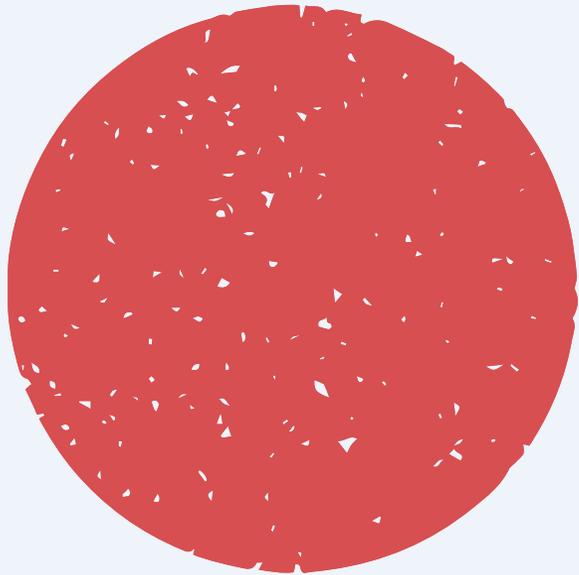


DISEÑO Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE PAVIMENTOS URBANOS EN LA REGIÓN DE MAGALLANES

22 de Agosto de 2023



Introducción



La pavimentación de vías urbanas es un aspecto crucial para el desarrollo y la infraestructura de las ciudades. Sin embargo, en regiones con climas fríos, como es el caso de nuestra región, se presentan desafíos adicionales que deben ser abordados de manera específica y cuidadosa.

El clima frío y subpolar oceánico de nuestra región se caracteriza por temperaturas extremadamente bajas, fuertes vientos, precipitaciones frecuentes y ciclos repetitivos de congelamiento y deshielo.

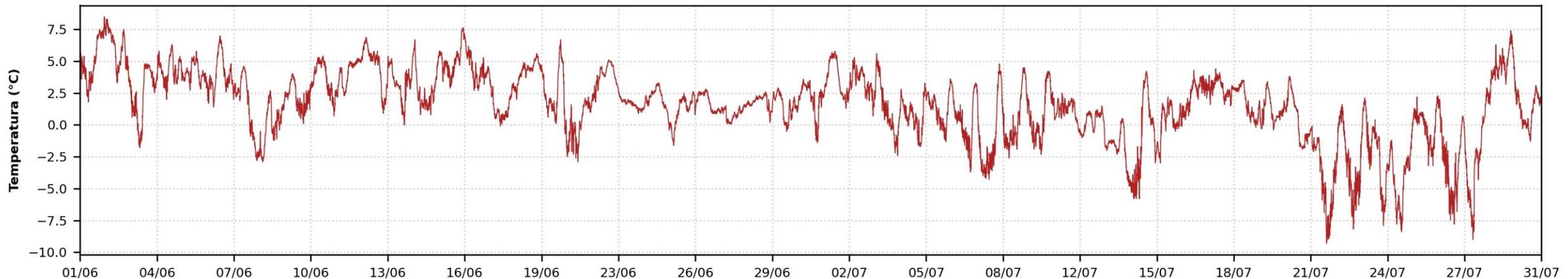


Contexto: clima región de Magallanes

La región de Magallanes y de la Antártica Chilena, tiene un clima frío y subpolar oceánico. Las características de este tipo clima son:

a) Temperaturas: Las temperaturas son bajas durante todo el año. En invierno, las temperaturas promedio oscilan entre $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $5\text{ }^{\circ}\text{C}$, mientras que, en verano, las temperaturas promedio varían entre $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $12\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pueden ocurrir heladas durante todo el año.

Carlos Ibañez, Punta Arenas Ap. (520006)



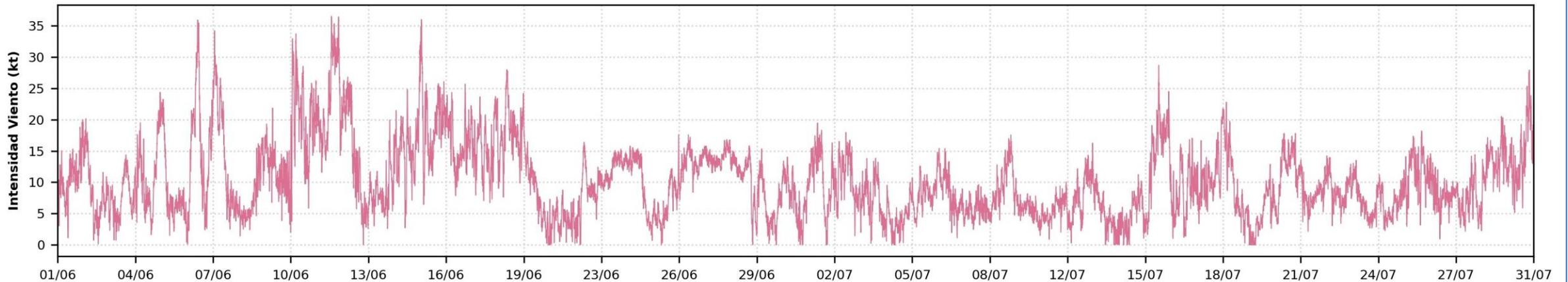
Fuente: www.meteochile.gob.cl



Contexto: clima región de Magallanes

La región de Magallanes y de la Antártica Chilena, tiene un clima frío y subpolar oceánico. Las características de este tipo clima son:

