



Seminario Internacional

# Construcción de Pavimentos de Hormigón

Tema:

EXPERIENCIAS CONSTRUCTIVAS EN PAVIMENTOS RÍGIDOS EN LATINOAMÉRICA

Disertante:

MAURICIO SALGADO TORRES

## Contenido



**Aspectos Claves en un Proyecto de Pavimentación con Hormigón.**



**Algunas Reflexiones sobre las Ventajas de Construir con Pavimentos de Hormigón.**



**Experiencias de Construcción de Pavimentos de Hormigón en LATAM.**

# Aspectos Claves en un Proyecto de Pavimentación con Hormigón.

Listado de atributos que se piensa debe cumplir una solución de pavimentos

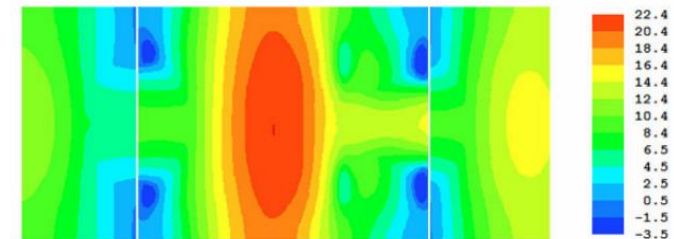
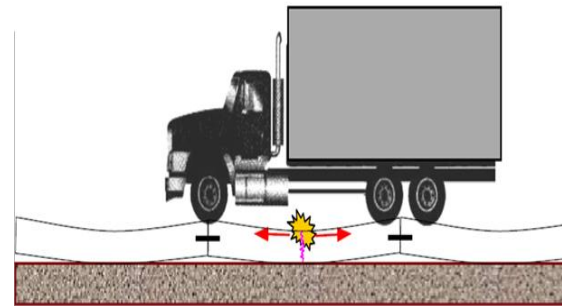
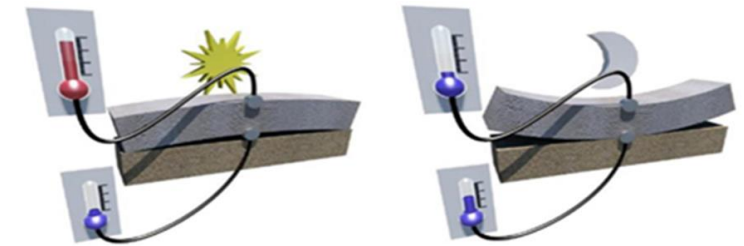
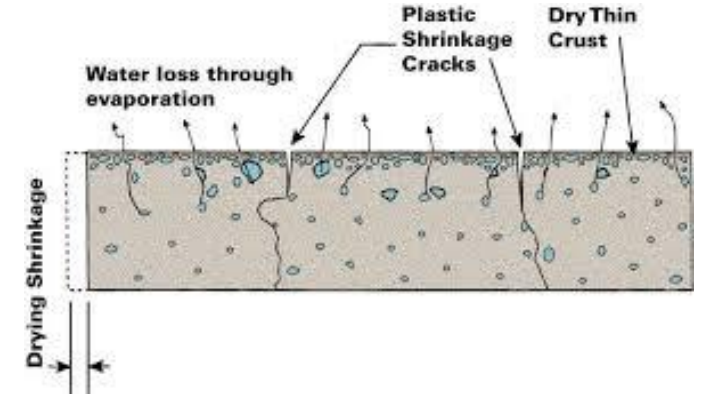
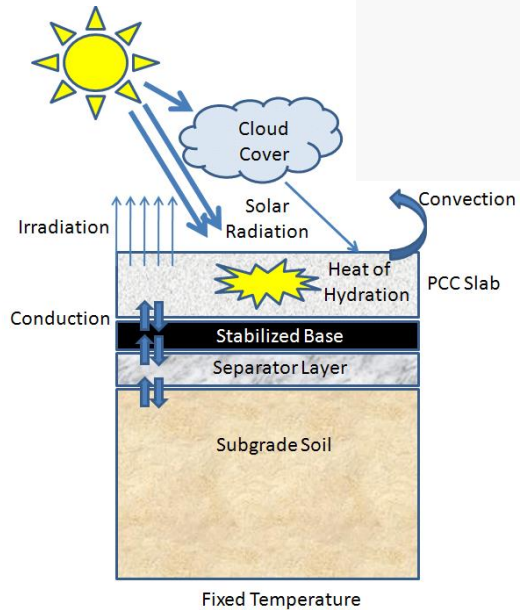
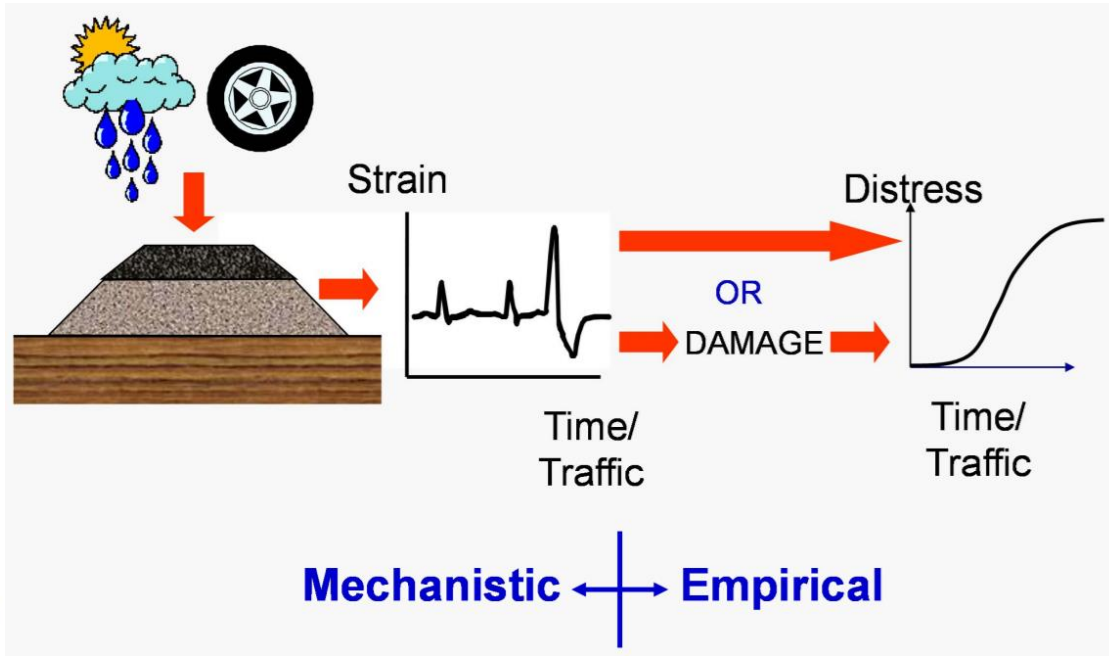
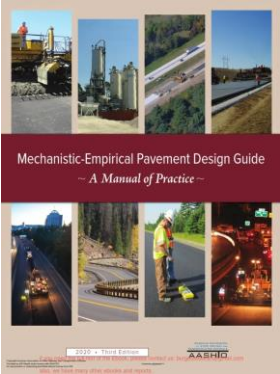
- Barata
- Confortable
- Durable
- Fácil de ejecutar
- Que exija poco mantenimi
- Sustentable
- Etc., Etc., Etc, ...



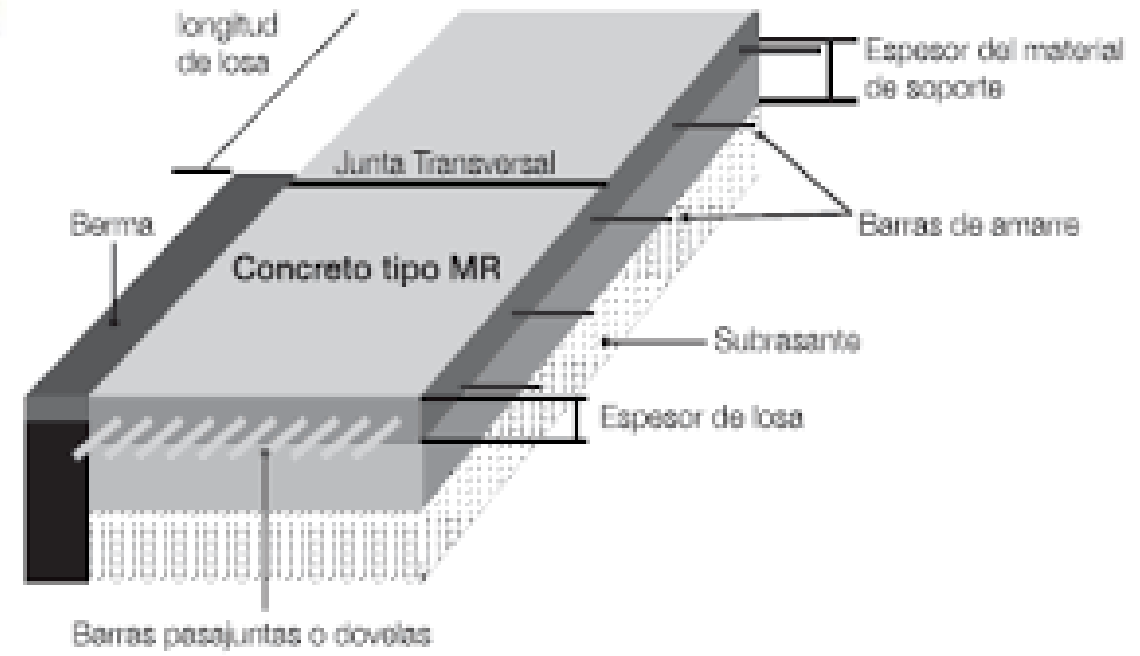
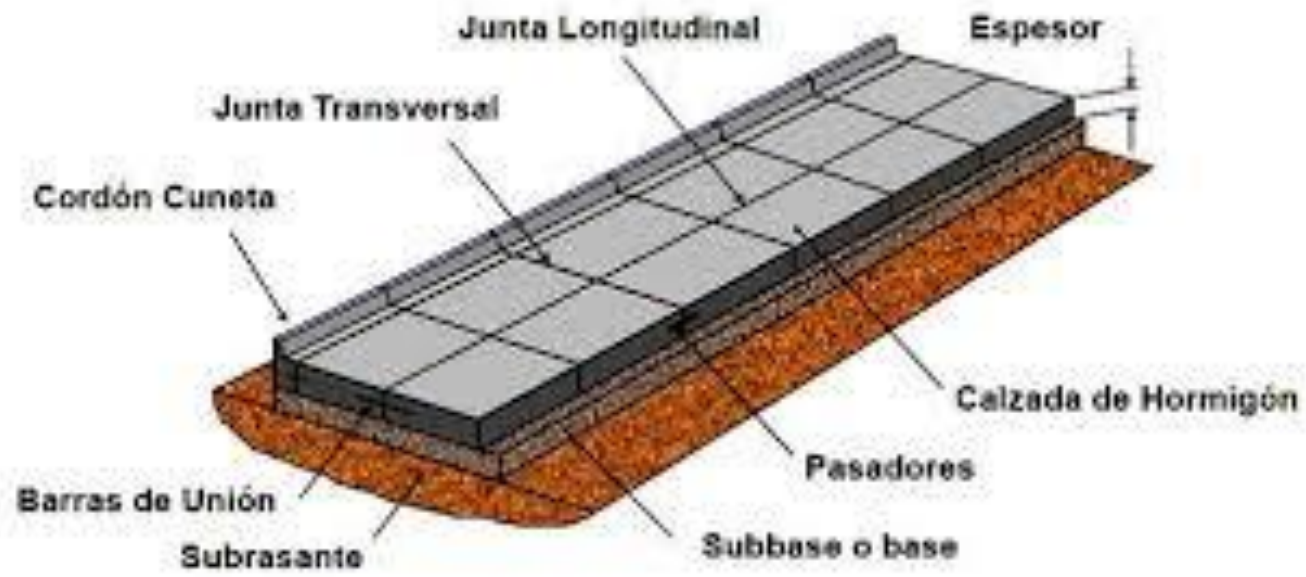
Listado de características a tener presente al seleccionar una solución de pavimentos

