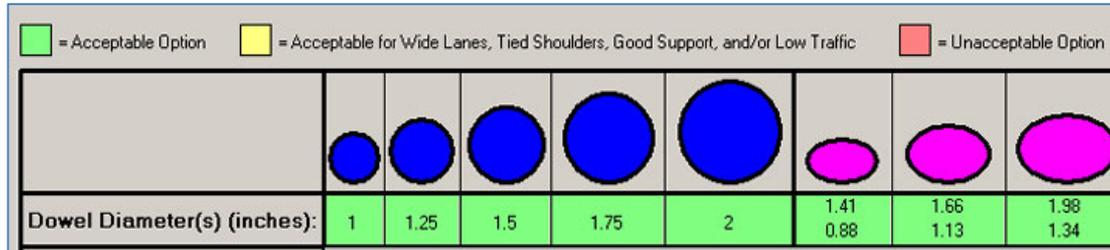


Figura 26. Tipos de pasadores que analiza DowelCAD.

Permite analizar pasadores para estimar su desempeño en lo referido a la transferencia de carga por deflexión y por esfuerzo y a través de una gama de colores, indica los rangos de eficiencia.



Modelación DowelCAD en el análisis de transferencia

Rangos de eficiencia de la transferencia de carga:

- **VERDE:** Opciones de tamaño / forma aceptables según los criterios para la transferencia de carga de deflexión y la tensión del pasador ($TC > 70\%$).
- **AMARILLO:** Una combinación de tamaño / forma del pasador donde la transferencia de carga de deflexión está dentro del rango de 50 a 70%
- **ROJO:** las transferencias de carga de deflexión que están por debajo del 50% desencadenarán esta condición; no se recomienda el tamaño / forma del pasador correspondiente.



Implementación de software DowelCAD en el análisis de transferencia

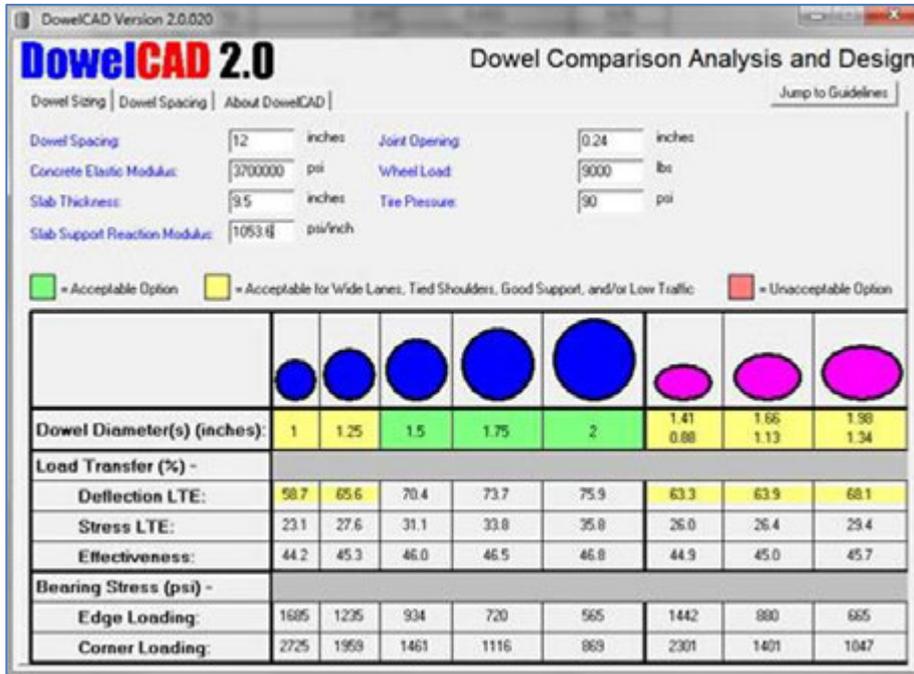
Parámetros de evaluación que emplea el software:

Los parámetros de evaluación que emplea el software corresponden a:

- Espaciamiento de las dovelas (pulg.).
- Módulo de elasticidad del concreto (psi).
- Espesor de la losa (pulg.).
- Módulo de reacción K (psi/in).
- Abertura de la junta (pulg.).
- Carga de una rueda (lbs).
- Presión de inflado (psi).