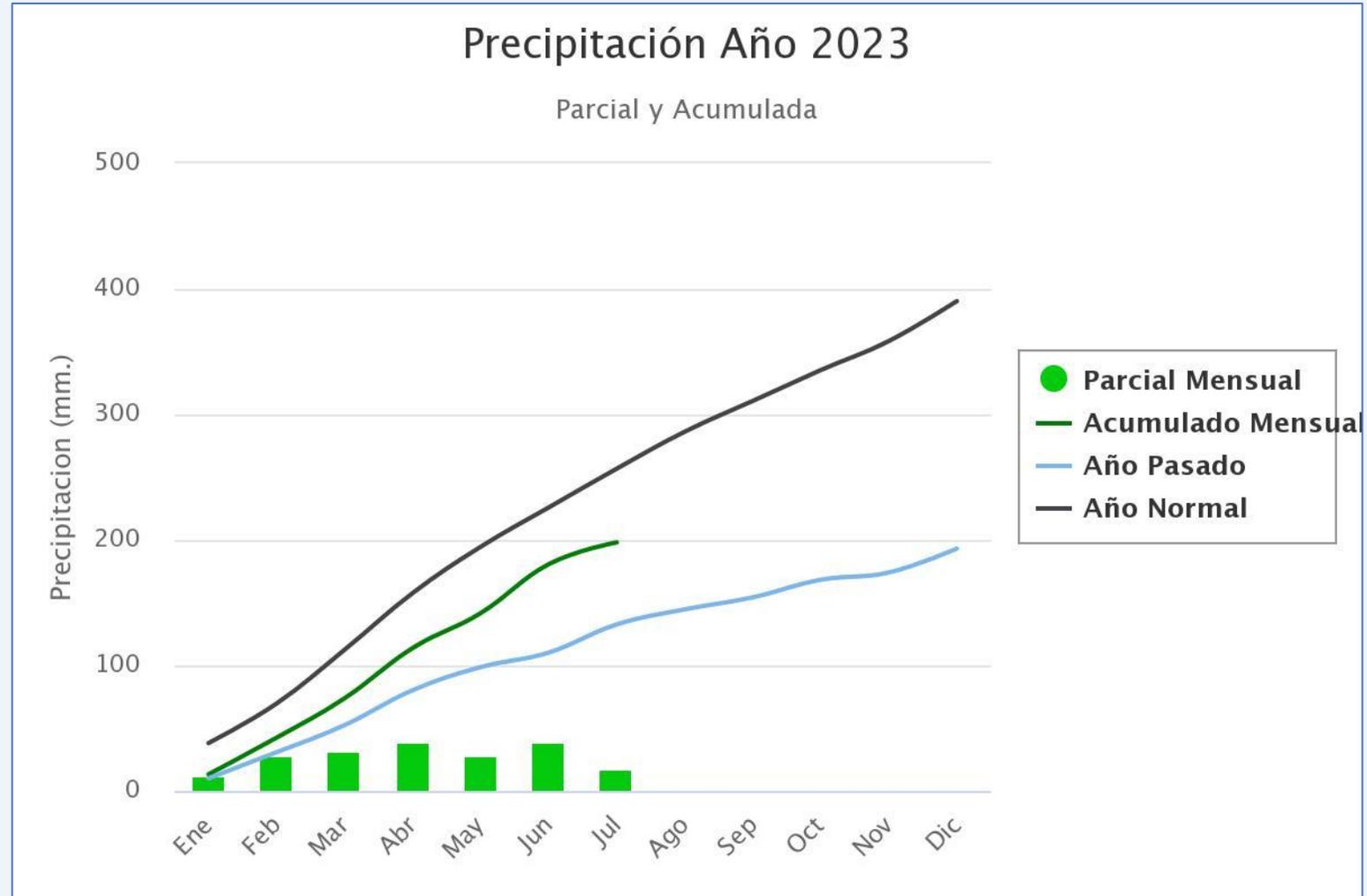
b) Viento: La región de Magallanes es conocida por sus fuertes vientos. El viento es constante y puede ser bastante intenso, especialmente en las zonas costeras y en los canales. Esta característica es una influencia clave en el clima de nuestra región.



Contexto: clima región de Magallanes

La región de Magallanes y de la Antártica Chilena, tiene un clima frío y subpolar oceánico. Las características de este tipo clima son:

c) Precipitación: Magallanes tiene una precipitación relativamente alta durante todo el año. La mayor parte de la precipitación se produce en forma de lluvia.



Recomendaciones técnicas

Para llevar a cabo una obra de hormigón en condiciones de climas fríos, hay algunas recomendaciones técnicas basadas en el código ACI 318 (American Concrete Institute) y la ASTHOO (American Association of State Highway and Transportation Officials), así como nuestra normativa vigente.

a) Selección de mezcla de hormigón: Se Utilizan mezclas de hormigón diseñada específicamente para resistir las condiciones climáticas frías. Esto puede incluir la adición de aditivos especiales, como aceleradores de fraguado y aire incorporado para mejorar la resistencia al congelamiento y al deshielo

b) Cuidado en la colocación: Se evita la colocación de hormigón a temperaturas extremadamente bajas y evite la exposición a corrientes de aire frío o congelación rápida.

c) Curado adecuado: Proporcionar un proceso de curado adecuado para el hormigón después de la colocación.

d) Protección contra la congelación y el deshielo: se debe proporcionar protección adecuada contra la congelación y el deshielo durante la etapa de curado y después de que el hormigón haya alcanzado una resistencia inicial suficiente.



EFEECTO DEL AIRE INCORPORADO:

Es necesario considerar un porcentaje de aire en las mezclas de hormigón en climas fríos debido al efecto del congelamiento y deshielo en el material. El aire atrapado en el hormigón actúa como una protección contra los daños causados por el ciclo de congelamiento y deshielo.

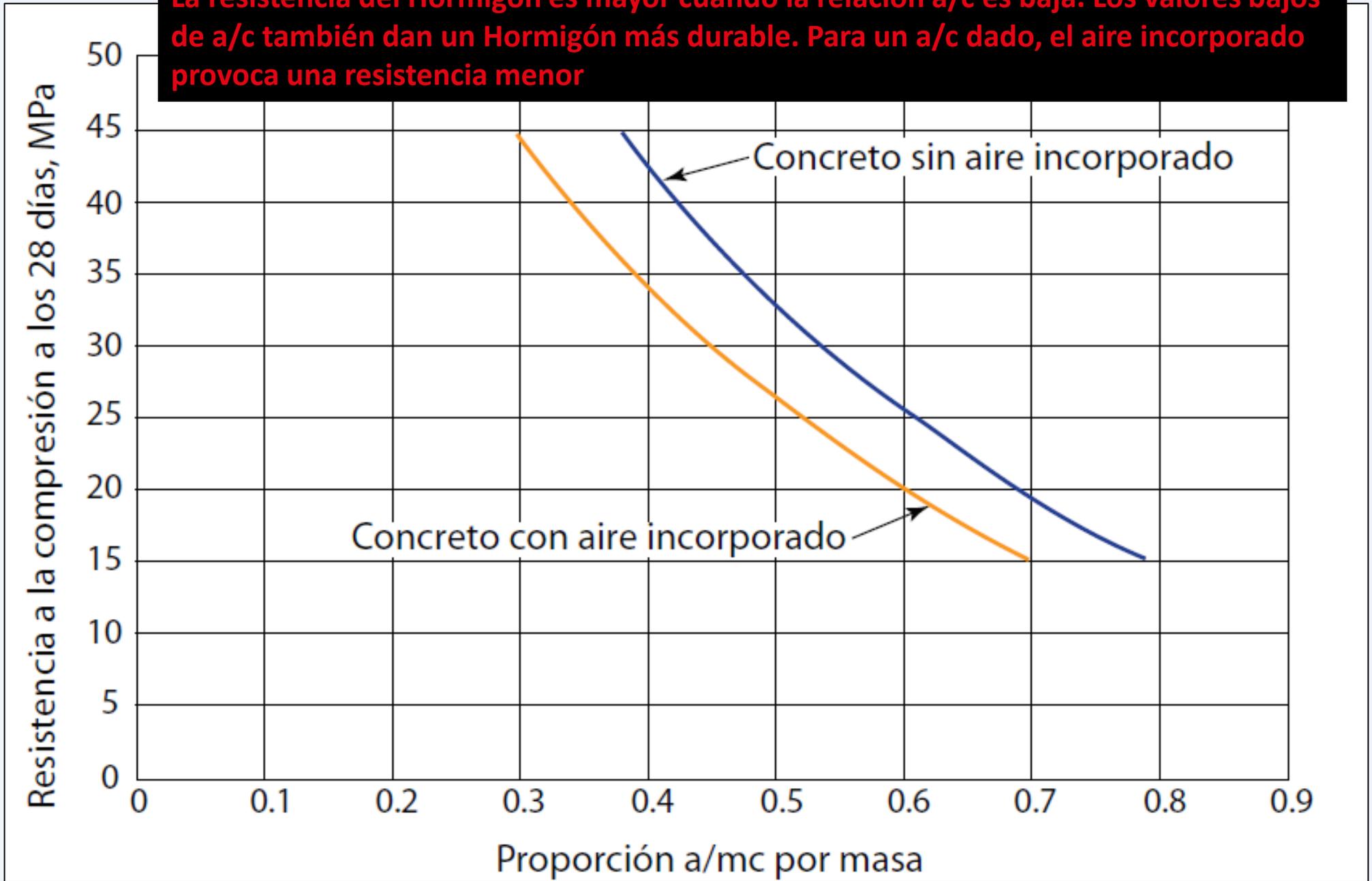
Cuando el agua presente en el hormigón se congela, tiende a expandirse, generando presiones internas que pueden provocar fisuras y daños en el material.