- **Competitividad del Proceso Constructivo.**
- **Altos Rendimientos y Optimas Eficiencias de Ejecución.**
- **Disponibilidad y Proximidad de los Materiales.**
- **Estandarización de Procesos.**
- **Económica y con buena relación B/C.**
- **Adecuado desempeño en el tiempo que asegure un mantenimiento balanceado.**
- **Medidas para Controlar Adecuadamente los Riesgos**

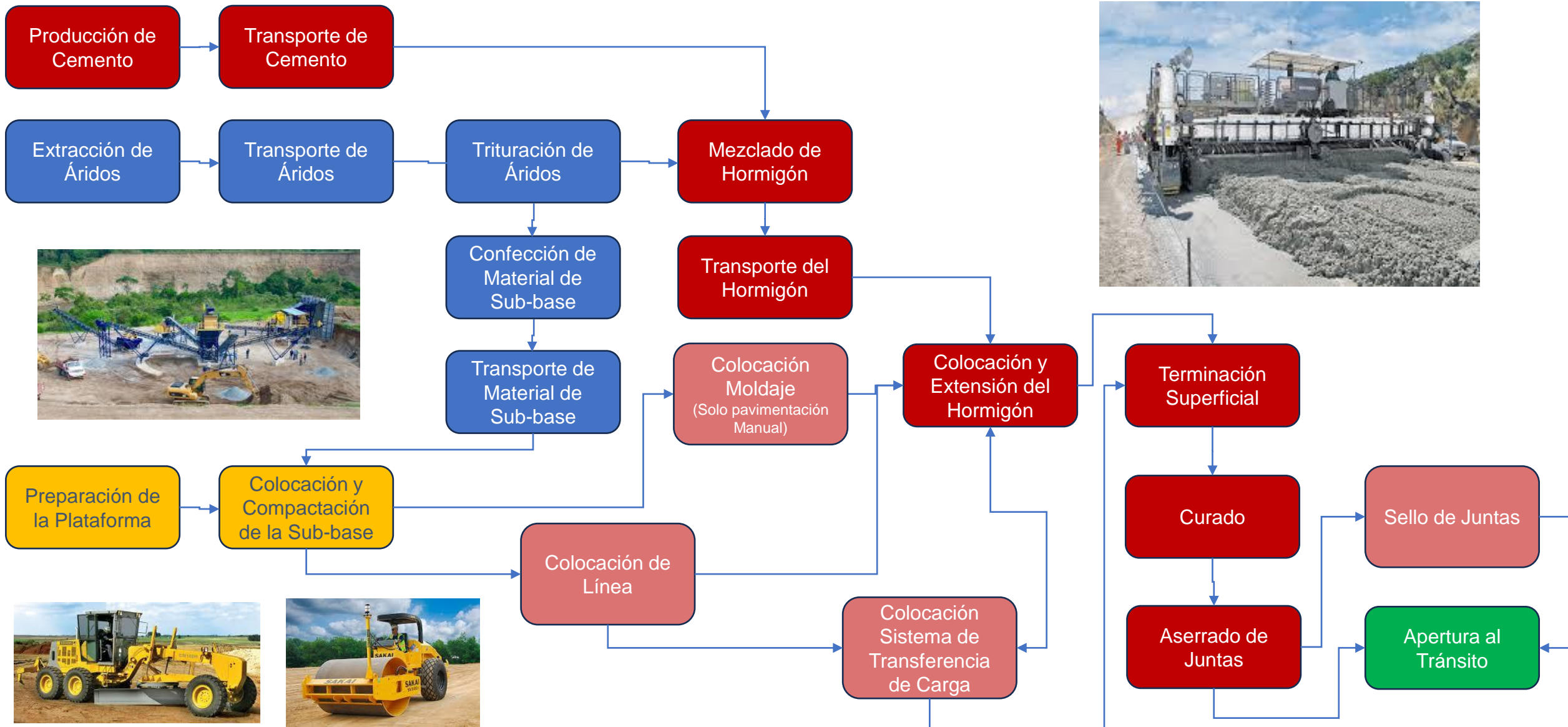
**Solución Económica, Durable, Funcional y Sustentable**



# Construcción de Pavimentos de Hormigón



## ¿Cómo se Construye un Pavimento de Hormigón?





# Construcción de Pavimentos de Hormigón

## Pavimentación Manual

Transporte del Hormigón



Colocación de moldes y barras



Colocación y Vibrado



Terminación



Curado



Aserrado y Sello de Juntas



Apertura al tránsito



Punto de Entrega del Hormigón premezclado al contratista



Transporte del Hormigón



Colocación y Vibrado



Terminación



Curado



Aserrado y Sello de Juntas



Apertura al tránsito



## Pavimentación Mecanizada

**Enfoque Prescriptivo**

**VS**

**Enfoque Por Desempeño**



**Exige el cumplimiento de uno o varios parámetros del hormigón que no necesariamente aseguran un óptimo performance**

**Enfoque prescriptivo  
(límites a los materiales)**



**La idea es evaluar y garantizar el nivel requerido de calidad del hormigón con relación a la durabilidad esperada de la estructura, bajo el entorno en el que estará construida**

**Enfoque por desempeño  
(características deseables)**

## Equipos de Pavimentación Tradicional (Manual)

Aconsejable para espesores de máximo 16 cm



Entre 100 a 150 m por jornada  
(90 m<sup>3</sup> por día en promedio dependiendo del espesor)

## Equipos Mecanizado de Pavimentación (pavimentadoras de molde deslizante)



Entre 400 a 850 m por jornada  
(350 a 500 m<sup>3</sup> por día en promedio dependiendo del espesor)

El Uso de Equipos de Molde Deslizante aseguran un mayor rendimiento y traen consigo una mayor productividad que redunda en la disminución del costo directo inicial

## Velocidad de Suministro del hormigón



Descargar 6 m<sup>3</sup> desde camión mezclador tarda entre 12 a 15 minutos aprox.



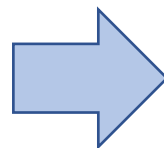
Descargar entre 8 y 12 m<sup>3</sup> desde volqueta tarda entre 45 segundos y un minuto y medio aprox. sin causar segregación

## Pavimentación Manual - Dimensiones (Espesores - Longitudes – Volúmenes)

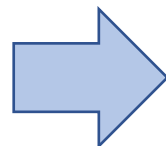
Considerando una longitud de 1 km y un ancho de carril de 3,6 m y un espesor del pavimento de concreto de 20 cm



Suponiendo que despacharan desde planta camiones mezcladores cada uno cargado con 6 m<sup>3</sup> se requerirían 120 camiones aprox.



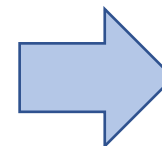
**720 m<sup>3</sup> de concreto hidráulico por km**



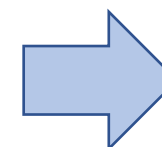
**4 camiones mezcladores descargando concreto por hora**



**24 m<sup>3</sup>/h colocados alcanzarían para pavimentar 120 m<sup>2</sup> equivalentes a 33 m de longitud aprox.  
(Ancho=3.6 m y Espesor=20cm)**



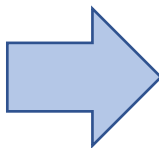
**30 Horas aprox. ó Entre 4 a 6 días para descargar el concreto necesario para 1 km**



**Si se trabajaran alrededor de 5 horas y mantiene un ritmo optimo y continuo se podrían hacer 150 m de longitud en un día con equipos manuales**

## Pavimentación Mecanizada - Dimensiones (Espesores - Longitudes – Volúmenes)

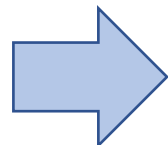
Considerando una longitud de 1 km y un ancho de carril de 3,6 m y un espesor del pavimento de concreto de 20 cm



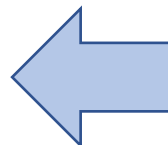
720 m<sup>3</sup> de concreto hidráulico por km



Velocidad avance 1m/min



60 m requerirían de 43 m<sup>3</sup>/h aprox.  
(Ancho=3.6 m y Espesor=20cm)



Planta capacidad de al menos 60 m<sup>3</sup>/h



Si se trabajaran alrededor de 8 horas y mantiene un ritmo óptimo y continuo se podrían hacer 350 m de longitud en un día con equipos de molde deslizante



Si se logran colocar los 60 m<sup>3</sup>/h durante una jornada de 8 horas se podrían alcanzar alrededor de 480 m de longitud en un día con equipos de molde deslizante, prácticamente 1 km en 2 días

## Dato: Club de la milla



### Pavimentar una milla

1 milla = 1609 m aprox.

Sección de 7,2 m de Ancho  
Espesor 24 cm

2780 m<sup>3</sup> aprox. de hormigón

- Jornada de 10 horas
- 278 m<sup>3</sup>/h – 160 m/h

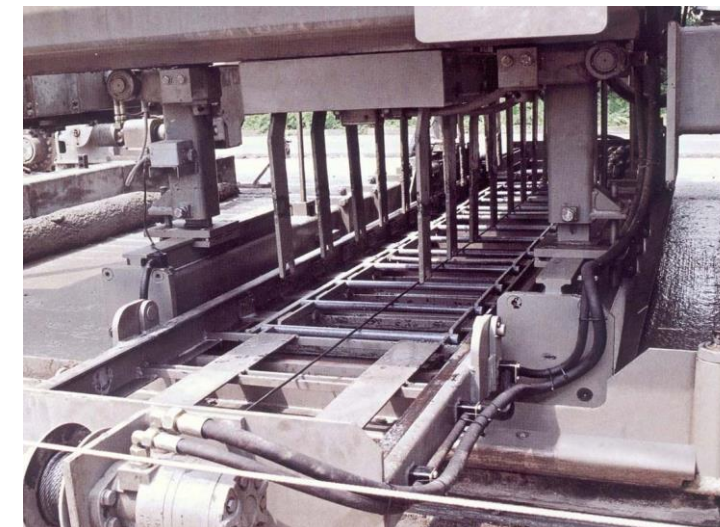
Dato para tener en cuenta:

## Caso en Argentina

- 700 m aprox. – 10,3 m de ancho
- (2 carriles de 7,3 m de Ancho + 2 bermas de 1,5 m)
- Espesor 24 cm
  
- 1730 m<sup>3</sup> aprox. de concreto
- Jornada de 8 horas
- 216 m<sup>3</sup>/h – 87,5 m/h







