

NUEVOS DESARROLLOS Y
TECNOLOGÍAS PARA EL DISEÑO Y
CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS DE
HORMIGÓN

Cristian Masana
ICH

SERVIU, Enero 2005



LOS PAVIMENTOS DE HORMIGON

- Larga Duración
- Bajo costo de Mantenición
- No se deforman ante cargas pesadas
- Bajo costo del Usuario, menor consumo de combustible (mejor IRI promedio en el tiempo)
- Mayor Luminosidad, mayor seguridad y menor costo de energía (reflejan por ser más claros)
- Mayor Resistencia al Patinaje, mejor seguridad

DISEÑO DE PAVIMENTOS DE HORMIGÓN

- Variables involucradas
- Conceptos de comportamiento
- Desarrollos innovadores

Variables de Diseño de Pavimentos de Hormigón

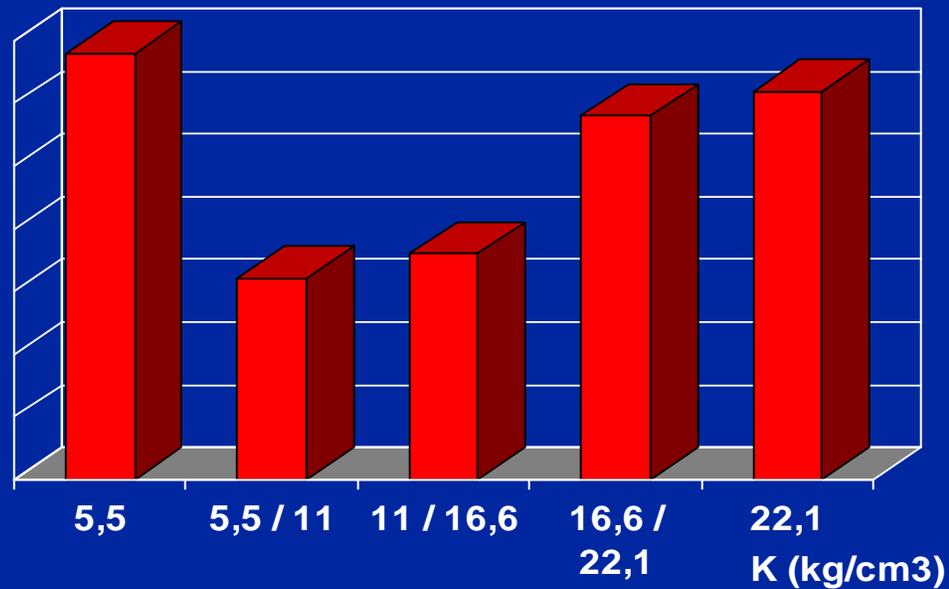
- Rigidez de bases
- Espesores de losa
- Resistencia del hormigón
- Largos de Juntas
- Serviciabilidad inicial (IRI)

Rigidez de Bases

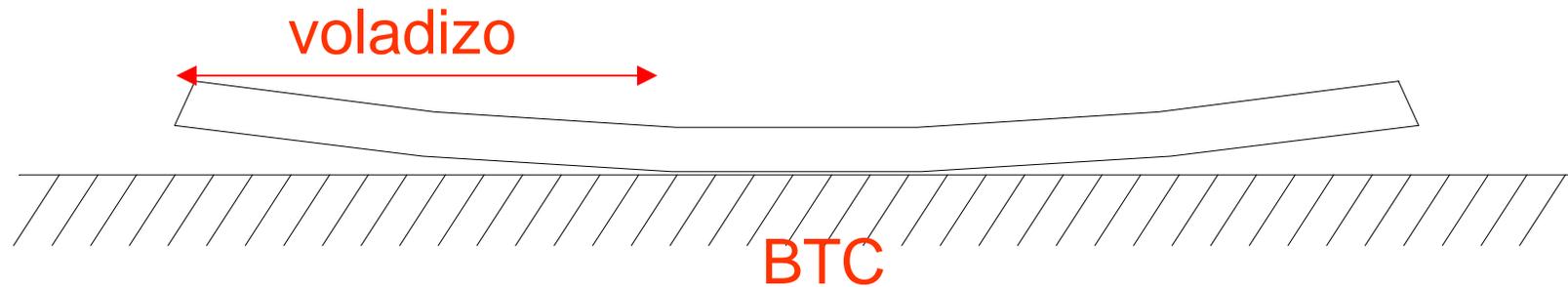
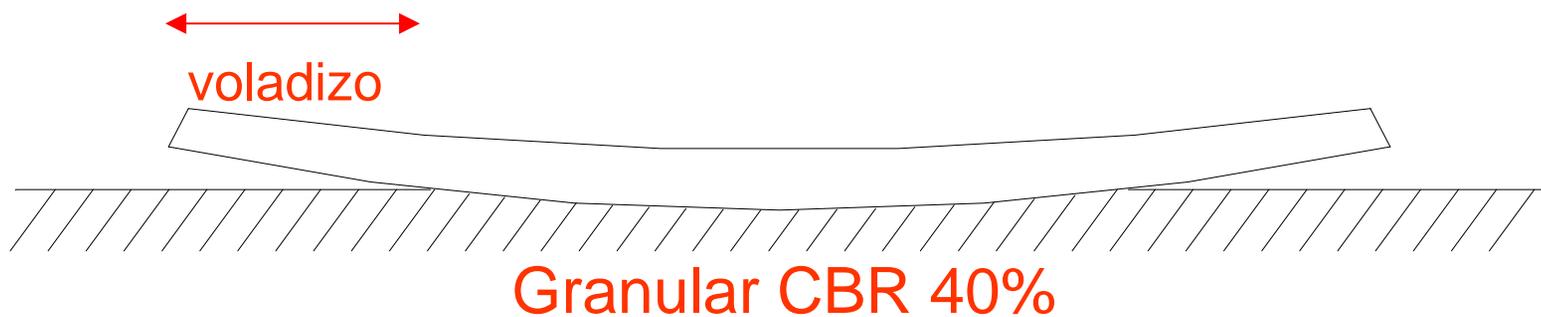
- Rigidez de base tiene que ser tal que permita acomodar deformación normal de la losa de hormigón
- Especificar valores de CBR entre 30% y 50% para permitir que la losa se entierre en la base ante la eventualidad de alabeo