El aire atrapado en la mezcla de hormigón proporciona un espacio para que el agua congelada se expanda sin generar presiones internas excesivas. Actúa como una especie de "amortiguador", reduciendo la presión y evitando el daño.

En resumen, el aire atrapado en las mezclas de hormigón en climas fríos proporciona una protección contra los daños causados por el congelamiento y deshielo al permitir la expansión del agua congelada sin generar presiones internas excesivas.

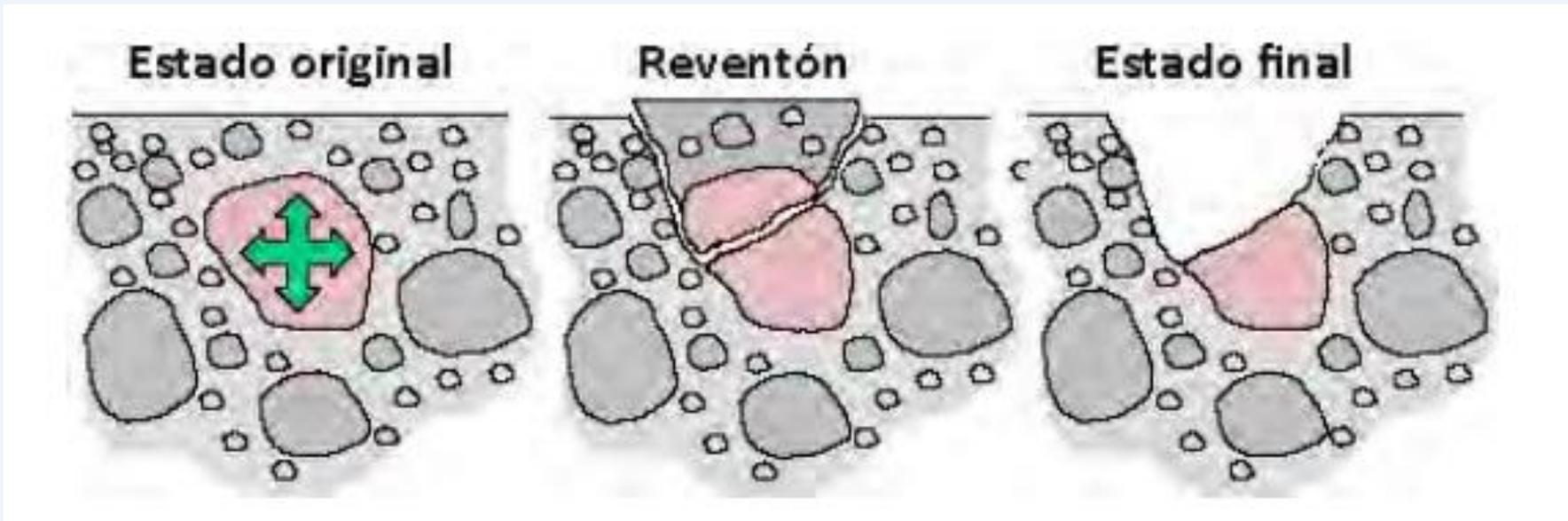


La resistencia del Hormigón es mayor cuando la relación a/c es baja. Los valores bajos de a/c también dan un Hormigón más durable. Para un a/c dado, el aire incorporado provoca una resistencia menor



DAÑOS TÍPICOS DE PAVIMENTOS EN CLIMAS FRIOS

- **Fisuración por congelamiento y deshielo**: Los ciclos repetitivos de congelación y deshielo del agua en las fisuras del pavimento pueden provocar daños por expansión y contracción, resultando en fisuras y grietas.



Es posible que se produzcan múltiples ciclos de hielo-deshielo en un solo día, especialmente durante el invierno. Si las temperaturas son lo suficientemente bajas, es posible que el agua se congele durante la noche o en las primeras horas de la mañana y luego se derrita durante las horas más cálidas del día.



Estudios, como el llevado a cabo por Hossain et al. (2018), han demostrado que los ciclos repetitivos de congelación y deshielo del agua en las fisuras del pavimento pueden provocar daños significativos debido a la expansión y contracción resultante.

Investigaciones como la de Li et al. (2016) han observado que cuando el agua penetra en las fisuras de la superficie del pavimento y posteriormente se congela, se genera una presión interna que ejerce fuerzas expansivas sobre las paredes de la fisura. Durante el proceso de deshielo, estas fisuras se contraen, lo que puede resultar en la formación y propagación de fisuras y grietas en el pavimento. Además, el estudio de Zhang et al. (2019) ha señalado que este ciclo repetitivo de expansión y contracción puede debilitar la integridad estructural del pavimento a lo largo del tiempo, comprometiendo su durabilidad y resistencia.



- **Desgaste y erosión por la acción del hielo y la nieve:** La presencia de hielo y nieve en las vías puede causar desgaste en la superficie del pavimento debido al tráfico y al uso de elementos externos para derretir el hielo. Además, la acción mecánica del hielo en el proceso de congelación y deshielo puede provocar erosión de la superficie.

- **Efecto de la Sal sobre los pavimentos:**

La sal puede provocar el desprendimiento y deterioro de la superficie del pavimento de hormigón. El proceso de congelación y deshielo repetido puede hacer que el agua con sal penetre en las fisuras y poros del hormigón, lo que resulta en la formación de fisuras más grandes y un mayor daño superficial

el estudio de Smith y Johnson (2020) ha señalado que la interacción entre las sales y el hormigón puede provocar una descomposición química en la matriz del material, resultando en la pérdida de cohesión y resistencia. Estos procesos se ven agravados por el ciclo de congelación y deshielo, donde las sales pueden contribuir a la expansión y contracción del agua en los poros del hormigón, exacerbando la fisuración y el deterioro a lo largo del tiempo.