Análisis del valor teórico de transferencia con DowelCAD para Túnel 1



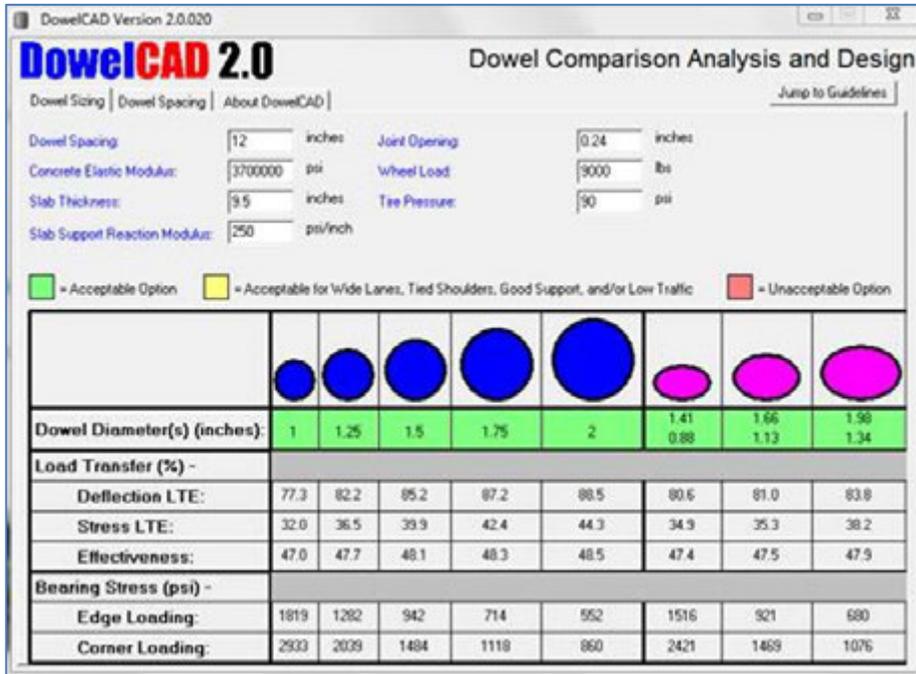
La transferencia de carga esperada con pasadores de sección transversal circular de 1 ¼" oscila entre 50% y 70% (color amarillo).

Esta condición coincide con el resultado de la evaluación mostrada previamente.

Figura 27. Análisis de diseño con DowelCAD – Túnel 1 (k dinámico de 350 MPa).



Análisis del valor teórico de transferencia con DowelCAD (caso hipotético)

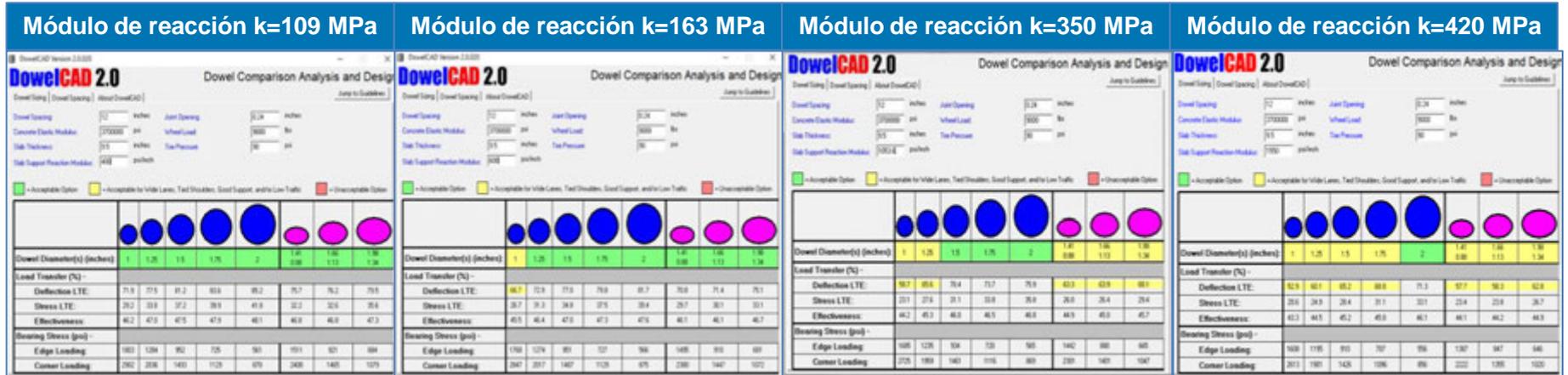


Se planteó un modelo en donde todos los parámetros se mantienen constantes a excepción del módulo de reacción K, donde se consideró una magnitud de 250 psi/in (68 MPa/m), que coincide con un K típico de una estructura conformada por un CBR de subrasante del 10% más una capa de subbase granular de 20 cm de espesor.