Efecto Rigidez de la Sub-Base

■ % losas agrietadas

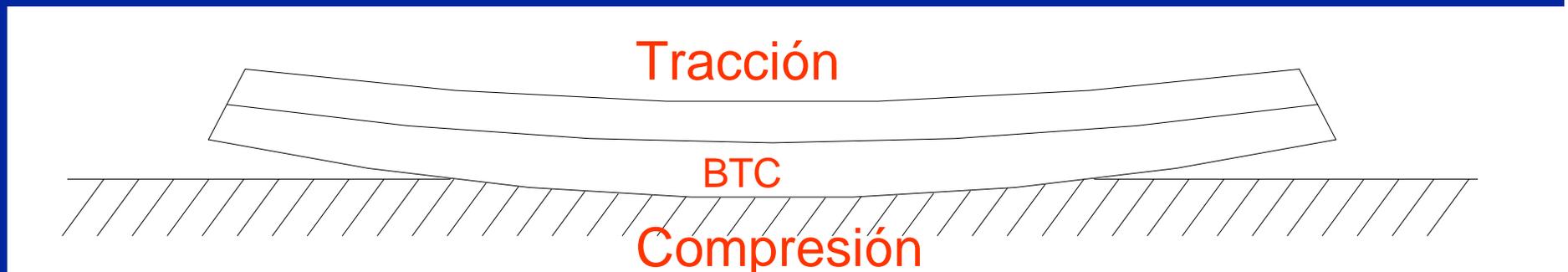


Efecto Rigidez de la Sub-Base



No adherido (polietileno)

Efecto de BTC Adherida



Adherido

hormigón: $R_T = 50 \text{ Kg/ cm}^2$
BTC: $R_C = 100 \text{ Kg/ cm}^2$

Espesores de Losas

- Un mayor espesor de losa es preferido para soportar de mejor manera la fatiga de la losa y aumentar la vida útil del pavimento
- Espesores deben ser solo los adecuados para contar con un compromiso entre economía de costos al valor presente y duración proyectada
- Espesores menores pueden ser utilizados en zonas de tráfico liviano

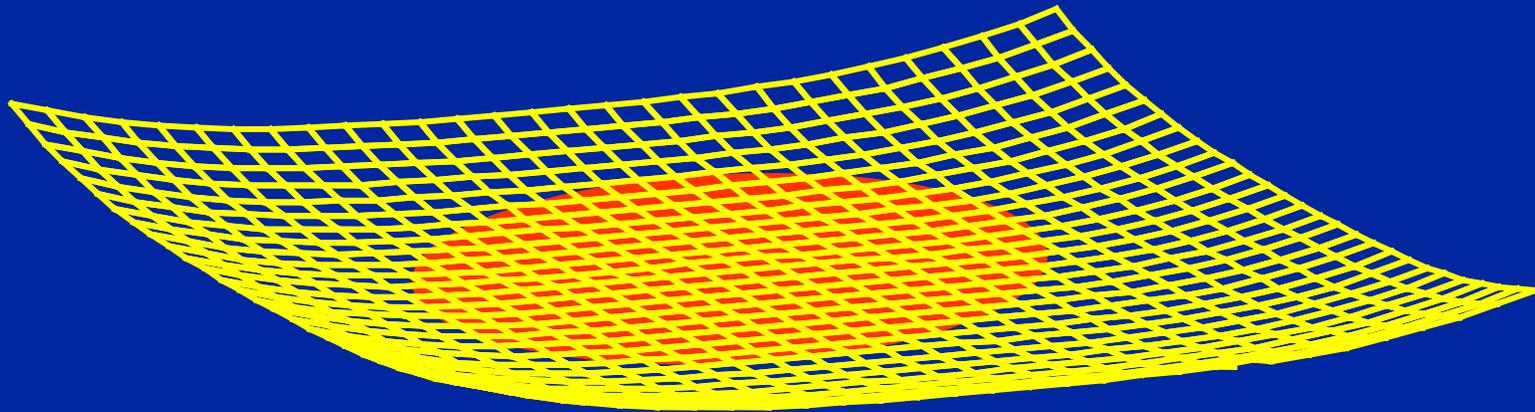
Resistencia del Hormigón

- La resistencia del hormigón en la etapa de diseño corresponde al valor medio de resistencia que va a ser utilizado. Se debe especificar la resistencia característica del hormigón para evitar que se obtengan valores de resistencia del proyecto más altos que los especificados afectando la economía del proyecto.
- Pavimentos de hormigón deberían ser evaluados a 28 días usando la resistencia a flexotracción y considerando costos de mantención

Largo de Juntas

- Los largos de junta definen el comportamiento de la losa respecto a los cambios de dimensión normales
- Se prefieren dimensiones cuadradas para evitar deformaciones diferenciales en el largo de la losa
- A mayor largo de junta mas importantes llegan a ser las tensiones de alabeo que alteran el comportamiento normal del pavimento