Desgaste de las juntas: El uso de sal puede aumentar la frecuencia de congelación y deshielo en el pavimento, lo que puede dañar las juntas de expansión y contracción

Para minimizar los efectos negativos de la sal en el pavimento de hormigón, se pueden tomar algunas medidas preventivas y de mantenimiento, como:

- Limitar la cantidad de sal utilizada en el deshielo y considerar el uso de alternativas menos corrosivas, como cloruro de calcio o acetato de potasio.
- Limpiar y lavar periódicamente las superficies del pavimento para eliminar los residuos de sal y evitar su acumulación.



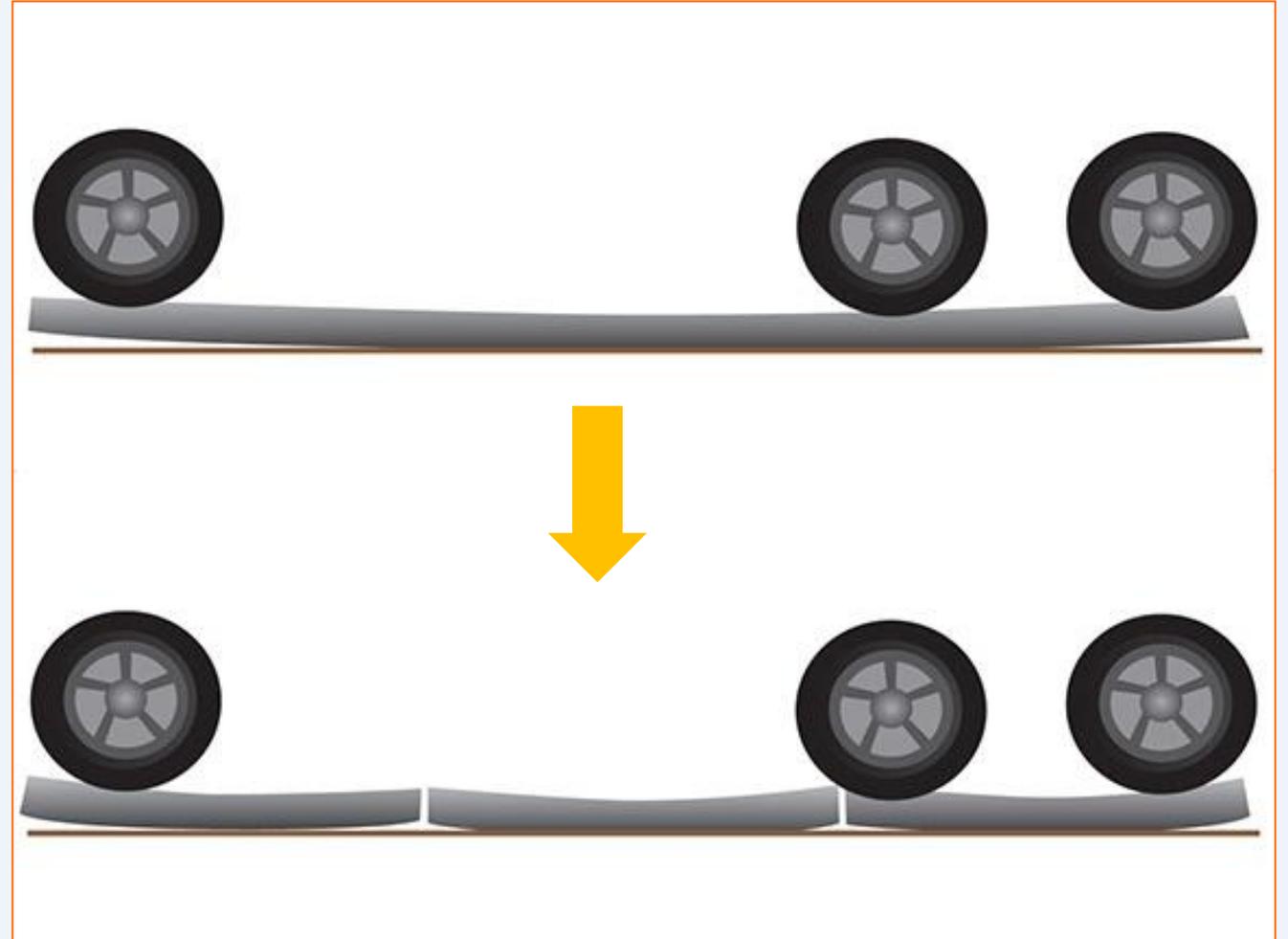
Experiencia SERVIU en aplicación de nuevas tecnologías de pavimentos delgados-optimización de losa (TCP®) y utilización de fibras de refuerzo