**Las buenas prácticas en el proceso constructivo, así como la incorporación de tecnología aseguran la calidad y minimizan la repetición**

**Si bien en algunos casos implica inversión el resultado impacta en la reducción de costos directos de construcción**

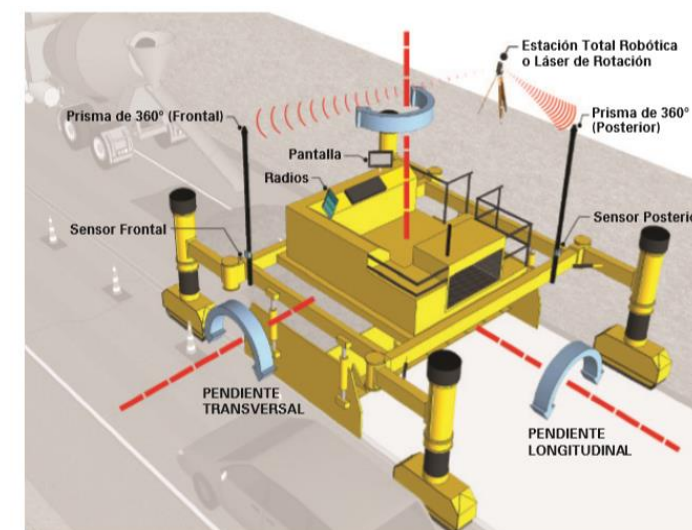
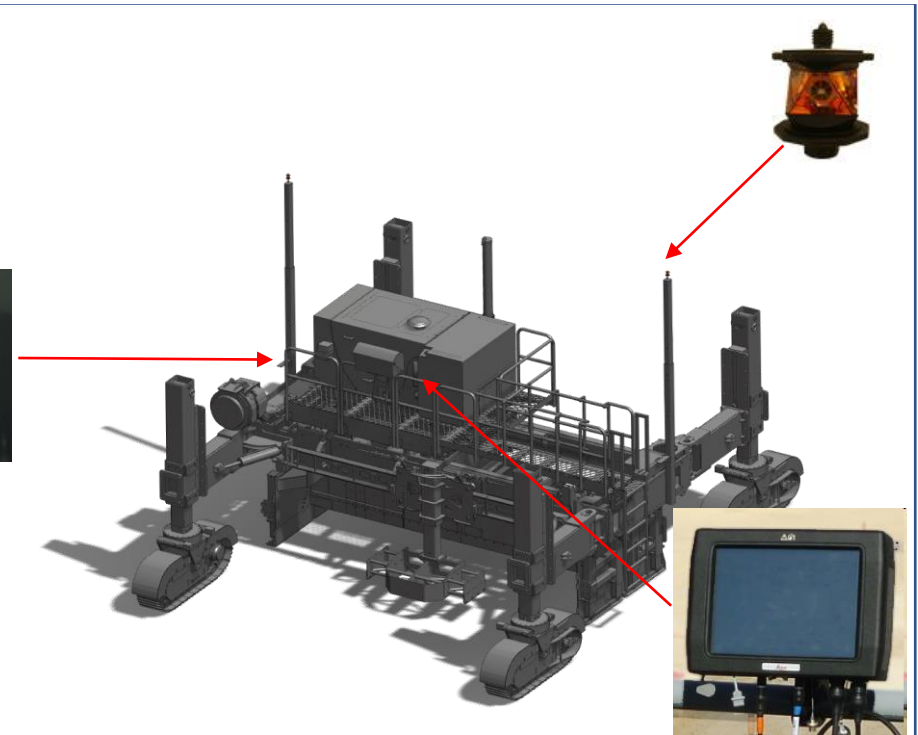
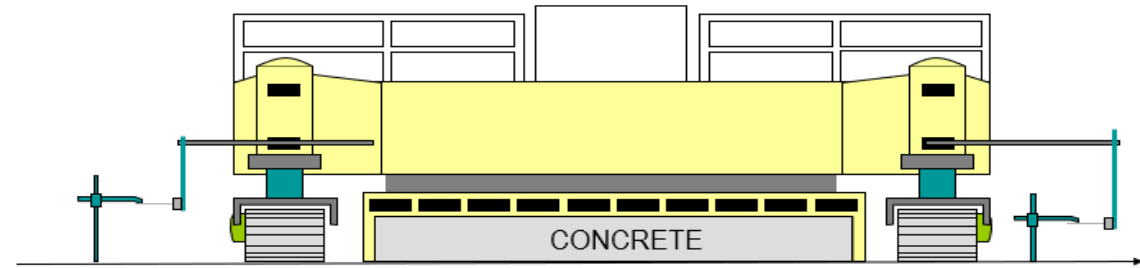
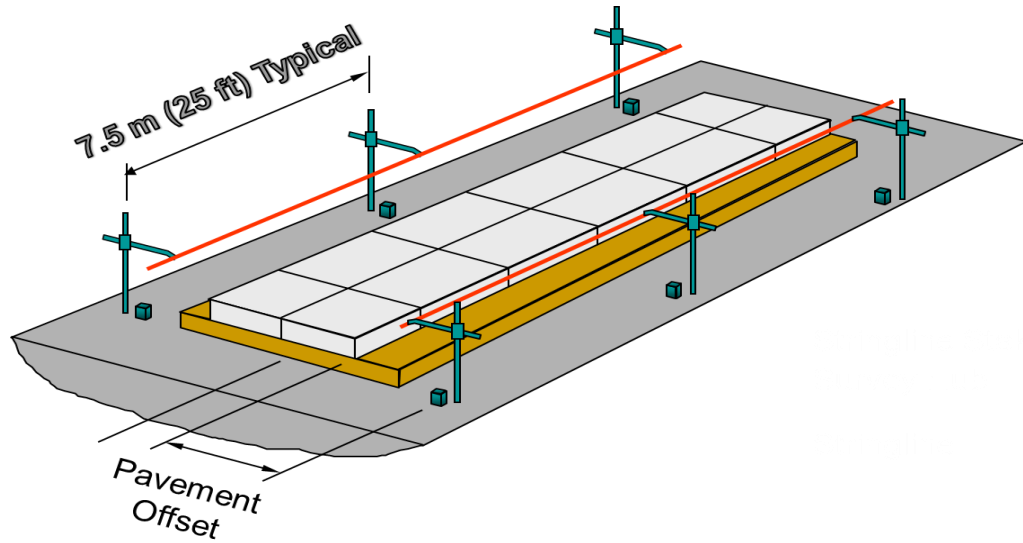


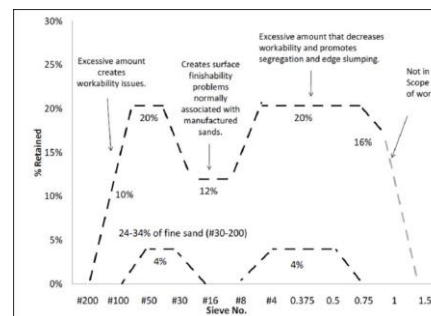
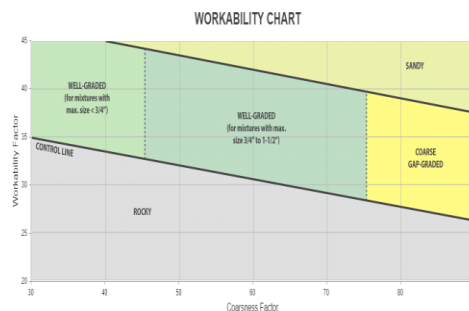
Figura 133. Controles de una pavimentadora

# Construcción de Pavimentos de Hormigón



## Optimizando los procesos constructivos

### Optimización de las Dosificaciones



Cortesía: Consorcio INCOCI - CUJO

- Dosificación – Trabajabilidad
- Especificación por desempeño
- Evitar Alabeo de Construcción

#### Pasta de cemento: Agua + Cemento

Calidad → Razón A/C

Cantidad:

- Cubrir superficie arenas
- Llenar espacios entre arena
- Separar las partículas de arena

#### Mortero: Pasta de cemento + arena

Cantidad:

- Cubrir superficie de la árido grueso
- Llenar espacios entre árido grueso
- Dar un medio fluido para que el arrido se pueda desplazar entre si con facilidad