Deformación de Losas

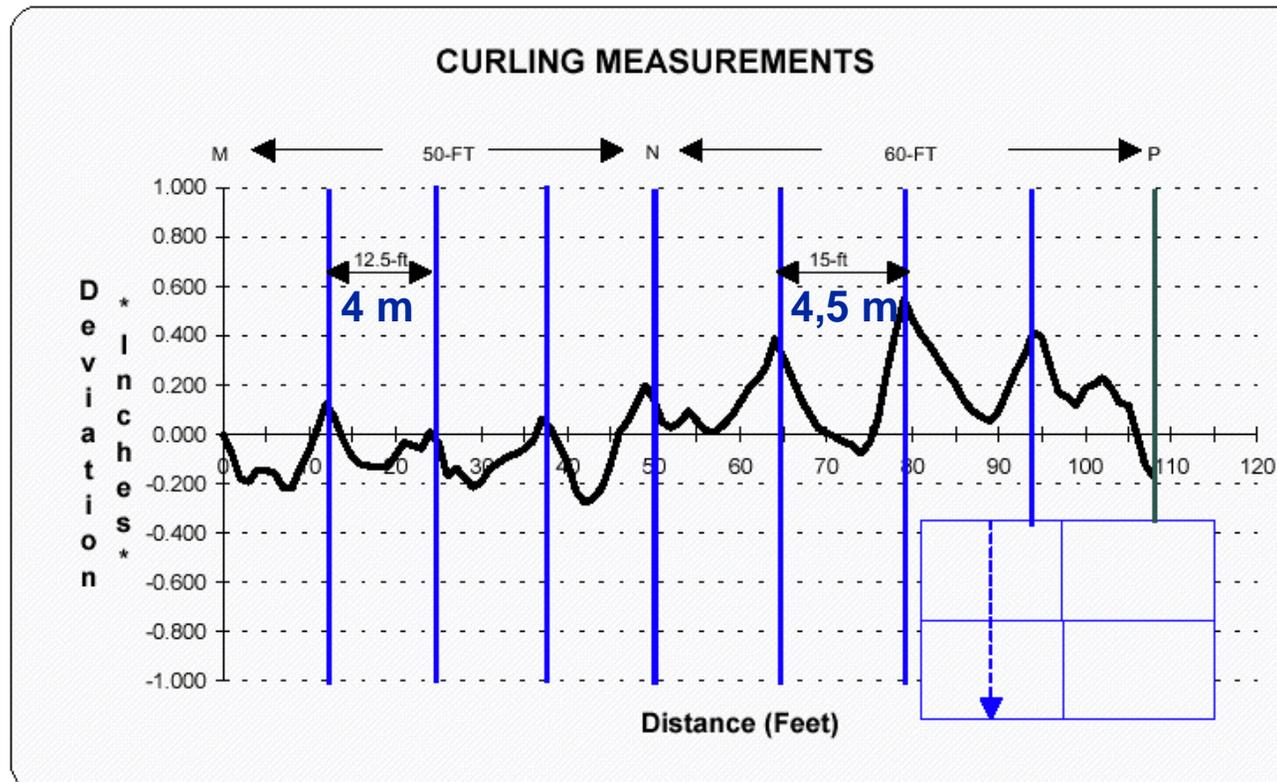


Perfil de Alabeo según Largo de Juntas

RESULTS :

	ESTIMATED	MINIMUM	MAXIMUM
ACI FLATNESS F-NO. :	24.4	21.5	27.3
ACI LEVELNESS F-NO. :	19.2	16.8	21.5

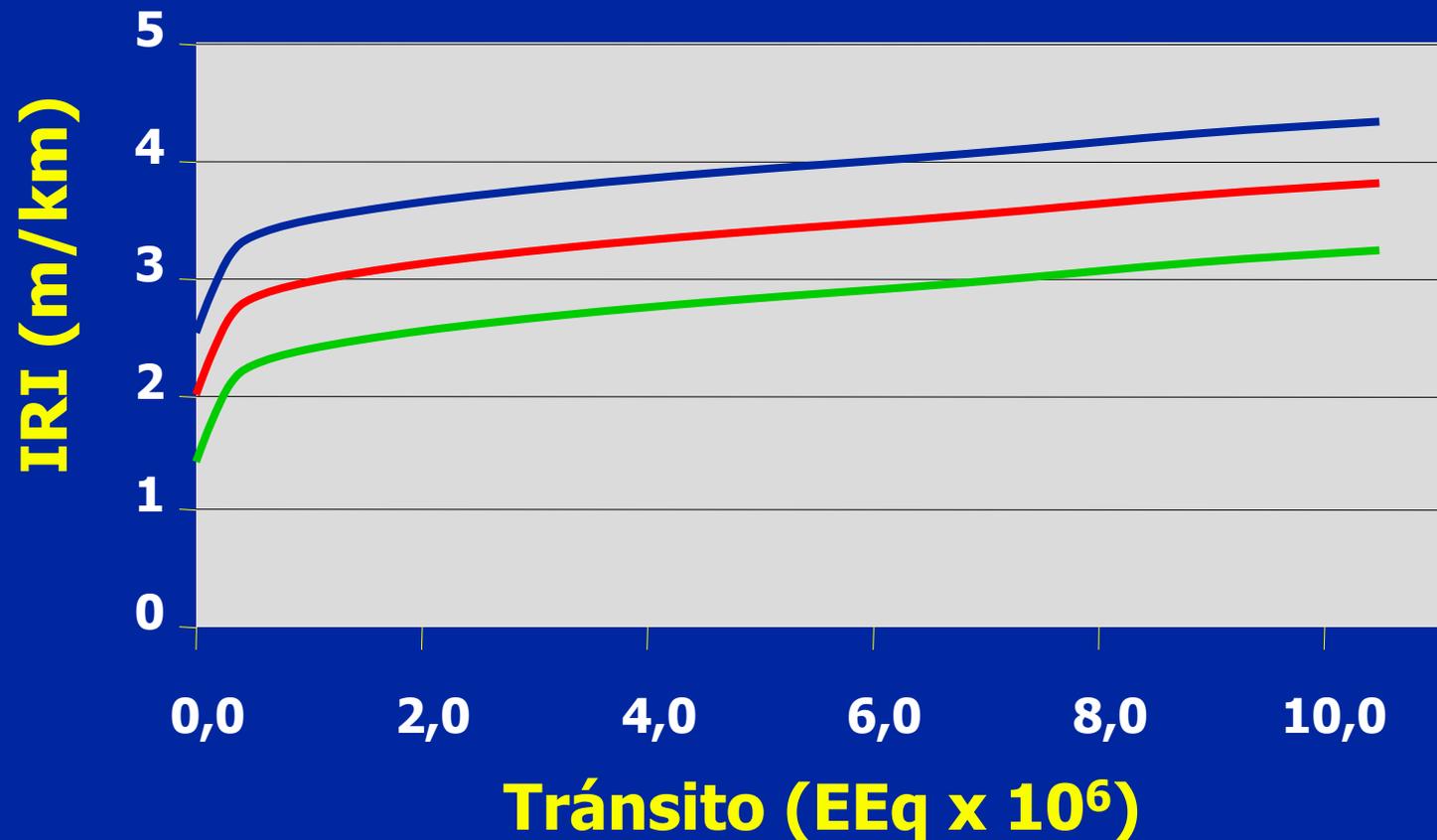
NOTE: For this sample size, 9 times out of 10, the actual F-number for the floor will fall between the Minimum and Maximum values shown.



SERVICIABILIDAD (IRI)

- El IRI en pavimentos de hormigón se debe medir antes de 72 horas de haber construido el pavimento, para conocer el IRI real obtenido con la terminación
- Posterior a ese plazo, al IRI de construcción se le suma IRI de diseño o el natural por comportamiento (alabeo)
- Es posible lograr valores de IRI cercanos a 1 para aumentar la vida útil de un pavimento

Evolución del IRI partiendo de distintas calidades de "terminación"