Figura 28. Análisis de diseño con DowelCAD – Túnel 1 (k dinámico de 68 MPa).



Análisis del valor teórico de transferencia con DowelCAD (comparativo)

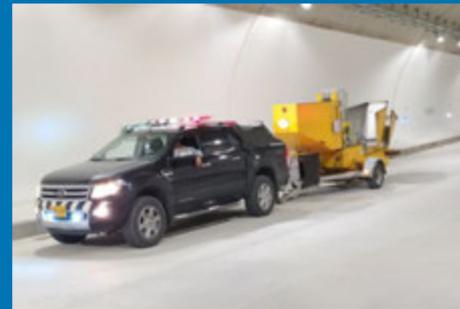
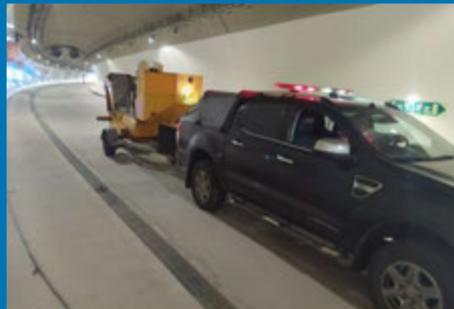


Módulo de Reacción k (MPa)	Transferencia de carga según diámetro y forma de la barra							
	Diámetro circular (pulgadas)				Diámetro ovalado (pulgadas)			
	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	1.41/0.88	1.66/1.13	1.98/1.34
109	71.9	77.5	81.2	83.6	85.2	75.7	76.2	79.5
163	66.7	72.9	77	79.8	81.7	70.8	71.4	75.1
350	58.7	65.6	70.4	73.7	75.9	63.3	63.9	68.1
420	52.9	60.1	65.2	68.8	71.3	57.7	58.3	62.8

Figura 29. Análisis de diseño con DowelCAD – Túnel 1 con diferentes módulos de reacción.



Conclusiones





Evaluación de Transferencia de Carga

LA NUEVA REALIDAD DE LOS PAVIMENTOS DE CONCRETO

Consideraciones finales

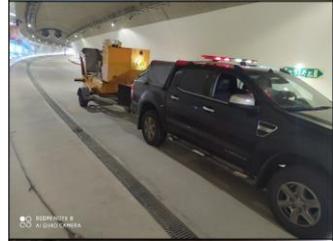
- ❖ Llama la atención que pavimentos diseñados con metodologías ampliamente conocidas, y al poco tiempo de puesta en servicio, presentan resultados de transferencia de carga en un rango entre 50% y 70%.
- ❖ Un resultado de transferencia de carga del orden del 50% en estructuras de pavimento cuya fundación es rígida, no necesariamente da indicios de una baja capacidad estructural del conjunto pavimento - fundación.
- ❖ Es necesario ejecutar intervenciones inmediatamente para aumentar la TC?





Consideraciones finales

- ❖ La rigidez del soporte de las losas de concreto esta relacionada inversamente proporcional con la magnitud de la eficiencia de la transferencia de carga, es decir, a mayor rigidez del soporte de las losas, los resultados muestran menor transferencia de carga.
- ❖ El análisis de eficiencia en la transferencia de carga debe acompañarse de una rigurosa evaluación de la capacidad estructural del pavimento.



12^o Congreso Iberoamericano de Pavimentos de Concreto

MAYO 10 Al 13 DE 2023 - Barranquilla, Colombia
Centro de Convenciones Blue Gardens

LA NUEVA REALIDAD DE LOS PAVIMENTOS DE CONCRETO



GRACIAS

carol.bockelmann@pavinfra.com
adriana.rodriguez@pavinfra.com
angela.aparicio@pavinfra.com
juan.cabrales@pavinfra.com