#### Concreto : Mortero + Árido Grueso

- Trabajabilidad
  - Ni tan humedo ni tan seco



## Optimizando los procesos constructivos

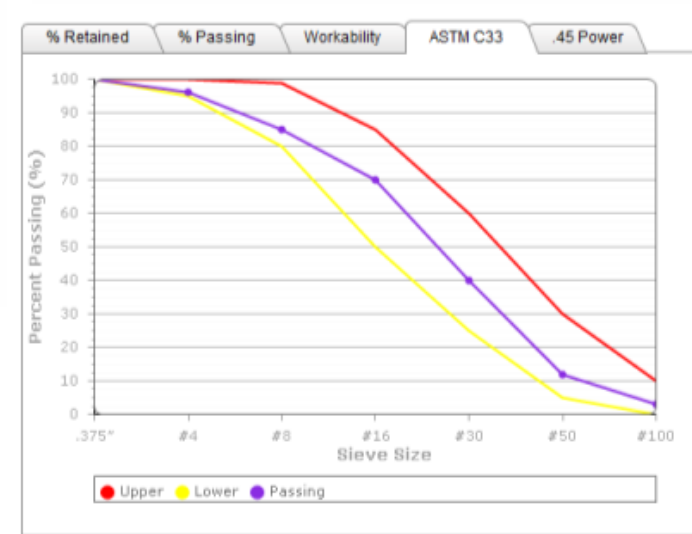
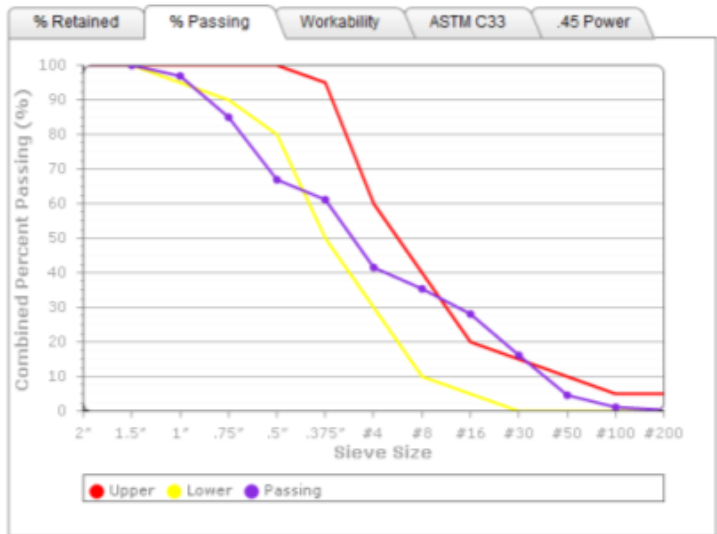
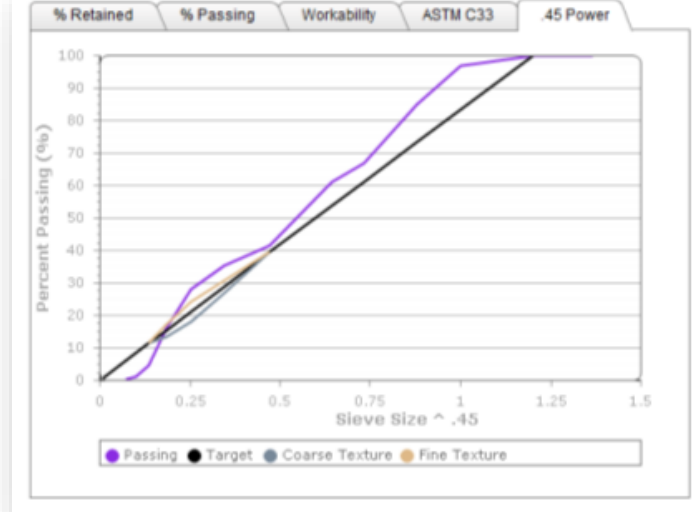
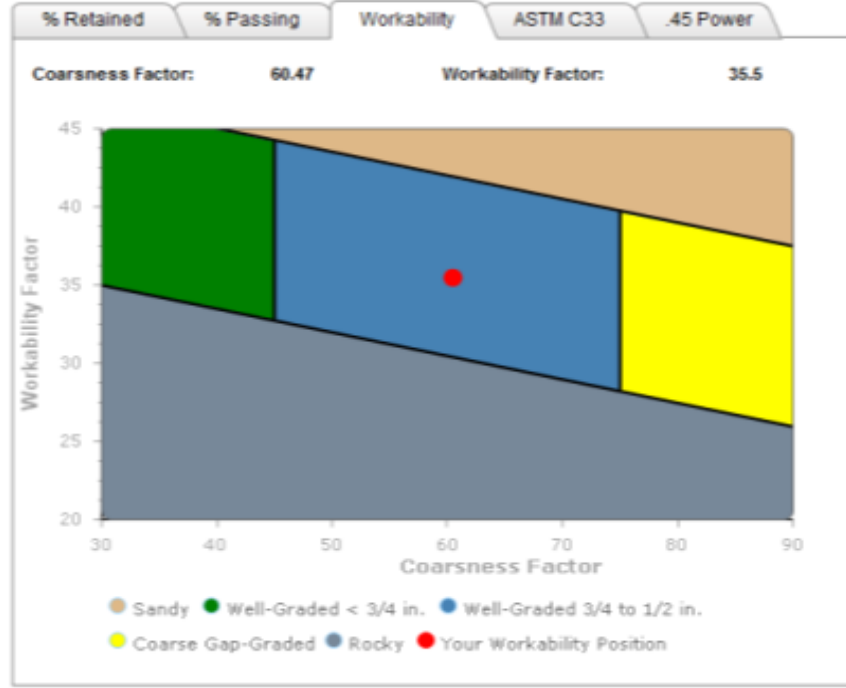
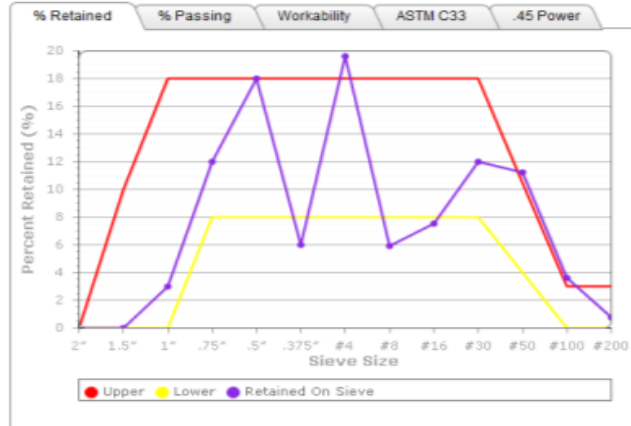
Optimización de las  
Dosificaciones



La disponibilidad de  
materiales y la logística de  
transporte que implica la  
ejecución



Combined Gradation Plots



## Uso de Macro- fibras

El uso de macrofibras además de contribuir al desempeño del pavimento mejorando sus propiedades, permite también la optimización de espesores

**Fiber-Reinforced Concrete for Pavement Overlays: Technical Overview**

Final Report  
April 2019

Sponsored by  
Federal Highway Administration  
Technology Transfer Concrete Consortium (TTCC) Pooled Fund 17F-5(3)D  
(Part of Interim Project 13-332)

IOWA STATE UNIVERSITY  
National Concrete Pavement Technology Center



### Residual Strength Estimator for Fiber-Reinforced Concrete Overlays

**Instructions:** Run an overlay design software to determine the design inputs. Select design choices from the drop-down menus below to narrow down the recommended performance requirement of FRC for the proposed overlay pavement. Determine the effective flexural strength to input into overlay design software instead of design concrete flexural strength. Prepare specifications to achieve design residual strength of FRC material.

Design Input Choices	
Type of Overlay Road	Artificial
Millions of ESALS in Design Life	0.01 to 5.0 million ESALS
Asphalt Pre-Condition*	Fair *refer to Tech Report to example estimates of asphalt pre-condition
Desired New Concrete Thickness	4.5 to 6 inch PCC thickness
Remaining HMA Thickness after Milling	4.5 to 6 inches HMA remaining
Overlay Slab Size	6ft joint spacing
Desired Performance Enhancements <i>(this will generate a higher residual strength, but not included in effective flexural strength)</i>	basic FRC overlay
Plain Unreinforced Concrete Flexural Strength (MOR) <i>based on 28 day Four Point Bending (ASTM C78 or ASTM C1609)</i>	550 psi

**Design Suggestions/Warnings:**

**Recommended Residual Strength ( $f_{ra}$ )**  
Use value within this range for the Material Specification: **125 to 175 psi** (target value from ASTM C1609 test results of FRC)

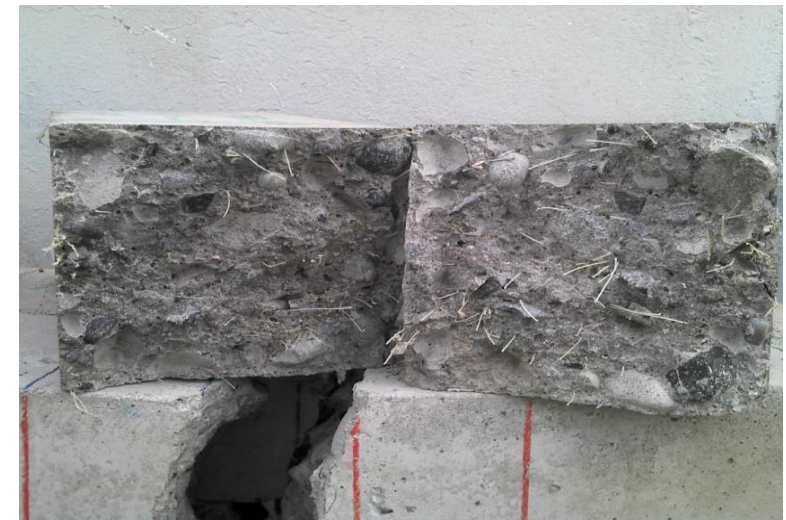
**Effective Flexural Strength ( $f_{ef}$ )**  
Replace the MOR from the Pavement Design Software with this value: **650 psi**

NOTE: Actual fiber dosage rates are dependent on fiber type, fiber dimensions, concrete mixing/placement technique, cement content and fiber content or volume fraction. The intended fiber and dosage rate should be verified by ASTM C1609 test method. These recommended values are based off of previous field and laboratory testing of fibers used in concrete overlay pavements. Refer to the Tech Guide or Tech Report for more details.

Developed by Amanda Borden, Ph.D., P.E. and Jeffrey Roeder, Ph.D., P.E.  
Version 1.0, January 2019

**Acknowledgments:**  
The software was created with the funding, promotion, and guidance of the National Concrete Consortium (NCC), the National Concrete Pavement Technology Center (CP Tech Center), Snyder & Associates, and a state DOT pooled fund technical advisory committee.

**Disclaimer:**  
The contents of this spreadsheet do not necessarily reflect the official views or policies of the developers' employers, funding agencies, or technical advisory committee members. The spreadsheet developers assume no responsibility, warranty, or liability for any errors, omissions, or inaccuracies of this spreadsheet. This spreadsheet does not constitute a standard, specification, or regulation.



## Uso del concepto de la Madurez

El uso del concepto de la madurez puede contribuir a agilizar los procesos de apertura al tránsito y a la reducción de costos

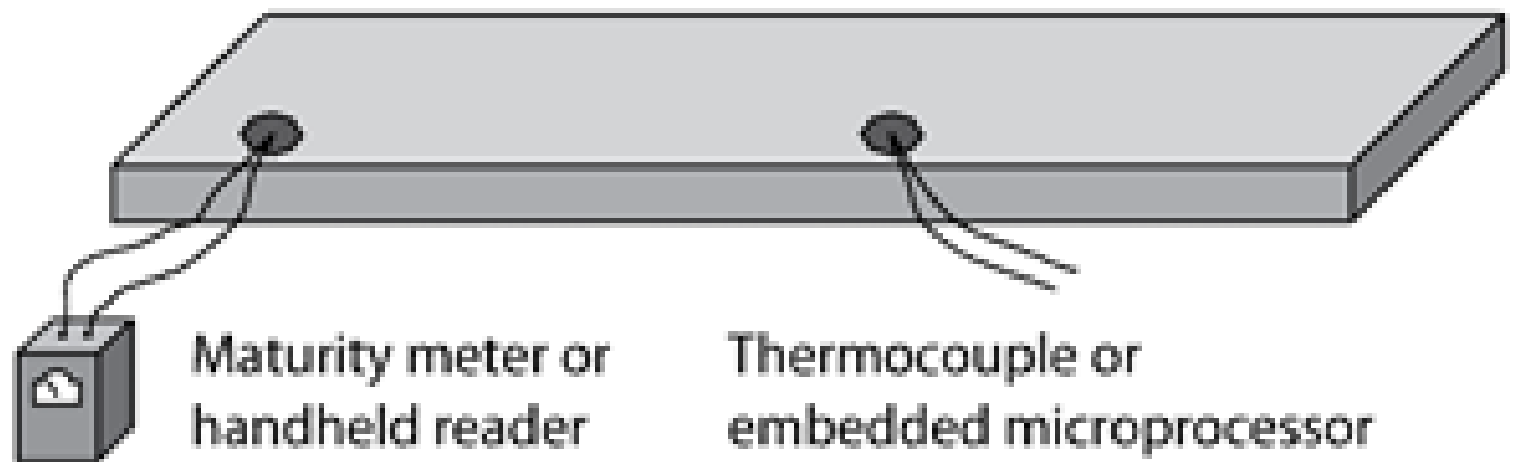
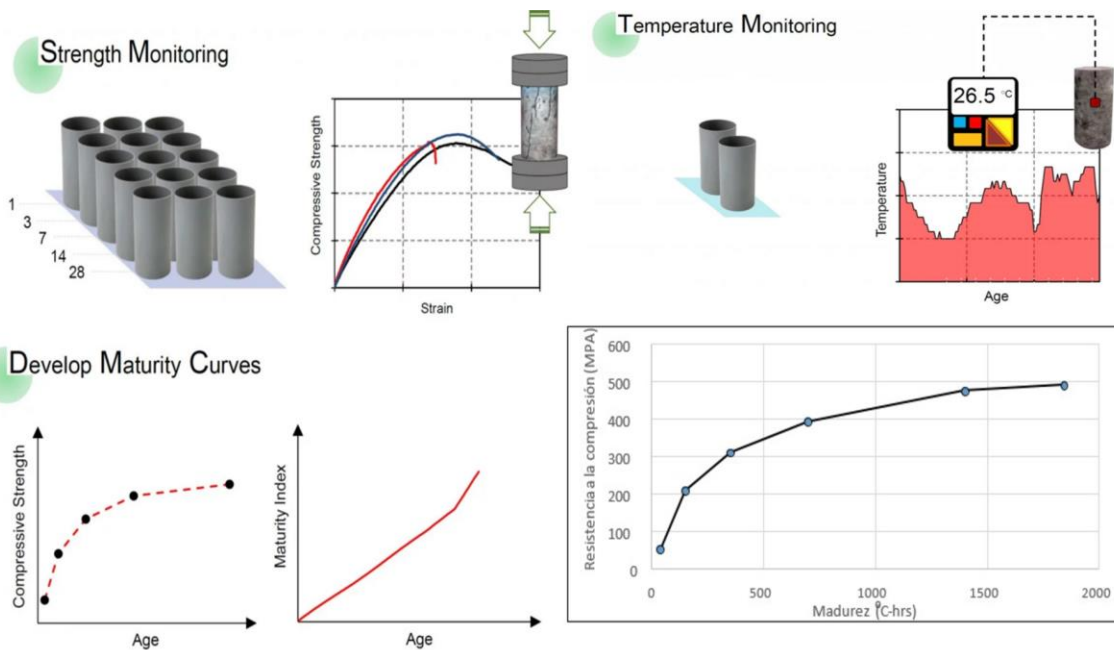