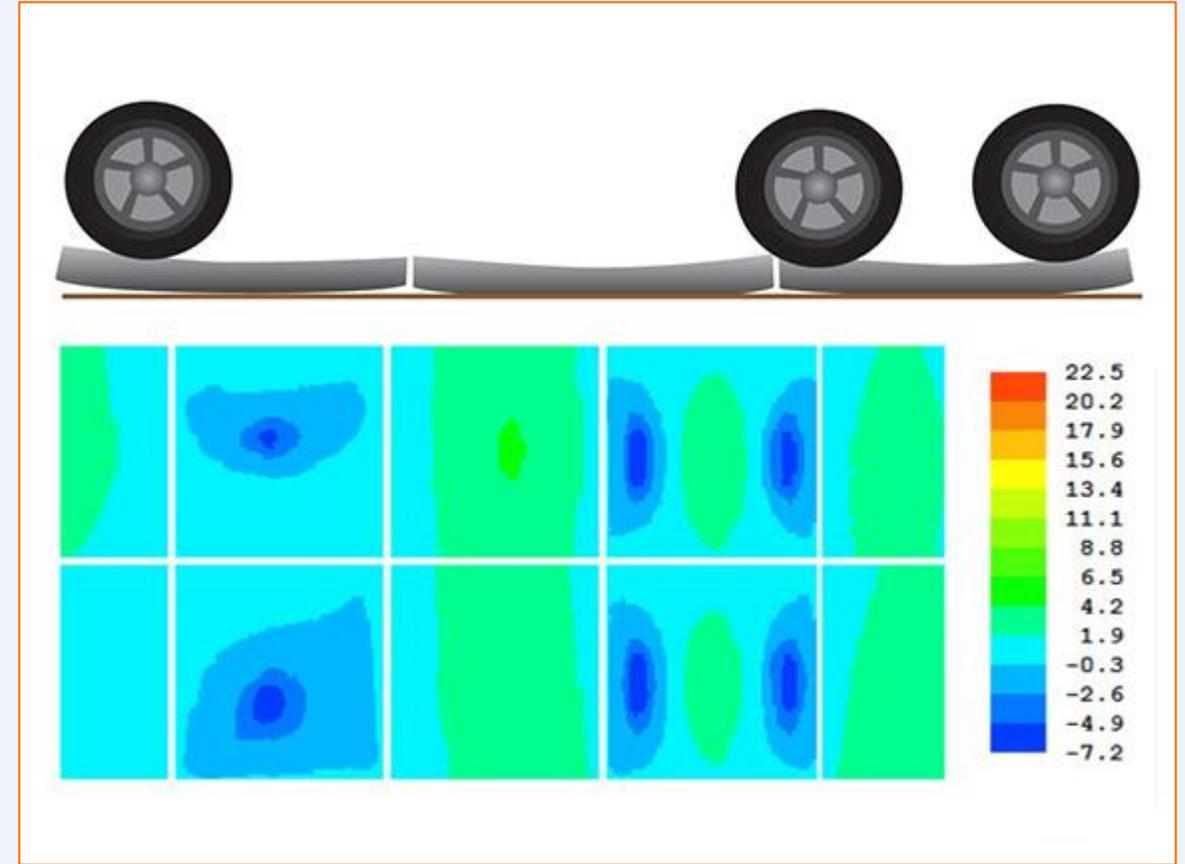
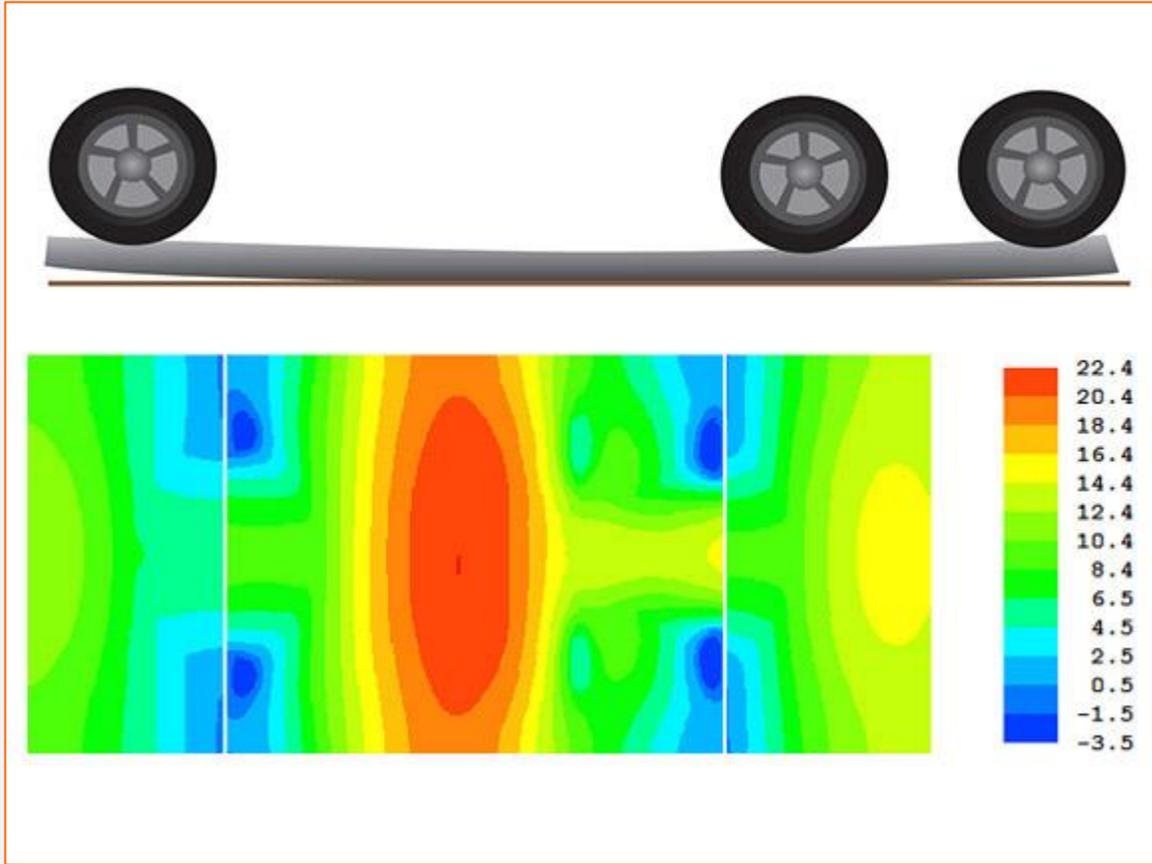


¿Como funcionan los pavimentos delgados-optimización de losa ?

Teoría:

propone reemplazar las losas de pavimentación tradicional (AASHTO) por un sistema de losas con geometría optimizada que permite una distribución más eficiente de la carga para evitar los problemas de agrietamiento. Normalmente las dimensiones de las losas son de 3,5m de ancho por 4m de largo, lo que implica que gran parte de la carga de un vehículo se concentre en ella generando tensión.