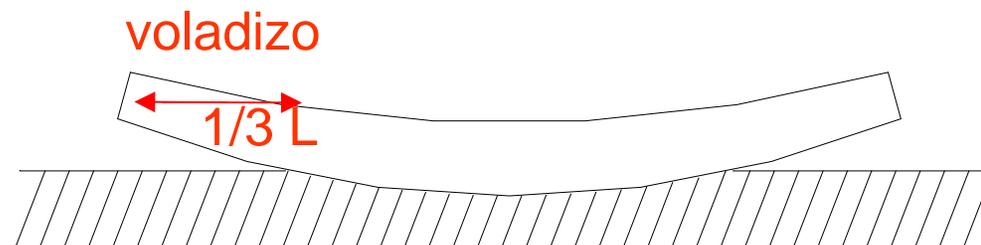
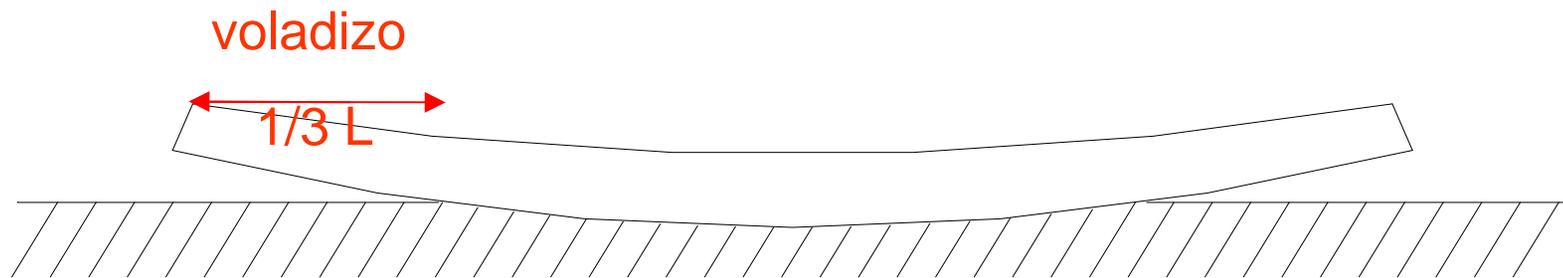


Es decir, mientras mejor esté el pavimento, más durará.

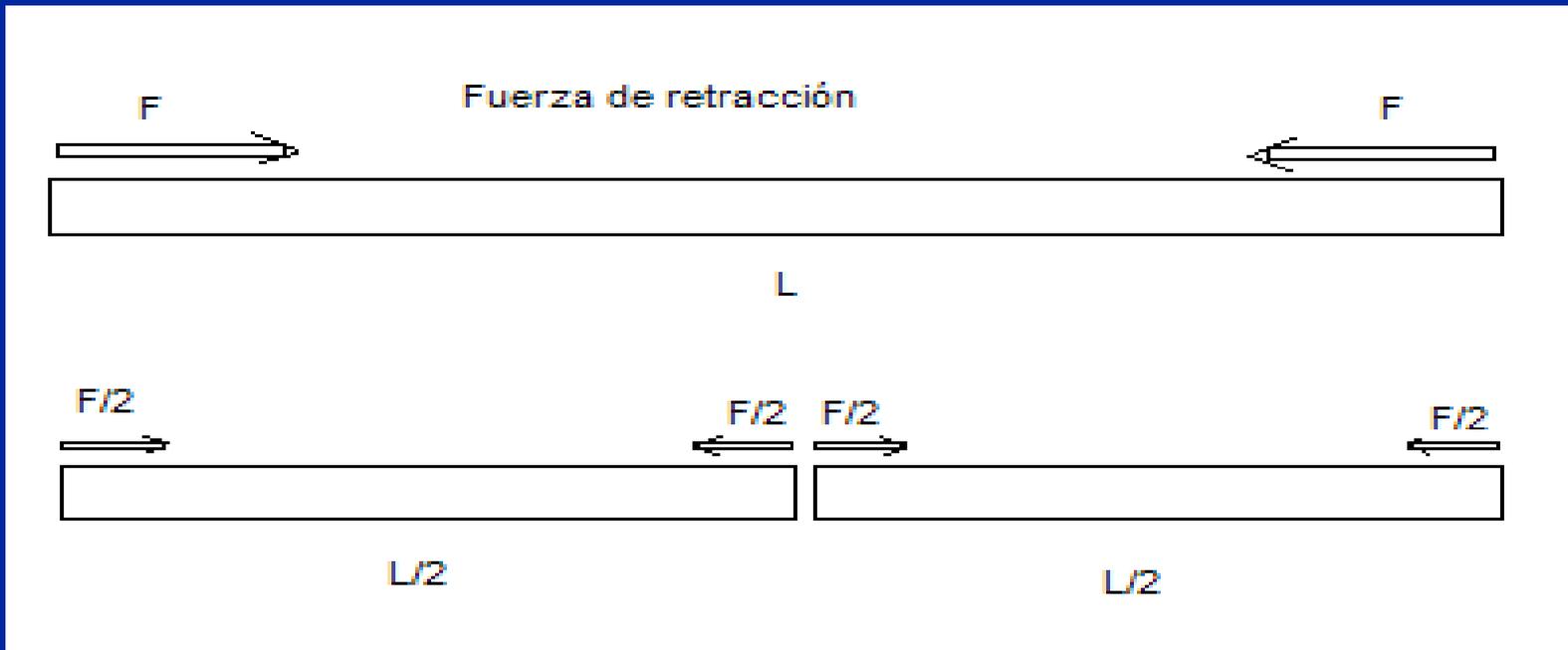
COMPORTAMIENTO DE PAVIMENTOS DE HORMIGÓN (Alabeo y Agrietamiento)

- Alabeo de losas define la probabilidad de agrietamiento del hormigón y por lo tanto controla su comportamiento en cuanto a vida útil
- Es muy importante tener en cuenta el comportamiento del hormigón al diseñar e inspeccionar un pavimento de hormigón