Tabla 16. Espesor de la Losa y Resistencia de Apertura al Tránsito

Espesor de la Losa	Resistencia de Apertura al Tránsito	
	Compresión	Flexotracción
150 mm (6 in.)	24 MPa (3.600 psi)	3,7 MPa (540 psi)
175 mm (7 in.)	19 MPa (2.700 psi)	2,8 MPa (410 psi)
200 mm (8 in.)	15 MPa (2.150 psi)	2,3 MPa (340 psi)
230 mm (9 in.)	14 MPa (2.000 psi)	2,0 MPa (300 psi)
250 mm (10 in.) +	14 MPa (2.000 psi)	2,0 MPa (300 psi)

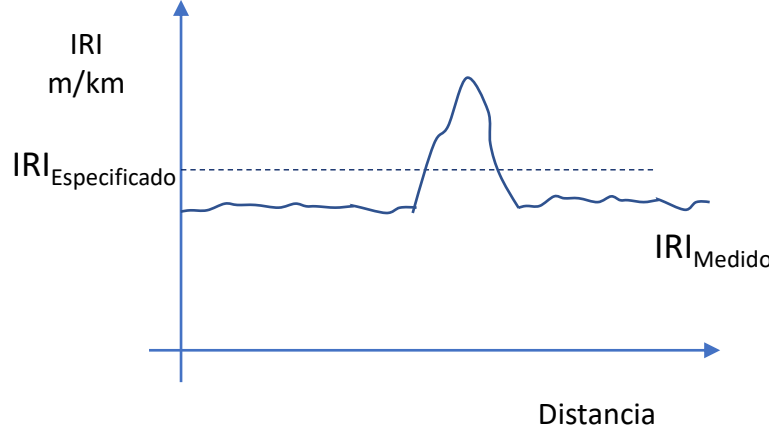
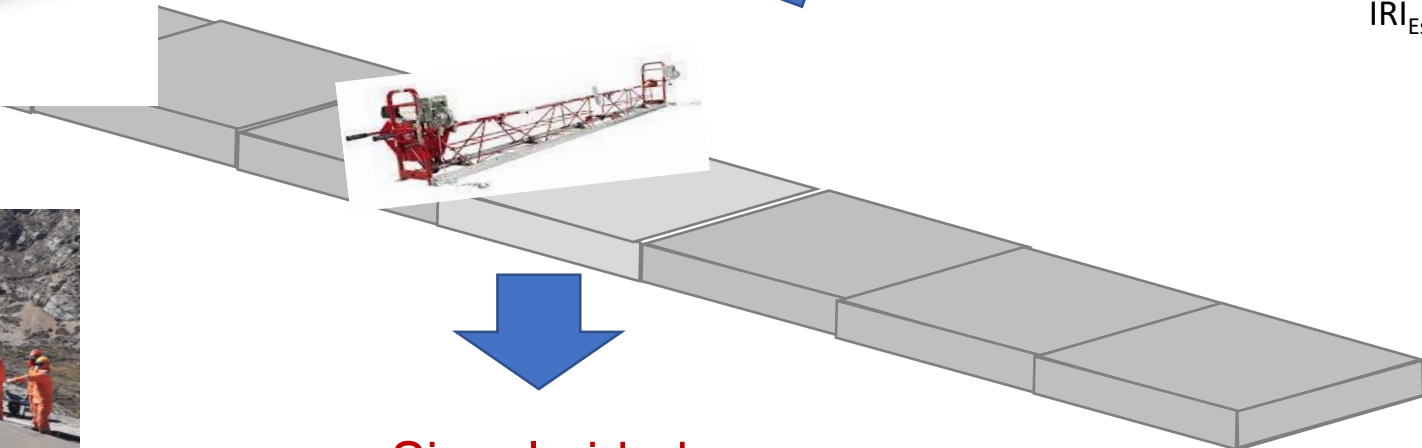
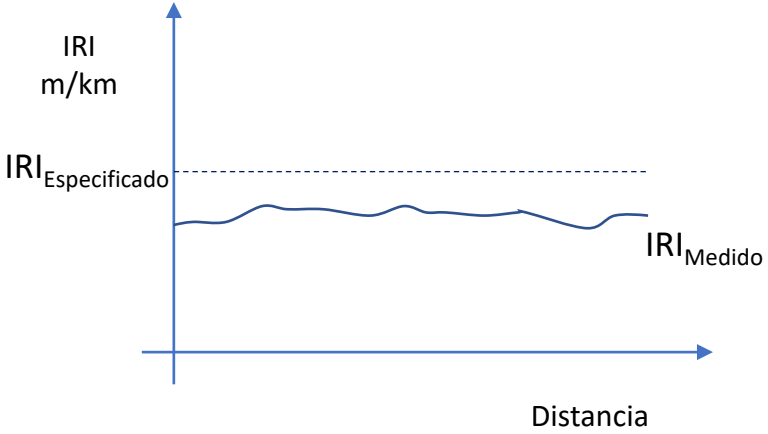
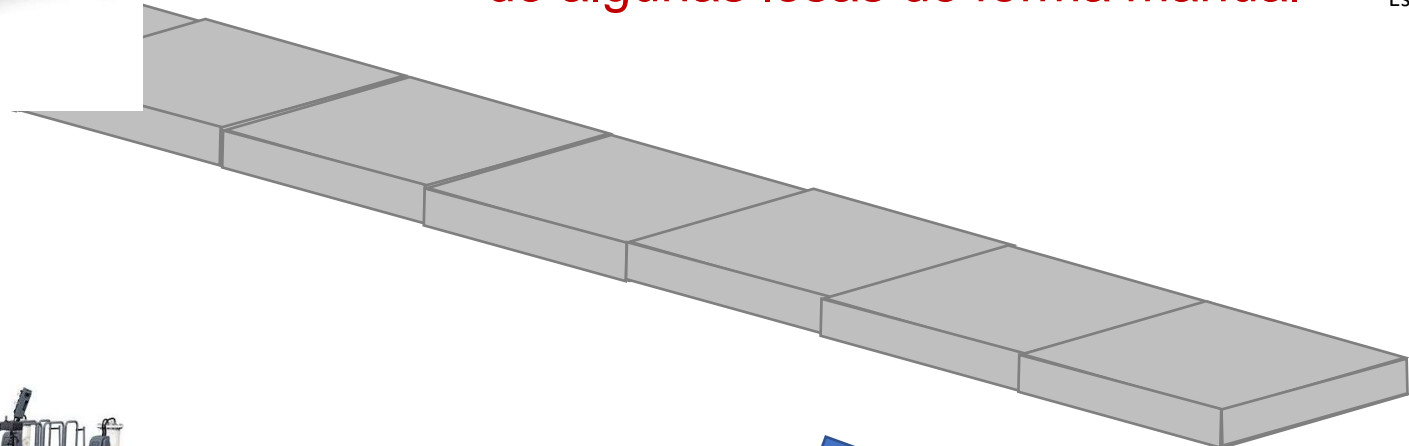


# Algunas Reflexiones sobre las Ventajas de Construir con Pavimentos de Hormigón.

El concepto clave de una pavimentación con hormigón exitosa es lograr la **ejecución de los trabajos de forma continua y a un ritmo constante en la mayor extensión posible, lo cual asegurará el poder cumplir con suficiencia y mínima variabilidad los requisitos de regularidad (IRI), resistencia, espesor y homogeneidad necesarios para un óptimo performance y la construcción a precios competitivos**



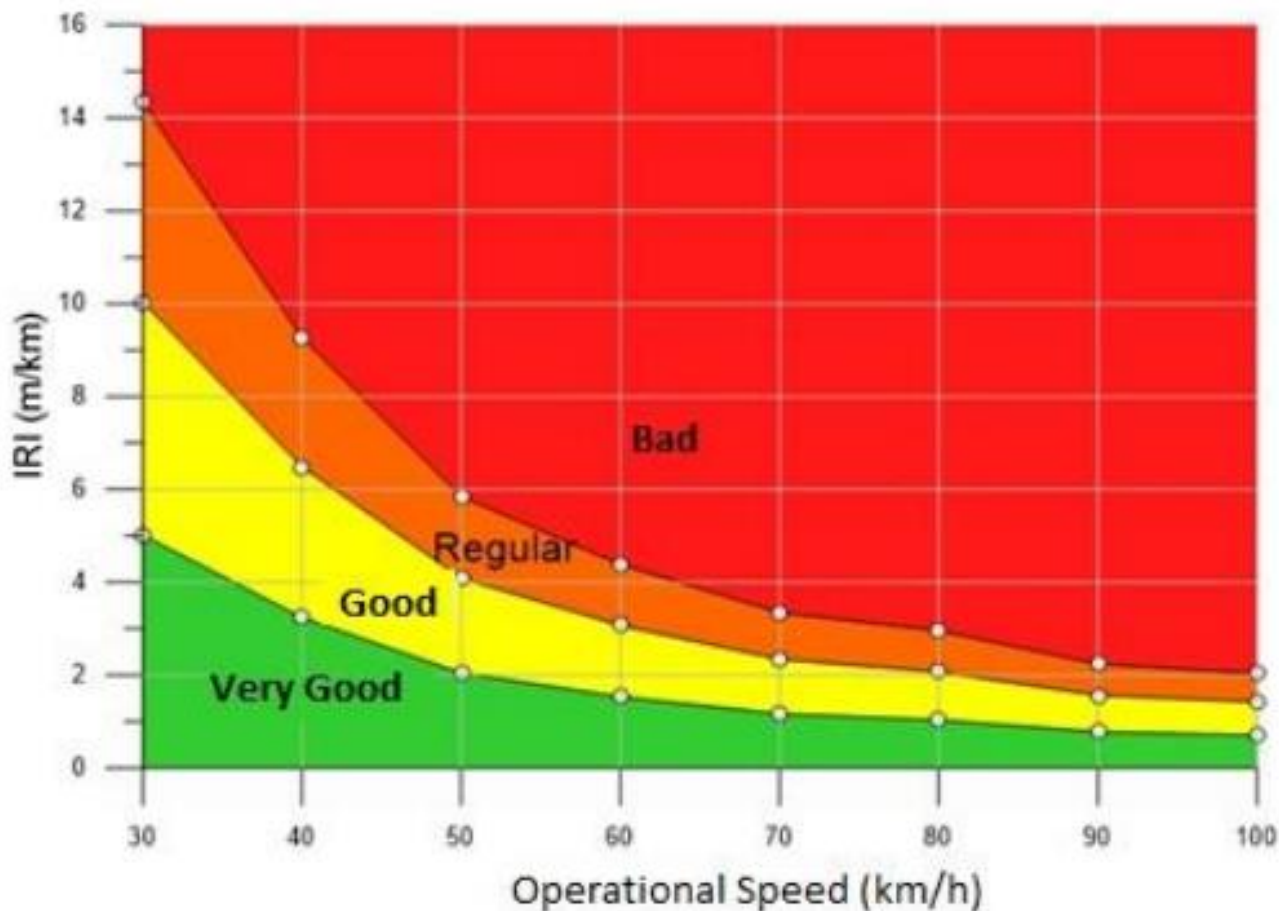
# Efecto de la falta de continuidad en la pavimentación y la materialización de algunas losas de forma manual