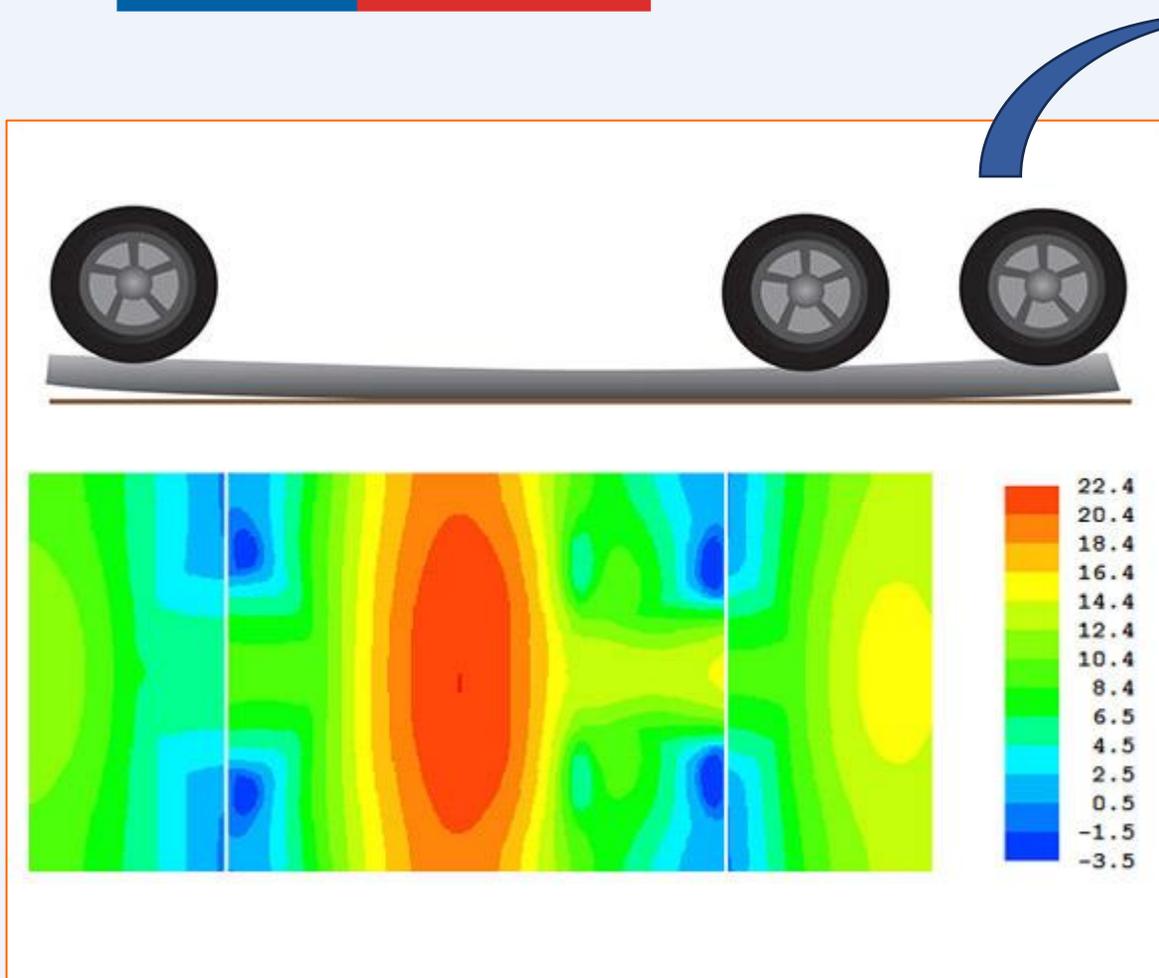




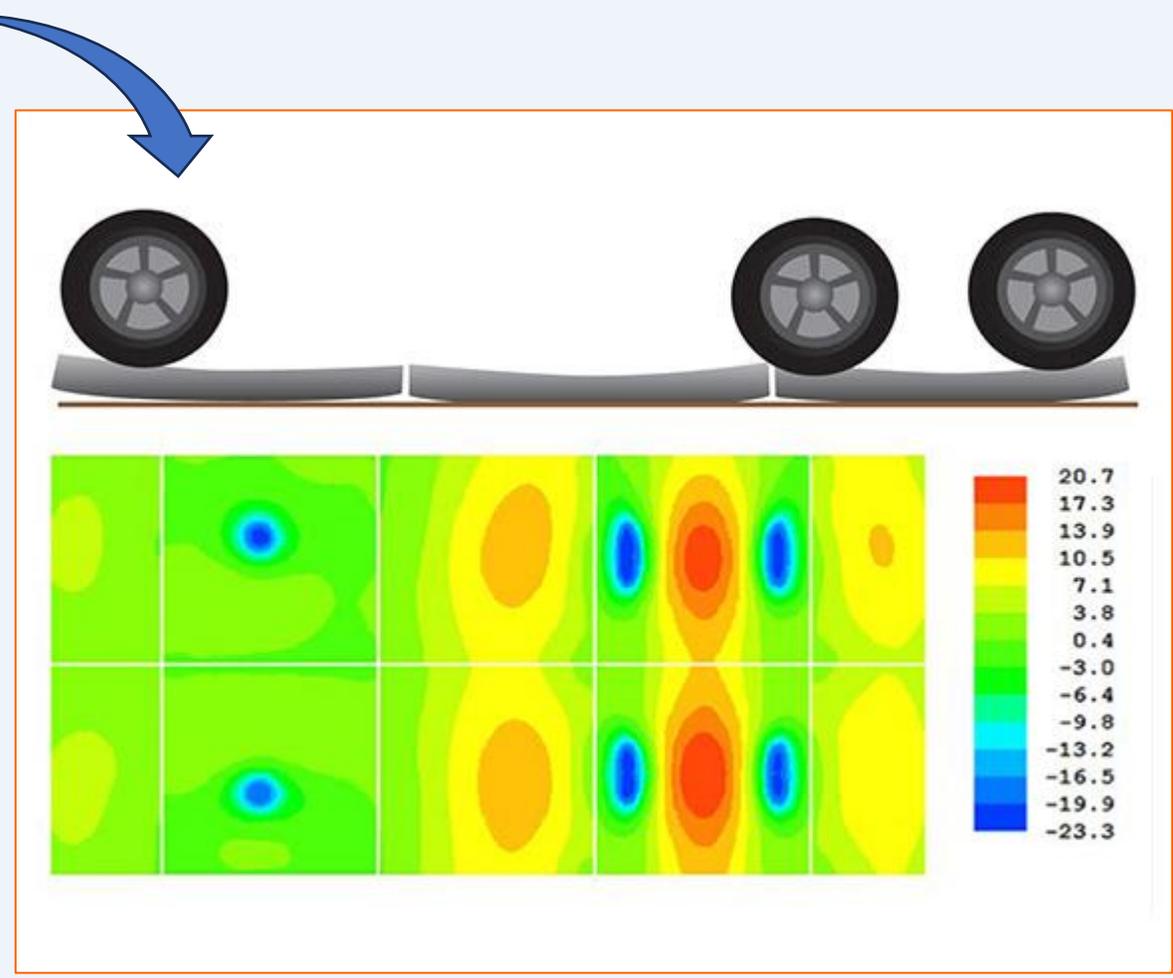
Espesor: 25 cm
 Losas: 4,5m x 3,5m
 Máxima tensión: 22,4 Kg/cm²