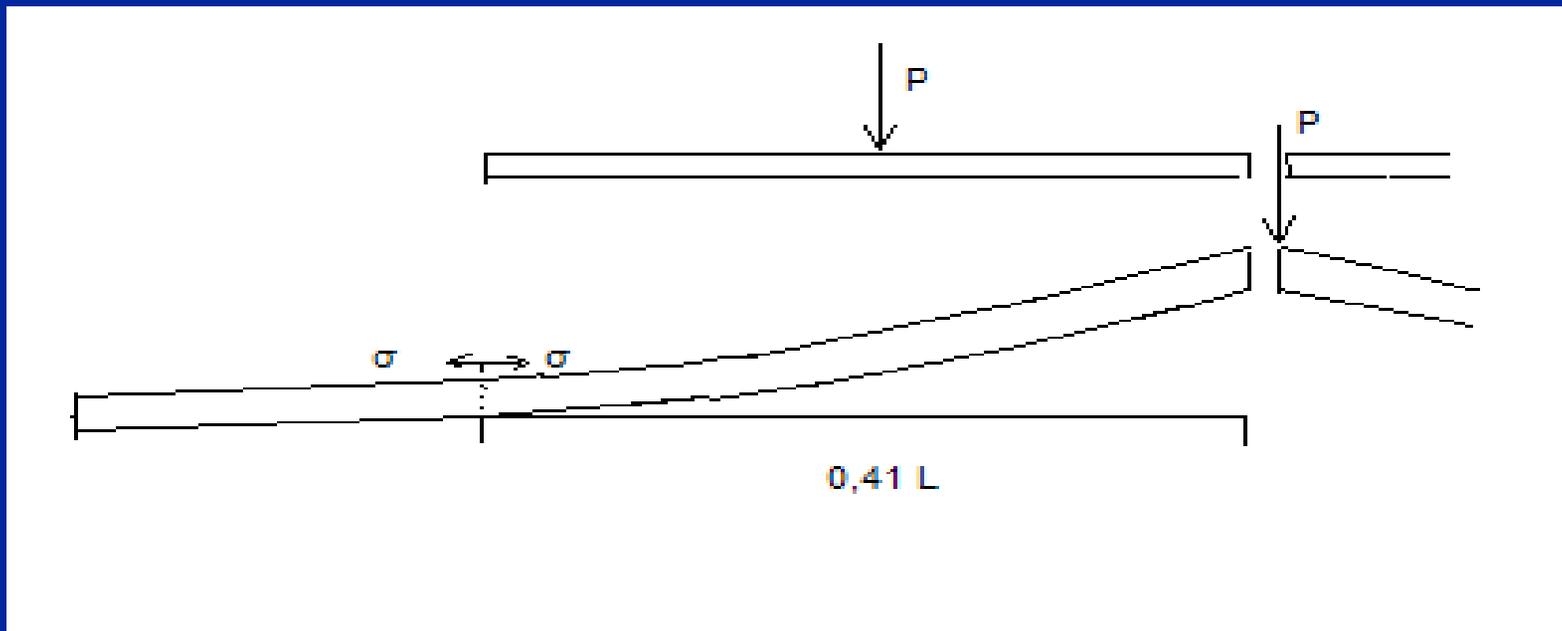
Efecto del Largo de Losas



Fuerzas de Alabeo



Tensiones Inducidas en la Losa



Comportamiento de Losas

Relación entre L - h - σ

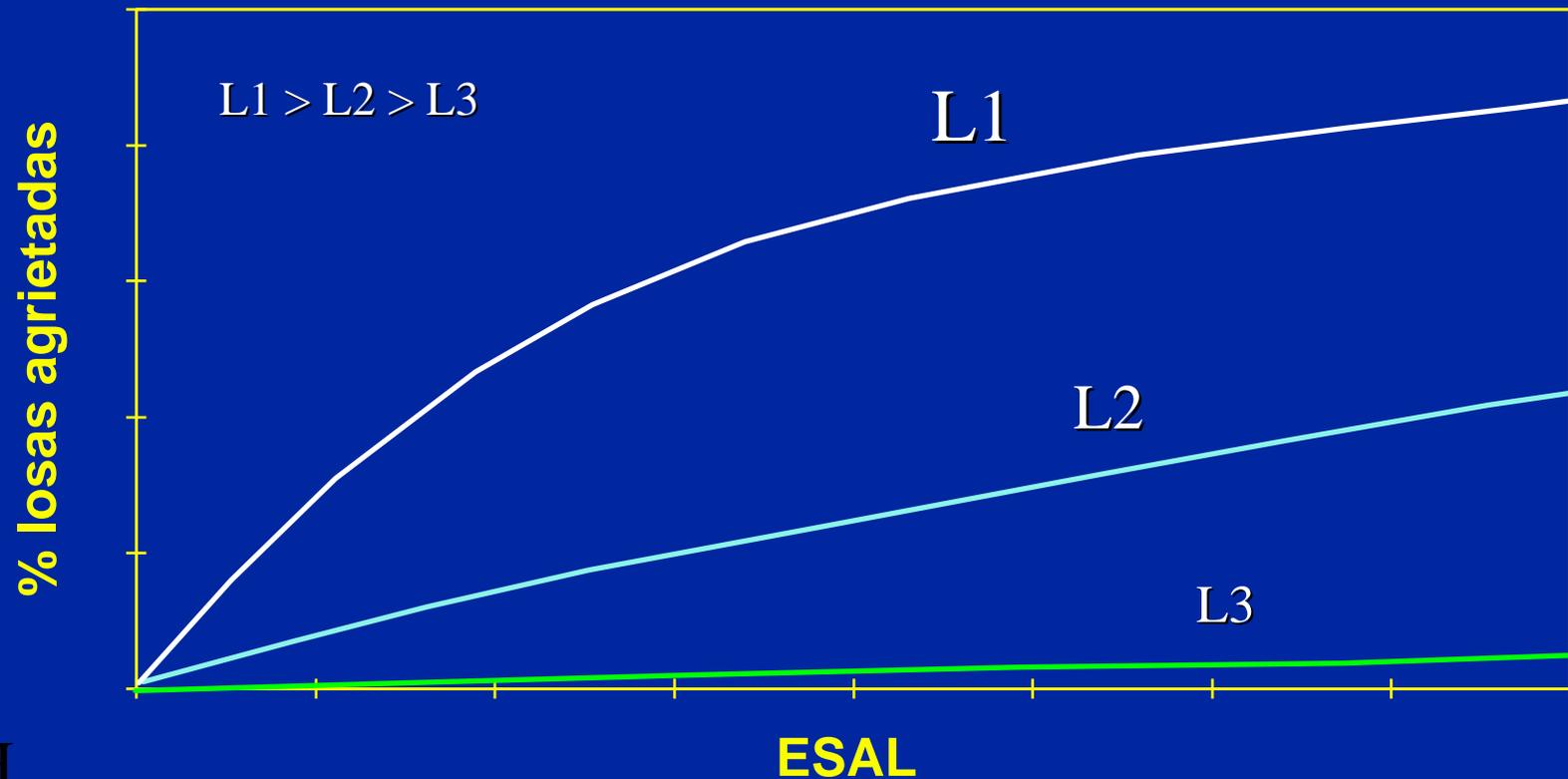
L	h	σ
4500	15	20,00
	12	31,25
	10	45,00
	8	70,31
3500	15	15,56
	12	24,31
	10	35,00
	8	54,69
1750	15	7,78
	12	12,15
	10	17,50
	8	27,34

σ debe ser menor a la mitad de la resistencia del hormigón para soportar fatiga.