Singularidad

# Construcción de Pavimentos de Hormigón





## Umbral de IRI para diferentes velocidades de operación

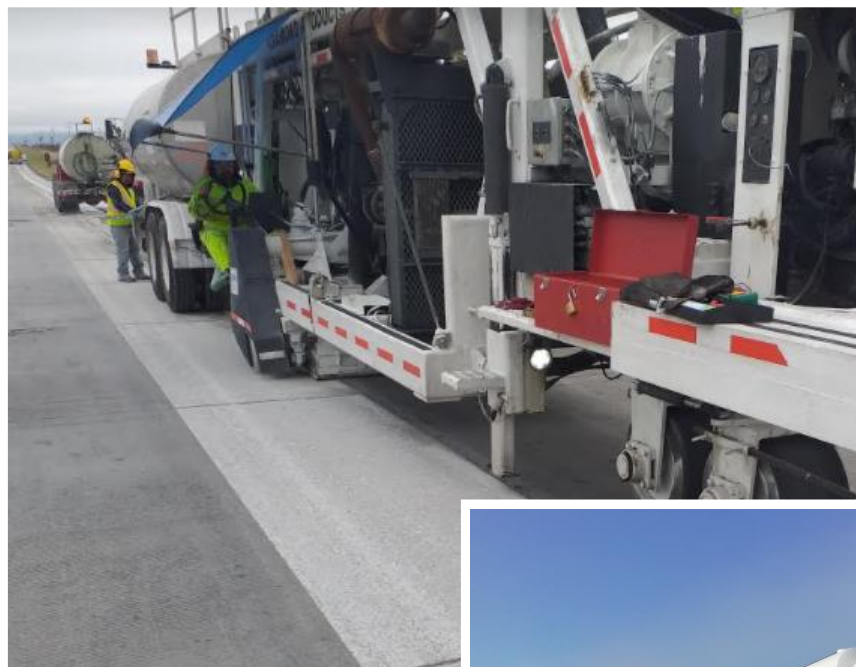
Fuente: Abudinen D. et al. Development of Thresholds for Travel Quality Assessment In Colombian Urban Roads. Conference: 2nd IRF Asia Regional Congress & Exhibition Kuala Lumpur, Malaysia, 2016

Thresholds for International Roughness Index at different operational speeds.

## Cepillado de Pavimentos – Diamond Grinding



Profundidad del cepillado 2 mm





**Aspectos Claves en un Proyecto de Pavimentación con Hormigón.**

Extracción y Transporte de Áridos

Trituración de Áridos

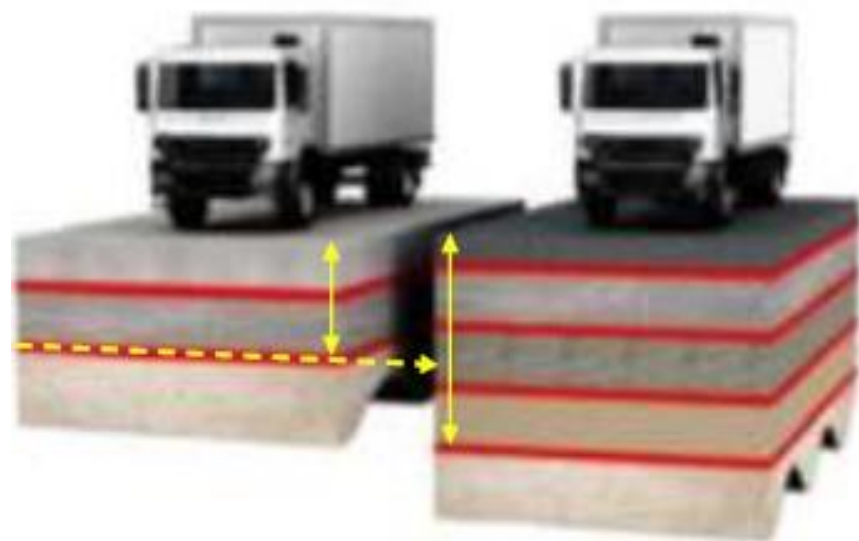
Dada las restricciones actuales para la obtención de material pétreo que pueda cumplir con especificaciones y exigencias para bases y mezclas, las **soluciones deben procurar el uso óptimo del recurso y/o habilitar el uso de alternativas y tecnología de complemento y sustitución** (tratamiento de bases, uso de fibras, losas de espesor optimizado, etc.).

Asimismo, se debe **evitar transformar los proyectos de pavimentación en contratos de transporte, por falta de materiales disponibles y cercanos al proyecto**, lo cual atenta contra el equilibrio de la economía del proyecto y su presupuesto



# Construcción de Pavimentos de Hormigón

La resistencia y la rigidez del hormigón se traduce en menos y más delgadas capas de los materiales necesarios sub-base, y una menor necesidad de materiales pétreos.



Los pavimentos de concreto tienen una **menor demanda en los recursos no renovables.**

Un hecho cierto es que mientras los pavimentos flexibles requieren en promedio espesores más de 40 cm para bases+subbases, los pavimentos de hormigón suelen utilizar entre 15 y 20 cm máximo de subbase



## Economía y Sustentabilidad

Si adicionalmente se optimizan los espesores de las losas con diseños de espesor optimizado (losas cortas) y el uso de fibras, se disminuye también la cantidad de árido necesario para el hormigón

## ¿El Pavimento de Hormigón es Realmente Caro?

### Mito, Paradigma o Excusa

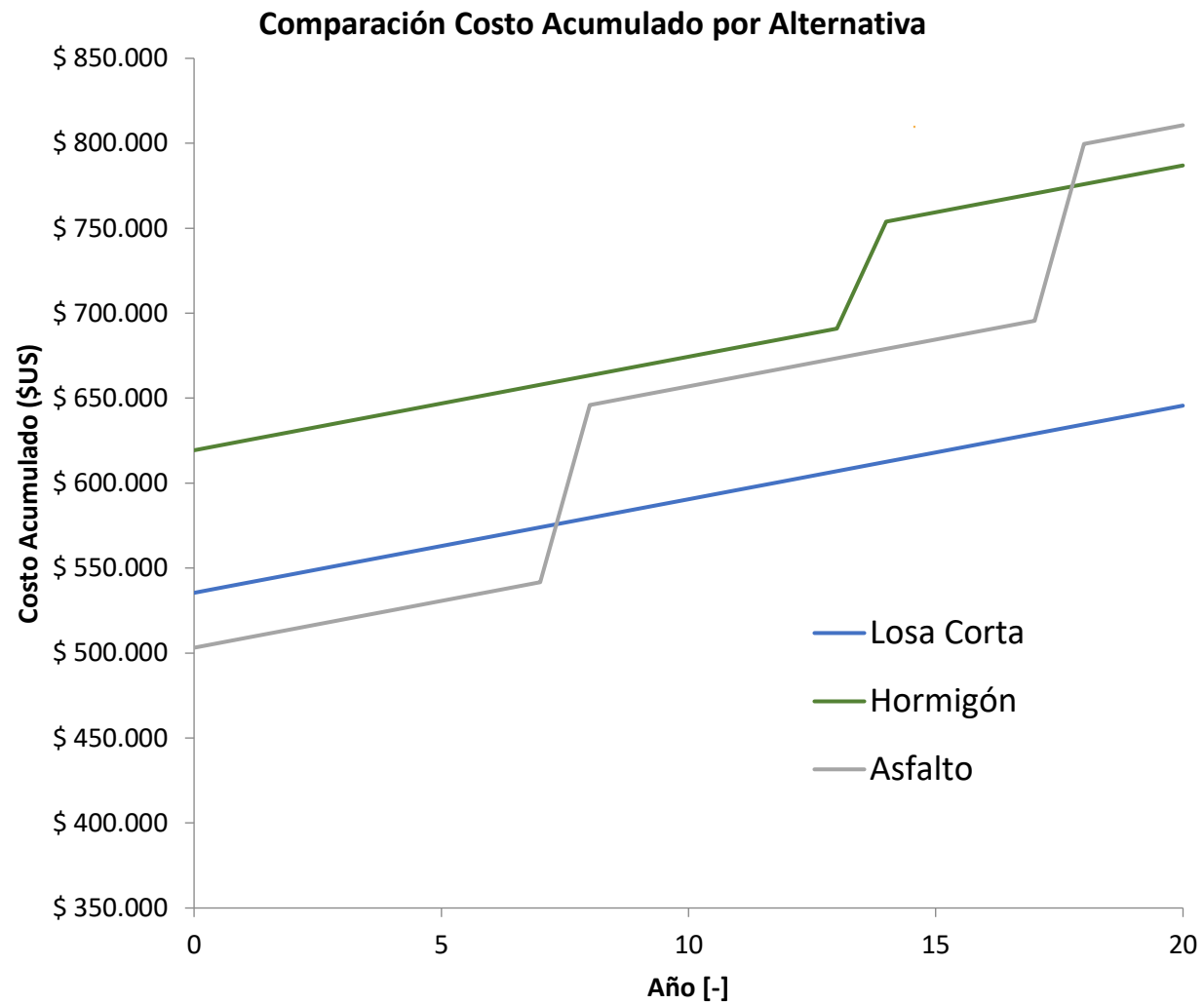


¿El costo por m<sup>2</sup> de colocación es el mismo?

Definitivamente no lo es!!