Espesor: 25 cm
 Losas: 1,75m x 1,75m
 Máxima tensión: 4,36 Kg/cm²





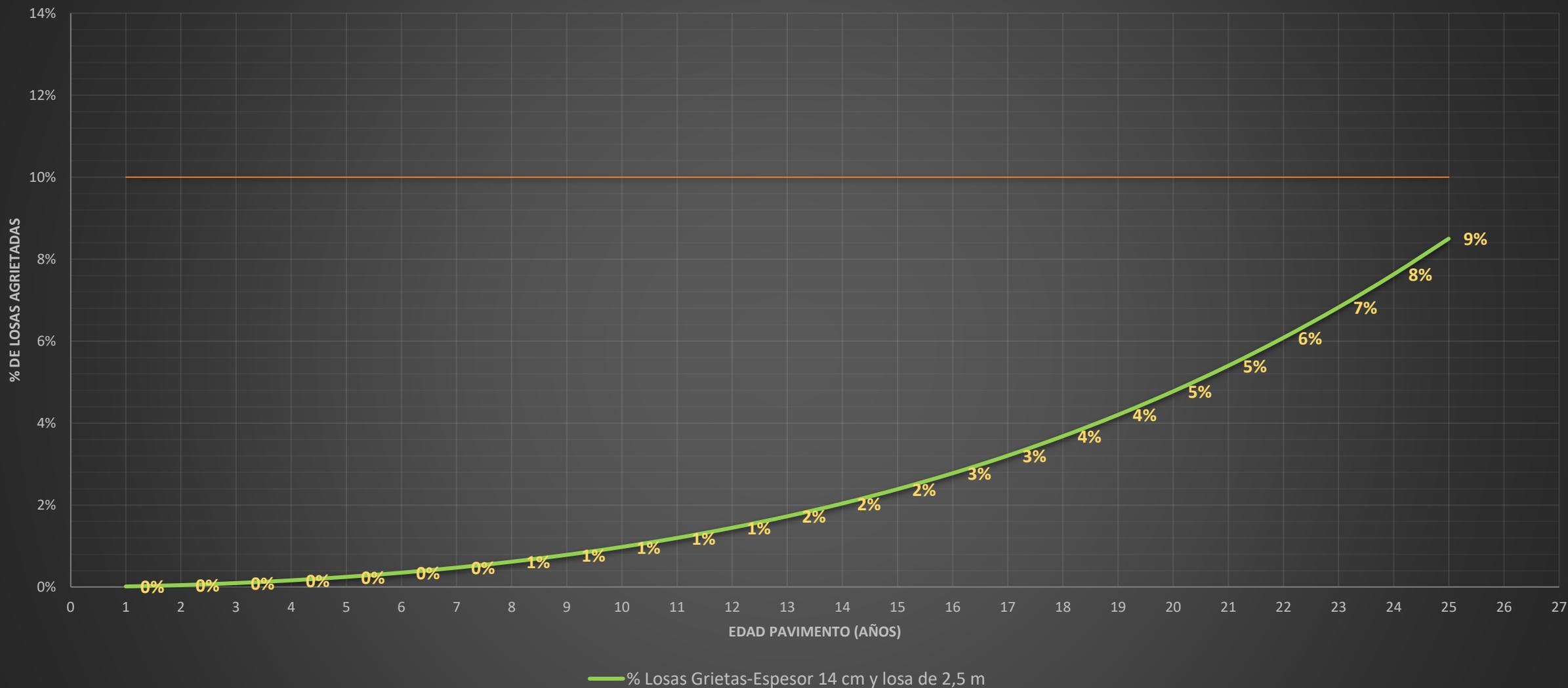
Espesor: 25 cm
 Losas: 4,5m x 3,5m
 Máxima tensión: 22,4 Kg/cm²



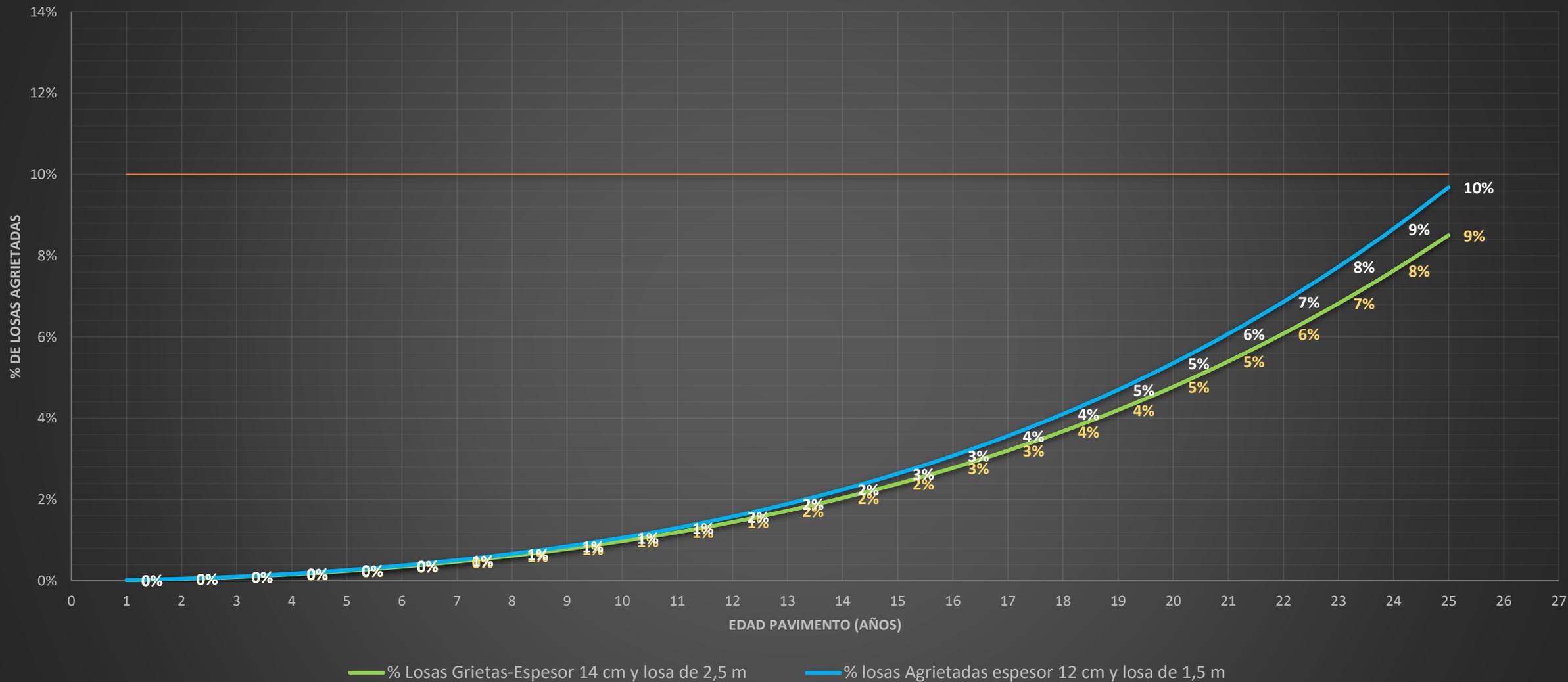
Espesor: 15 cm
 Losas: 1,75m x 1,75m
 Máxima tensión: 20,7 Kg/cm²



DISEÑO calle colectora 10.000.000 ejes equivalentes, que originalmente fue especificada en 22 cm de espesor



DISEÑO calle colectora 10.000.000 ejes equivalentes, que originalmente fue especificada en 22 cm de espesor



Espesor Losa	Cubicación 100 metros lineales (ancho 7m)	Reducción de Hormigón %
Original 22 cm	154 m ³	-
Propuesta 14 cm	98 m ³	36%
Propuesta 12 cm	84 m ³	45%

Se reduce la huella de Carbono



Utilización de fibras de refuerzo

- fibras de refuerzo en la mezcla de mortero aumentan su resistencia y son generalmente distribuidas uniformemente en la mezcla tridimensionalmente.



En la mezcla de mortero y sus fibras se mezclan para mejorar la producción.



¿CÓMO FUNCIONAN LAS FIBRAS EN LOS PAVIMENTOS DE HORMIGÓN?