El hormigón HF 4,8 tiene una resistencia media de 52 kg/cm² por lo que soporta una tensión de 26 kg/cm² sin fatigarse nunca

Agrietamiento Transversal en Pavimentos JPCP

Influencia de la Longitud de las Losas
(óptimo losas cuadradas)

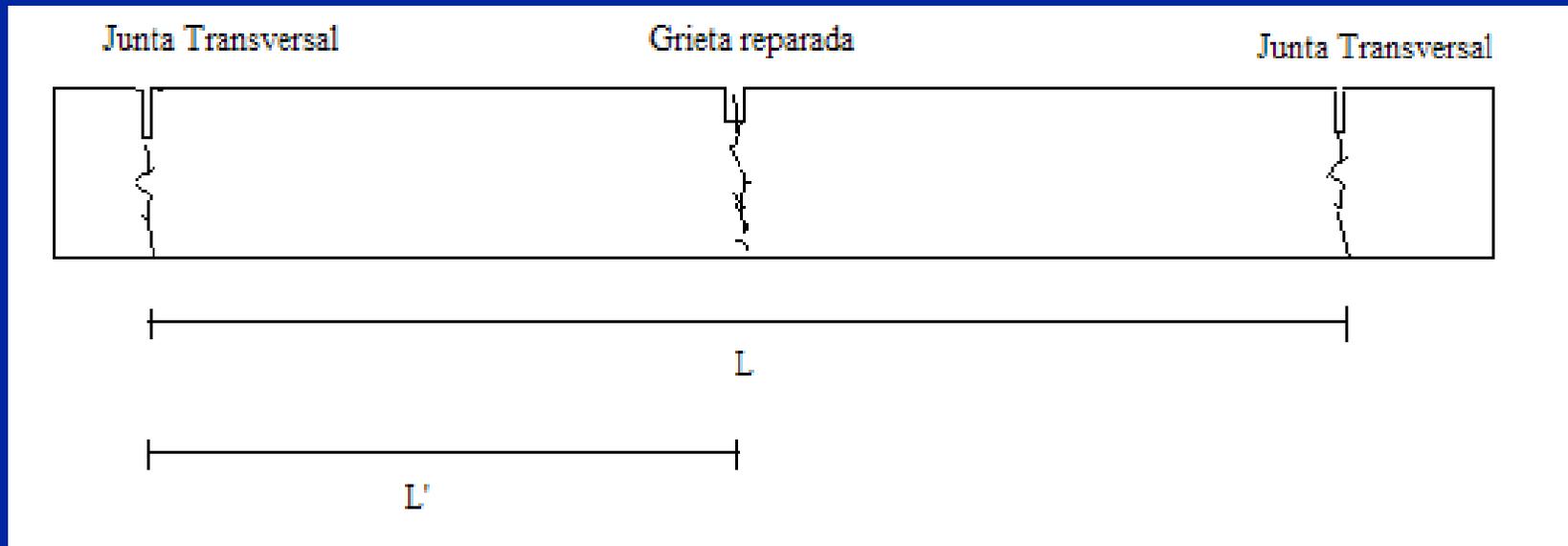


Efecto del Agrietamiento

Las losas al agrietarse disminuyen su largo, disminuyendo las tensiones producidas por el tráfico, por lo que las dos mitades duran más que la losa original (la zona de fatiga se traslada a una zona sana del hormigón).

Por esta razón, en USA se considera que una losa ha fallado cuando tiene más de 3 grietas.

Efecto del Agrietamiento en Pavimentos de Hormigón



DESARROLLOS INNOVADORES

- Pavimentos delgados
- Recapados de Hormigón
 - Adherido
 - No adherido
 - Whitetopping

Pavimentos Delgados (Motivación)

- Comportamiento de un pavimento de hormigón convencional es en la práctica mejor al que se obtiene en una evaluación de largo plazo teórica
- Método de diseño AASHTO sobreestima el espesor requerido de un pavimento de concreto para la vida útil considerada
- Pavimentos de concreto con los espesores normalmente usados tienen un mayor costo inicial que en ocasiones no se justifica en condiciones de tráfico liviano
- OGUC no permite espesores menores a 12 cm

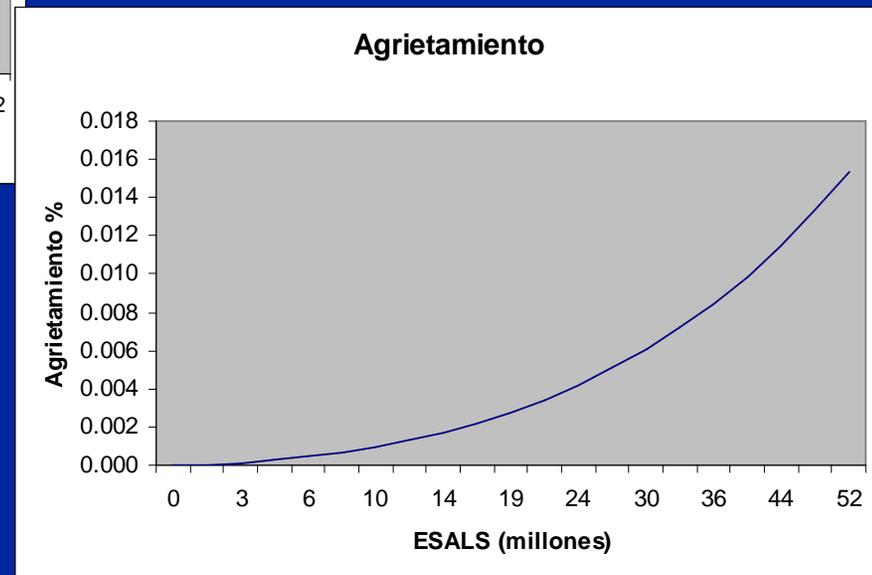
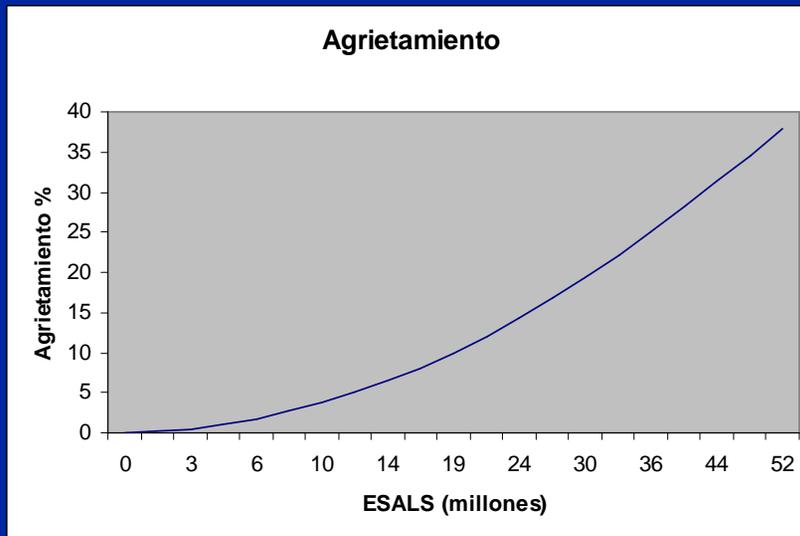
Pavimentos Delgados (Conceptos de Diseño)