## Comparación del Costo del Ciclo de Vida de Estructuras de Diseños Equivalentes

Año	Losa Corta (Costo Acumulado \$US)	Asfalto (Costo Acumulado \$US)	Hormigón (Costo Acumulado \$US)
Costo Inicial	\$ 535.408	\$ 503.210	\$ 619.407
1	\$ 540.913	\$ 508.715	\$ 624.912
2	\$ 546.418	\$ 514.220	\$ 630.417
3	\$ 551.923	\$ 519.725	\$ 635.922
4	\$ 557.428	\$ 525.230	\$ 641.427
5	\$ 562.933	\$ 530.735	\$ 646.932
6	\$ 568.437	\$ 536.240	\$ 652.437
7	\$ 573.942	\$ 541.745	\$ 657.942
8	\$ 579.447	\$ 645.898	\$ 663.447
9	\$ 584.952	\$ 651.403	\$ 668.952
10	\$ 590.457	\$ 656.908	\$ 674.457
11	\$ 595.962	\$ 662.413	\$ 679.962
12	\$ 601.467	\$ 667.918	\$ 685.467
13	\$ 606.972	\$ 673.423	\$ 690.972
14	\$ 612.477	\$ 678.928	\$ 753.811
15	\$ 617.982	\$ 684.433	\$ 759.316
16	\$ 623.487	\$ 689.938	\$ 764.821
17	\$ 628.992	\$ 695.443	\$ 770.326
18	\$ 634.497	\$ 799.596	\$ 775.831
19	\$ 640.002	\$ 805.101	\$ 781.336
20	\$ 645.507	\$ 810.606	\$ 786.840



# Construcción de Pavimentos de Hormigón



Pavimento de Hormigón Tradicional + Cepillado ½ vida



Pavimento de Hormigón Tradicional

15 millones Ejes equivalentes



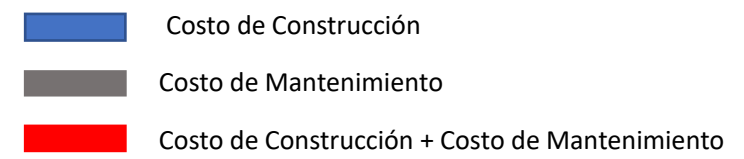
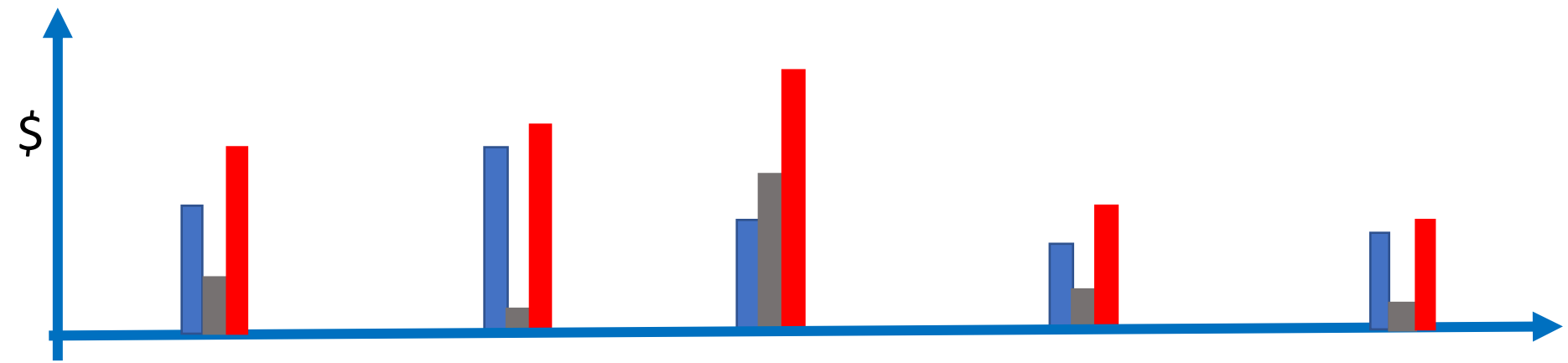
Pavimento Asfaltico



Pavimento de Hormigón Losas cortas

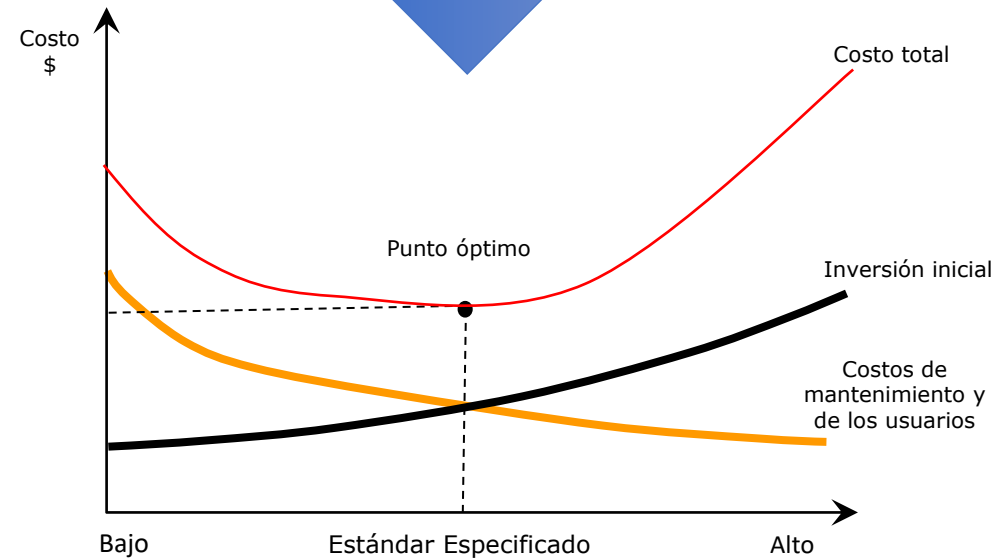


Pavimento de Hormigón Losas cortas + fibras





El estándar mas adecuado depende de la naturaleza del camino



Establecer las ventajas de los **pavimentos de hormigón** frente a otras materialidades, **NO se debe reducir a una mera comparación de costos directos iniciales**, lo cual dejaría de lado y sin considerar aspectos clave de **tecnología, ingeniería y sustentabilidad**, en la valoración del **desempeño y la relación beneficio/costo real en el largo plazo.**



# Experiencias de Construcción de Pavimentos de Hormigón en LATAM.

# Construcción de Pavimentos de Hormigón



Guatemala



México



Nicaragua



Costa Rica



Bolivia



Brasil



Perú



Chile



Argentina



Uruguay

**Prácticamente en casi la totalidad de los países de Latinoamérica se utilizan los equipos de pavimentadoras de molde deslizante**

**Uso de Pavimentadoras de molde deslizante**



Cortesía de Astrid Vilicic

¿Cómo alcanzar el estándar de regularidad especificado?

**Pavimentación Continua**



Fuente: Astrid Vilicic

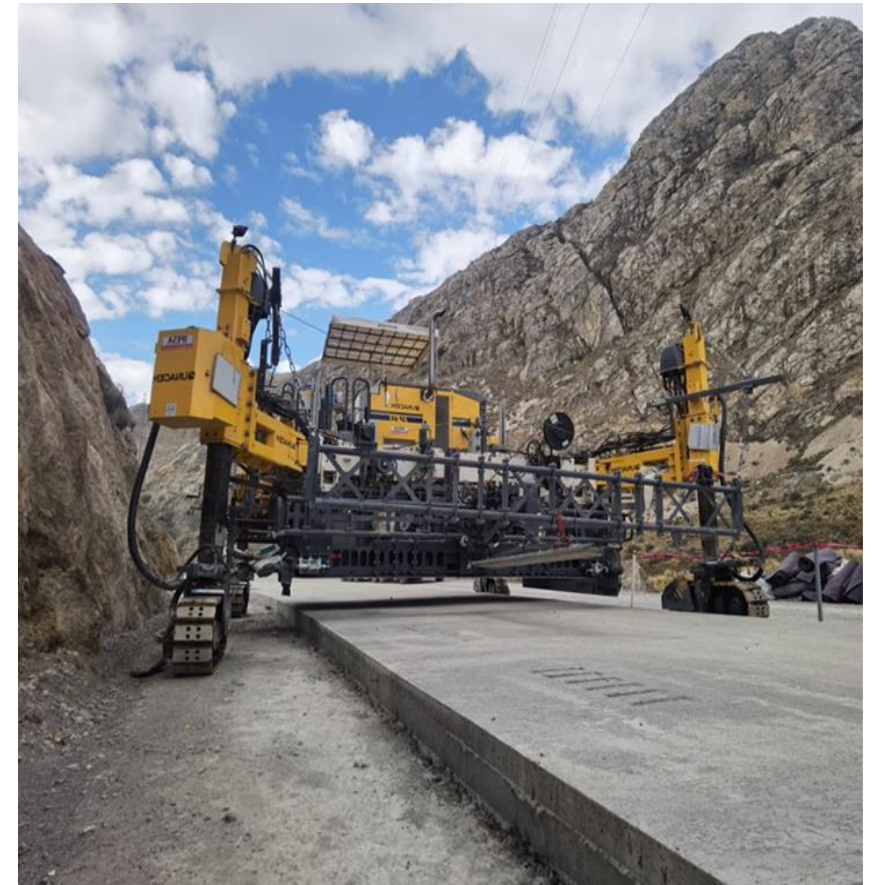
## Limonal – Cañas (Costa Rica, 2021)