Refuerzo estructural: Las fibras agregadas al hormigón actúan como refuerzo estructural al proporcionar resistencia adicional a la tracción y mejorar la capacidad de carga del pavimento. Ayudan a distribuir las cargas y a prevenir la propagación de fisuras, mejorando así la durabilidad y la vida útil del pavimento.

Control de fisuración: Las fibras en el hormigón ayudan a controlar la fisuración al proporcionar una red tridimensional de refuerzo distribuida en toda la masa de hormigón



Estas fibras actúan como "micro-armaduras" que resisten la formación y propagación de fisuras inducidas por cargas de tracción, contracción o temperatura.



Mejora de la resistencia a la fatiga: Las fibras también contribuyen a mejorar la resistencia a la fatiga del pavimento. Ayudan a dispersar y distribuir las tensiones generadas por las cargas repetitivas, reduciendo la formación y propagación de fisuras por fatiga.



Esto resulta en una mayor resistencia del pavimento a las cargas cíclicas y una mayor vida útil.

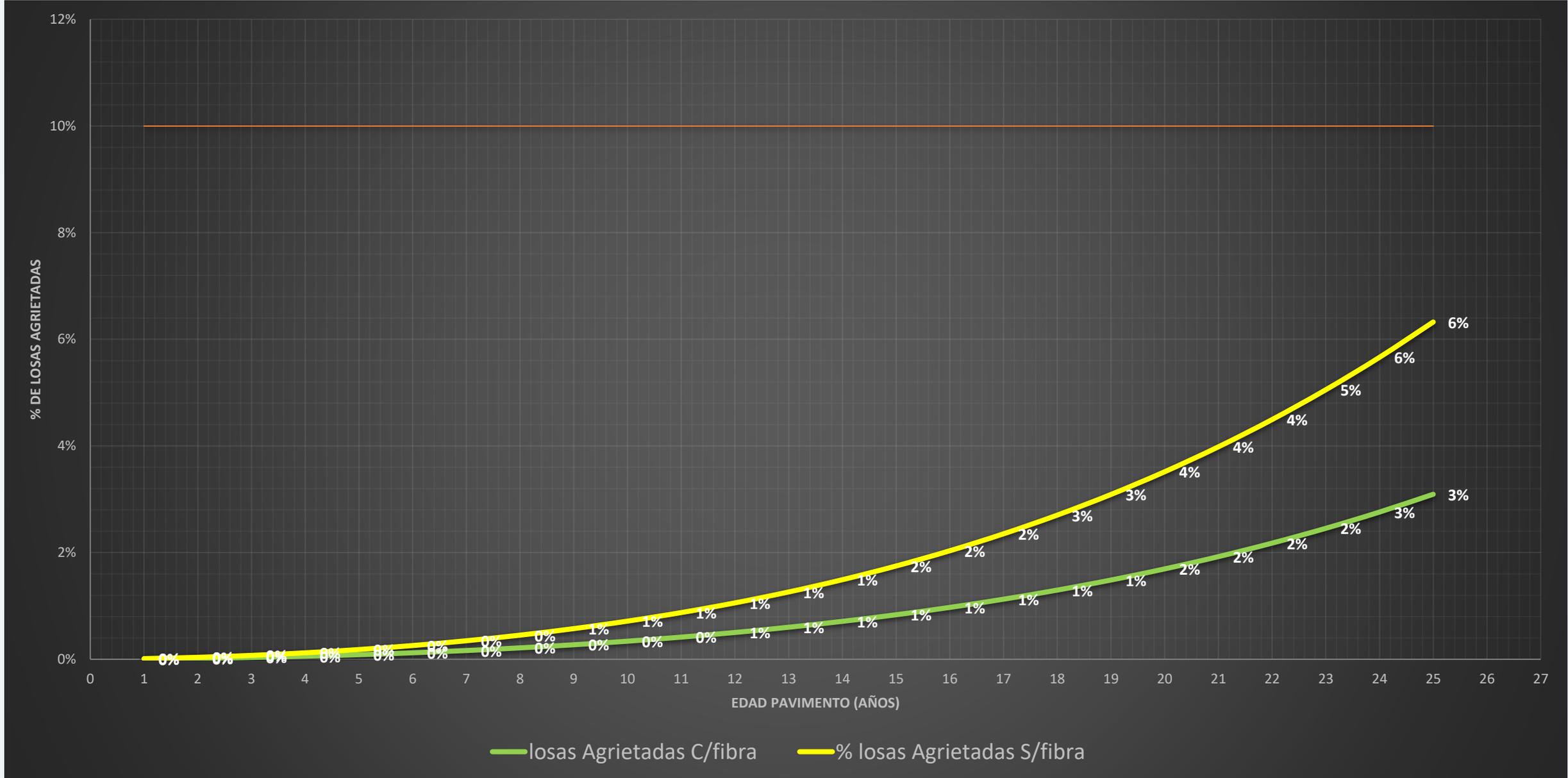
Mejora de la resistencia a la abrasión: también pueden mejorar la resistencia del pavimento a la abrasión y al desgaste.



Estas fibras proporcionan una mayor resistencia al desprendimiento superficial y pueden prolongar la vida útil del pavimento en áreas sometidas a altas cargas o tráfico intenso.



DISEÑO calle colectora 10.000.000 ejes equivalentes- Pavimento de 14 cm, losa optimizada de 2 m



Conclusiones:

Los daños más recurrentes en nuestra zona y clima son:

- a) Fisuración por congelación y deshielo: Ocurre cuando el agua penetra en las grietas o poros del pavimento y se congela, generando un aumento de volumen (9% aproximadamente) que crea tensiones internas y puede provocar la aparición de fisuras. Durante el deshielo, el agua derretida puede infiltrarse aún más en las fisuras y, al volver a congelarse, agrandarlas aún más.
- b) Fatiga del pavimento: Las temperaturas frías y las cargas repetidas del tráfico pueden causar fatiga en los pavimentos. El pavimento puede desarrollar fisuras por fatiga debido al estrés repetido causado por las cargas de los vehículos. Estas fisuras pueden propagarse y eventualmente llevar a la falla del pavimento.



Conclusiones:

Recomendaciones SERVIU

- Se permite el uso de pavimentos delgados y losa optimizada (Análisis Caso a Caso)
- El espesor mínimo para un pavimento es de 12 cm (Un espesor menor puede resultar en una capacidad estructural insuficiente para soportar las cargas del tráfico y los efectos del clima)
- Entre 12 y 16 cm (inclusive), se debe considerar el uso de fibras de refuerzo: La adición de fibras de refuerzo al hormigón puede mejorar su resistencia a la fisuración y la fatiga.
- Cuando el espesor del pavimento es mayor a 16 cm, es posible que no sea necesario agregar fibras de refuerzo. Sin embargo, es importante considerar otros factores, como el tipo de tráfico y la capacidad portante del suelo subyacente, para determinar el espesor óptimo del pavimento.





SERVIU

**Región de Magallanes
y de la Antártica
Chilena**

**Ministerio de
Vivienda y
Urbanismo**