- Corresponden a una optimización entre las variables de diseño y el comportamiento del hormigón
- Su principal diferencia con un pavimento tradicional es que los espesores son menores a los mínimos aceptados y tienen largos de juntas menores
- Se proponen para uso en Calles con poco tráfico y baja sollicitación
- se están realizando experiencias para validar espesores y largos de juntas recomendados

Ejemplo Pavimento Espesor 8 cm.



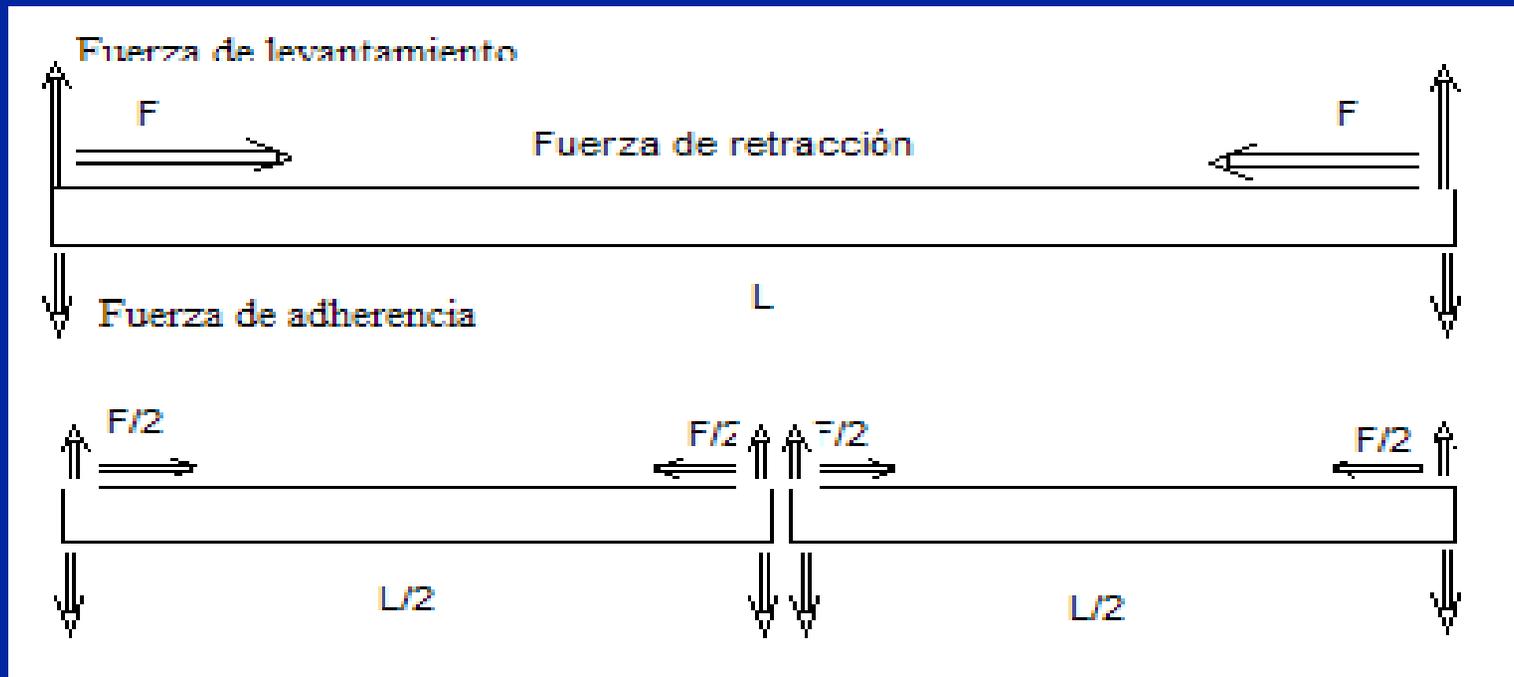
Comparación Agrietamiento de Losas con Distinto Largo



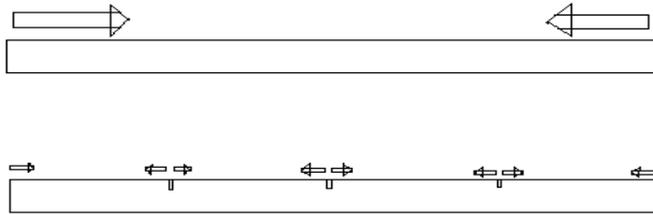
Recapados de Hormigón (Conceptos de Diseño)

- Carreteras de cualquier tipo en que se requiera aumentar vida útil o aumentar capacidad estructural del pavimento
- Espesor a utilizar depende de calidad del pavimento antiguo y de las mejoras que se requieran realizar al pavimento
- Las técnicas conocidas son:
 - Recapado de hormigón adherido (hormigón sobre pavimento rígido adherido)
 - Recapado de hormigón no-adherido (hormigón sobre pavimento rígido sin adherir)
 - Whitetopping (hormigón sobre pavimento flexible)

Efecto de Adherencia (Recapado adherido)



Adherencia y Alabeo



Construcción de Pavimentos de Hormigón

Actividades de Construcción

- Preparación base
- Hormigonado
- Terminación superficial
- Curado
- Corte
- Sello de Juntas

Preparación de Bases

- Bases deben cumplir con Especificaciones Técnicas del proyecto
- No utilizar polietileno bajo el hormigón, ya que aumentan las deformaciones de alabeo de losas
- Si se tiene problemas de capilaridad de humedad hacia la base, colocar polietileno bajo la base para evitar humedad excesiva en la parte inferior de la losa y secado en la superficie

Hormigonado

- Cuidar espesores de losas que sean los de diseño y no menos que estos y uniformes
- Cuidar tiempos de colocación para evitar esperas excesivas del hormigón antes de su utilización en sitio
- El hormigón debe ser homogéneo, y con trabajabilidad que se requiera para una buena terminación con las tecnologías disponibles
- Posibilidades cercha y en menor medida tren pavimentador
- CUIDAR UN BUEN VIBRADO DEL HORMIGÓN