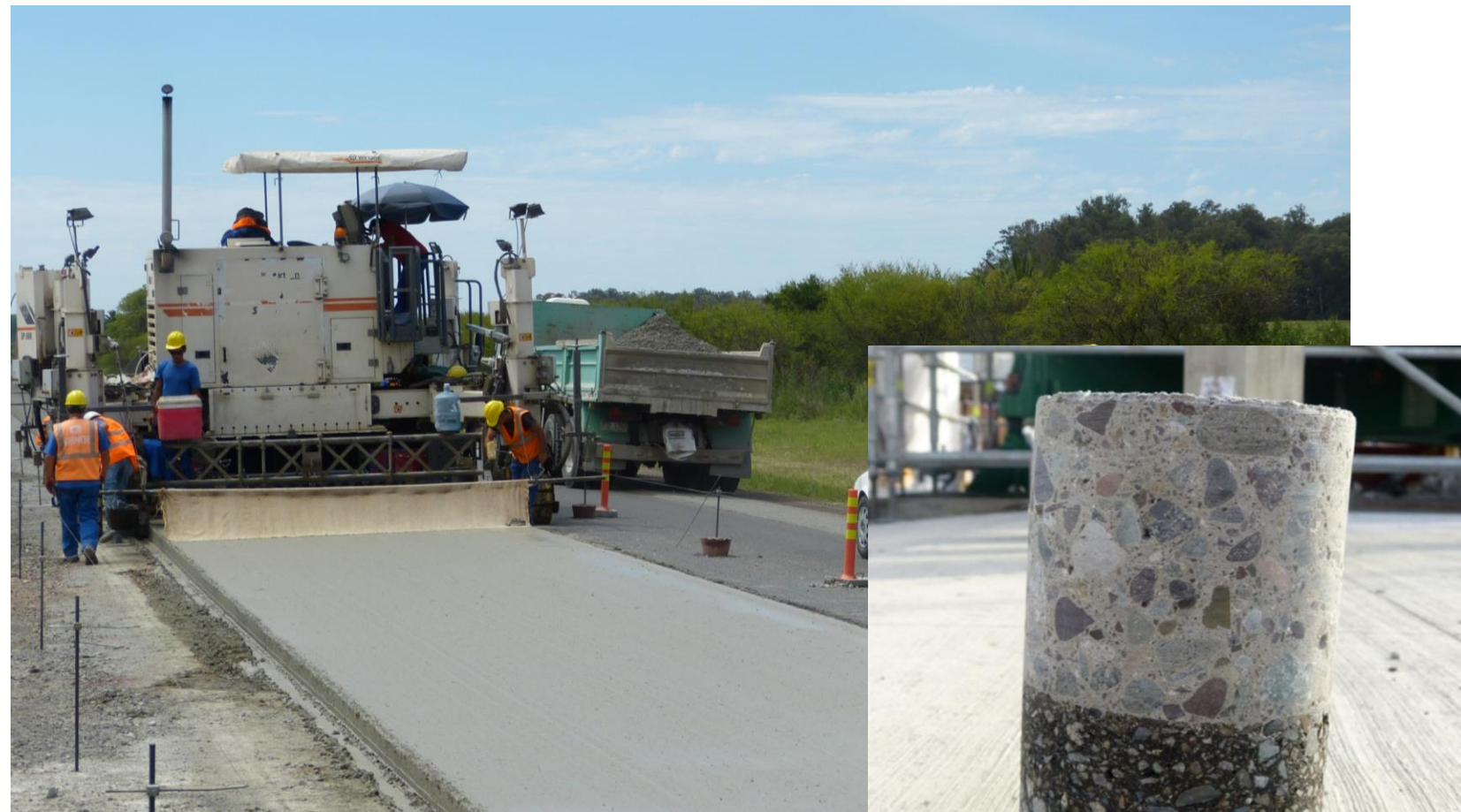
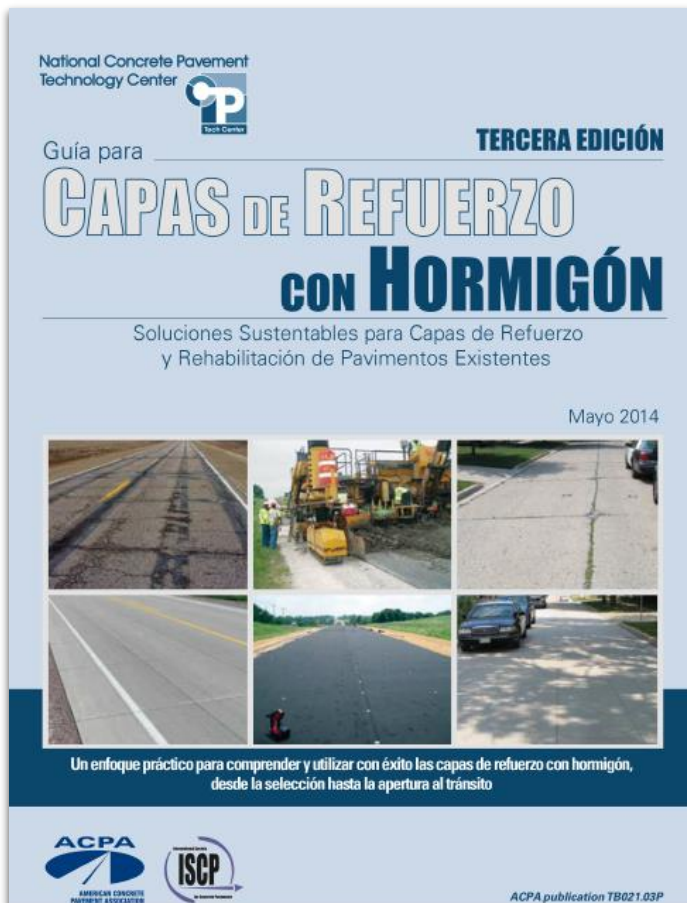


Whitetopping Ruta 3  
Trinidad – A° Grande  
(Uruguay, 2019)

## Proyecto Ambo – Oyon (Perú, 2021)



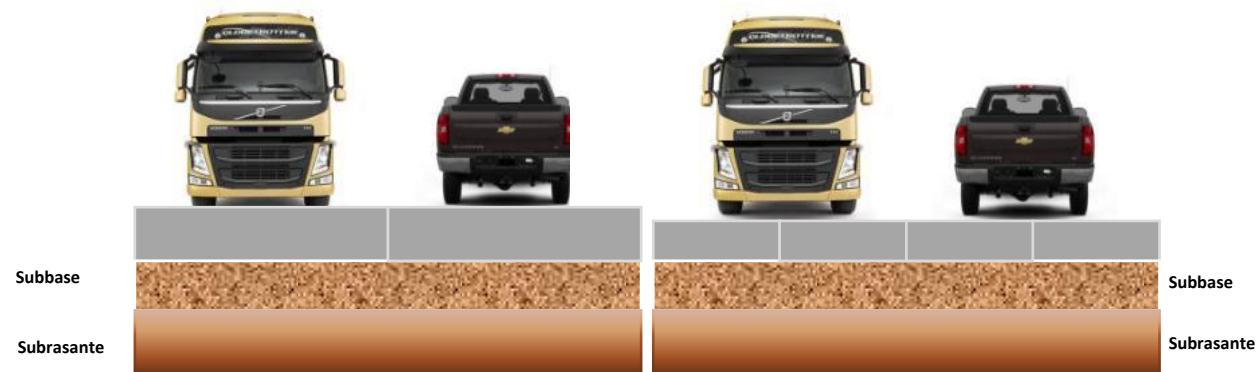
## Proyecto de Rehabilitación de la Ruta 24 (Uruguay) mediante el uso de un sobrecapa adherida.





## Whitetopping Ruta 24 (Uruguay) Concesión Rutas del Litoral





Pavimento Tradicional

Pavimento Losa Corta

### Estructuras Equivalentes

#### Criterios de diseño de Juntas tradicionales:

Menos de 25 veces el espesor de la losa  
ej:  $450\text{cm}/20\text{ cm} = 22,5$  OK

Factor de esbeltez inferior a 1.4  
ej: Largo 4,5 m y Ancho 3,5 m  
 $4.5/3.5=1.28$  OK

#### Criterios de diseño de losas cortas:

Menos de 25 veces el espesor de la losa  
ej:  $175\text{cm}/17\text{ cm} = 10,3$  OK

Factor de esbeltez inferior a 1.4  
ej: Largo 1,75 m y Ancho 1,75 m  
 $1,75/1,75=1,0$  OK

# Construcción de Pavimentos de Hormigón

Losas de geometría optimizada: **Sí**

Fibra Estructural: **Sí**

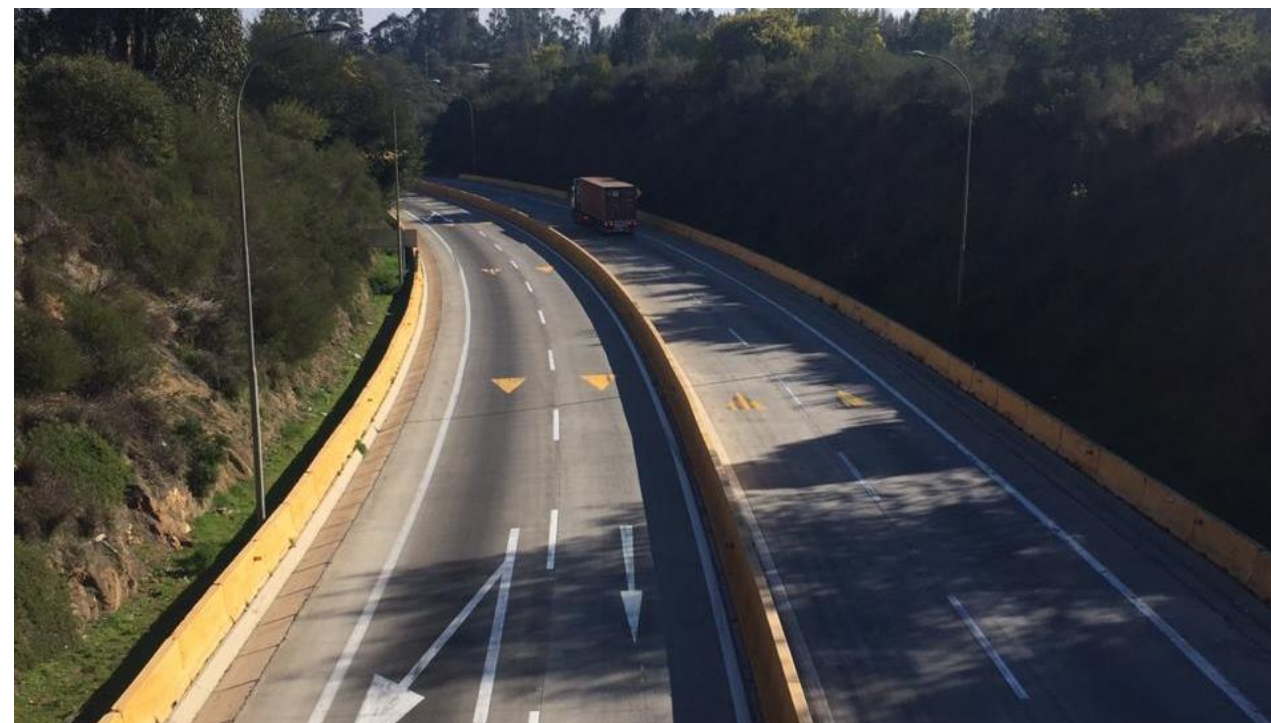
Espesor: **23 cm**

Largo Losa: **1,75 m**

Inicio Contrato: **01/05/2015**

Plazo en días corridos: **628**

Tráfico: **189 millones de EE**



**Reposición Pavimento Ruta 60-CH, Sector Camino La Pólvara, Cruce Ruta 68 – Acceso Sur a Valparaíso, Tramo Dm 260 – Dm 16.680, Provincia de Valparaíso, Región de Valparaíso (Chile, 2016)**



**Pavimento de Losas Cortas  
Espesor:17 cm  
2013**

**Reposición Ruta M50  
Cauquenes – Chanco. Tramo  
2. Sector Tutuvén - Chanco**



## Pavimentos de Losas Cortas con Fibras Espesor:17 cm 2014



**Reposición Ruta 5, Colonia Yungay – Quellón  
1257+385-1272+474**



**Reposición Ruta 5, Sector Tara –  
Compu**



El desafío estaba en ser capaces de superar los paradigmas que nos impiden aprovechar las oportunidades de desarrollar infraestructuras eficientes, durables y sustentables...



Ruta 5, sector Los Marios – Aguas Verdes (Chile)

# Construcción de Pavimentos de Hormigón





La solución de **Ultradelgados** es para vías de bajo tránsito pero con altos niveles de sollicitación de carga.

Los **Ultradelgados** se recomienda que se utilicen en caminos donde el ripio o la tierra de la superficie actual de circulación ha sido consolidado por el paso de los vehículos en el tiempo



Junio 2013



**Ruta G84**  
**Región de Valparaíso**



Octubre 2013



Mejoramiento camino X-730, cruce Ruta 7- Bahía Murta. Tramo: km 0,00 a km 4,426, Región de Aysen

<b>Espesor</b>
10 cm con Fibra
<hr/>
<b>Tráfico</b>
350.000 EE
<hr/>
<b>Año de construcción</b>
2016
<hr/>
Proyecto U-TCP, colocado sin base directamente sobre camino granular

# Construcción de Pavimentos de Hormigón

Pavimentos ultradelgados de hormigón con fibras para zonas de pendiente



Camino Básico por Conservación  
Ruta P-46 - Sara de Lebu-Pangue



## Muchas Gracias!!

**Mauricio Salgado Torres IC M.Sc.**  
Consultor en Gestión de Infraestructura  
msalgado@gesinfra.cl