Vibrado del Hormigón

- El vibrado es muy importante para lograr que el hormigón endurecido sea homogéneo y sin defectos
- La faena de vibración debe ser realizada por un operador que sepa realizar esta actividad
- Se debe introducir el vibrador rápidamente y sacarlo lentamente 5 cm/s
- Tenderlo para una mayor efectividad en la parte inferior de la losa

Uso de Cercha Reticulada



Vibrador de Inmersión



Vibrador de Inmersión



Tren Pavimentador



Trabajabilidad según equipo de pavimentación utilizado

- Asentamiento de cono

Molde deslizante:	3 a 6 cm
Molde fijo:	5 a 8 cm
Pisos industriales:	10 a 17 cm

Terminación Superficial

- Es posible conseguir la lisura requerida utilizando las herramientas adecuadas:
 - Niveles: Usar nivel óptico y no láser
 - Platachos: Usar platachos mango largo con cambio de ángulo
 - Otros equipos: Regla de corte de exceso de material
Alisador superficial
 - Rayado: Usando rayado longitudinal se reduce el ruido de circulación y no se afecta el drenaje del agua en la superficie.

Construcción para lograr lisura



Construcción para lograr lisura



Construcción para lograr lisura



Resumen Terminación

- Enrase inmediatamente de colocado
- Platacho y alisado
- Texturizado
- Curado con membrana
- Corte
 - En seco con Soffcut
 - En húmedo (sierra delgada)
- Repaso de curado en cortes
- Colocación de frazada (si necesario)
- Corte de caja para sello (si no es delgado)
- Sellado de juntas (si no es delgado)

IRI de Construcción

Lograr el IRI requerido depende de:

- Homogeneidad del hormigón
- Trabajabilidad del hormigón
- Velocidad uniforme del tren (si se usa tren)
- Velocidad mínima del tren
- Forma de platachar y herramientas

IRI de Construcción



¡Una buena terminación con maquinaria adecuada!

Curado

- Usar membranas que permitan una buena retención de agua (ensayo ½ hora)
- Aplicar membranas tan pronto se obtenga la terminación superficial requerida
- Para rápidas aperturas al tráfico utilizar mantas de polietileno con burbujas o geotextil para acelerar la ganancia de resistencia del hormigón

Corte de Juntas

- Las juntas son realizadas para evitar la ocurrencia de fisuras en hormigón fresco
- Se debe iniciar el corte tan pronto se pueda colocar una cortadora sobre el hormigón
- Tecnologías de corte de pavimento permiten corte en hormigón fresco (sistema Soff Cut) y endurecido
- Se han probado con buen resultado la utilización de corte con sierra delgada (2 mm) que permite no sellar las juntas, reduciendo los costos de sello y mantención de estos

Máquina de corte con Sistema Soff-Cut



Comparación entre corte delgado y convencional



Sello de Juntas

- Corte con sierra tradicional requiere sello debido a que pueden ingresar partículas incompresibles que deterioren las juntas
- Si el corte es delgado se puede eliminar el sello, en caso contrario sellar con técnicas tradicionales (cordón de respaldo de sello, mástic asfáltico, etc.)
- Nunca usar sellos epóxicos o acrílicos

Apertura al Tráfico

Paradigma

- La apertura al tráfico es a los 21 días

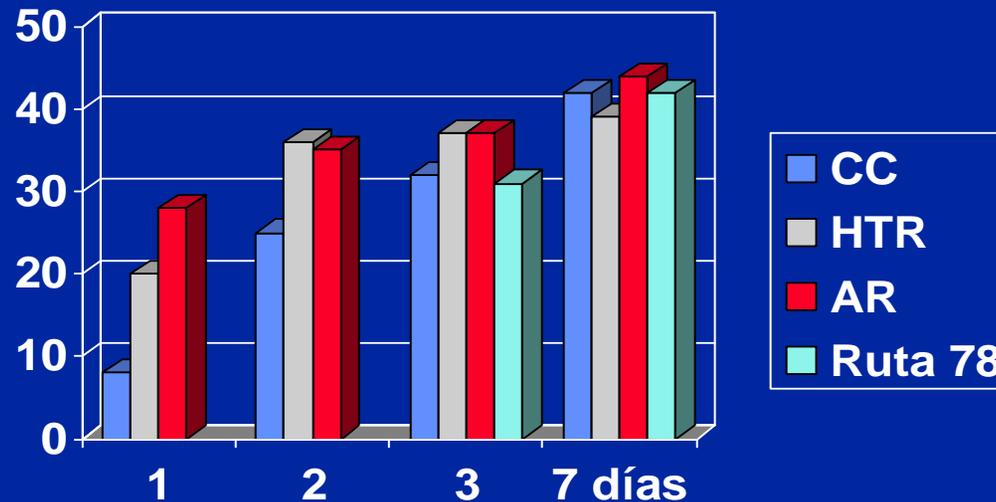
Realidad

- Con hormigón normal a los 2 a 3 días
- Con frazadas antes de las 24 horas
- Con hormigón FT a las 24 hrs. o antes

hormigón FAST TRACK

Apertura al Tráfico

Resistencia a Flexotracción del hormigón en Chile
Con frazada, la resistencia a compresión aumenta
aprox. 50% a 1 día



hormigón FAST TRACK

Apertura al Tráfico

(Caso en Chile)

Espesor de losa cm	Res. a Flexo kg/cm ²	Horas	
		H. Nor.	H. F.T. o frazada
15	28	72	36
17,5	21	48	24
20	21	48	24

ESALS = 100

k = 54 MPa/m

Planificando la construcción

- Reunión de planificación en terreno entre contratista, proveedor de hormigón y laboratorio de muestra antes de la faena. Tener claro:
 - Calidad (especificaciones del Proyecto)
 - Producción
 - Tiempo máximo de espera antes de colocación
 - Pruebas de Laboratorio (ensayos y cantidad)

Análisis de algunos Costos

- Equipos de alto rendimiento reducen hasta 15% costos de construcción
- Un trabajo bien planificado y ejecutado no debiera tener costos por reparaciones
- Si se usa corte delgado se elimina costos de sellos y su mantención
- En proyectos con cortes a menor distancia costo de sierra y su rendimiento debe ser considerado

Esta presentación fue:

**NUEVOS DESARROLLOS Y
TECNOLOGÍAS PARA EL DISEÑO Y
CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS DE
HORMIGÓN**

- Instituto del Cemento y del Hormigón
de Chile

www.ich.cl