

# Importancia del diseño de dosificaciones de mezclas en la optimización y cumplimiento de estándares de trabajos de pavimentación con hormigón

**Mauricio Salgado Torres**

GesPaP Ingeniería & Certificación

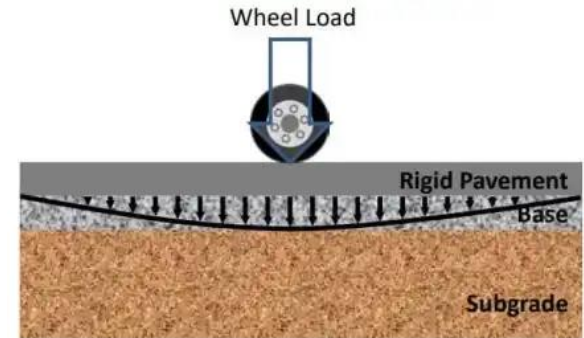
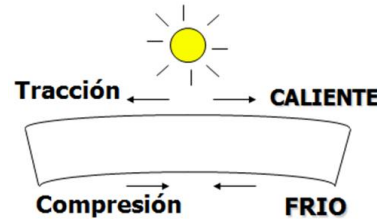
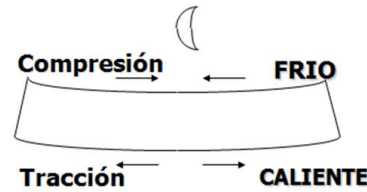
**Jose Maria Espinosa Archila**

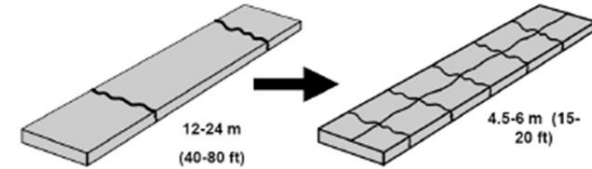
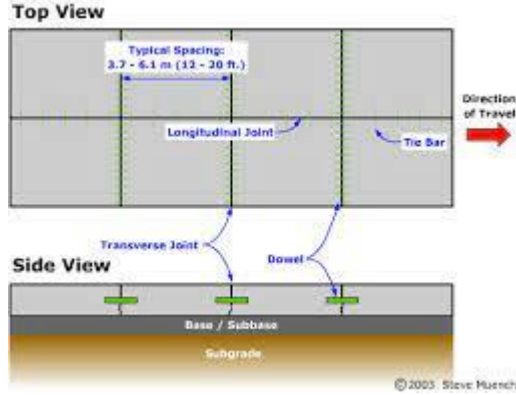
GesPaP Ingeniería & Certificación

## CONTENIDO

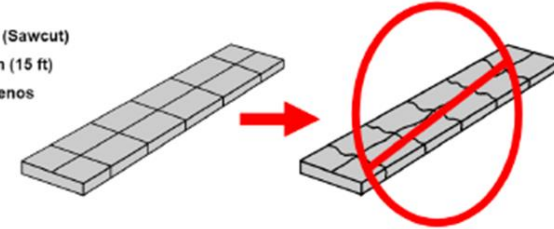
- **¿Cómo funcionan los pavimentos de hormigón?**
- **Ingeniería de Valor en la tecnología de hormigón para pavimentos.**  
¿Por qué es determinante la especificación de mezclas de hormigón diseñadas para pavimentos?
- **Herramientas complementarias empleadas para chequear atributos y características de las dosificaciones de mezclas de hormigón para pavimentos.**
- **La inclusión de macrofibras en pavimentos de hormigón**

# ¿Cómo funcionan los pavimentos de hormigón?





Aserrado (Sawcut)  
@ 4.5 m (15 ft)  
or menos



### Criterios de diseño de Espaciamiento entre Juntas

- Menos de 25 veces el espesor de la losa

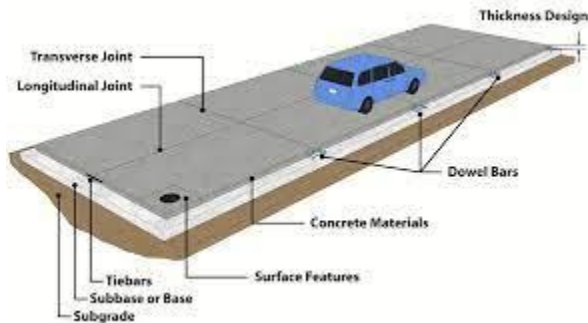
ej: Largo 4,5 m y Espesor 20 cm

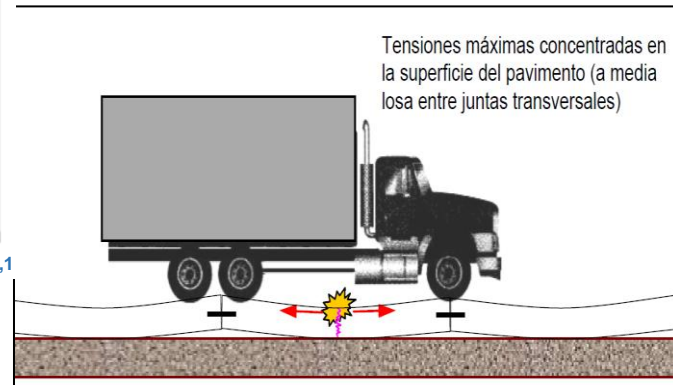
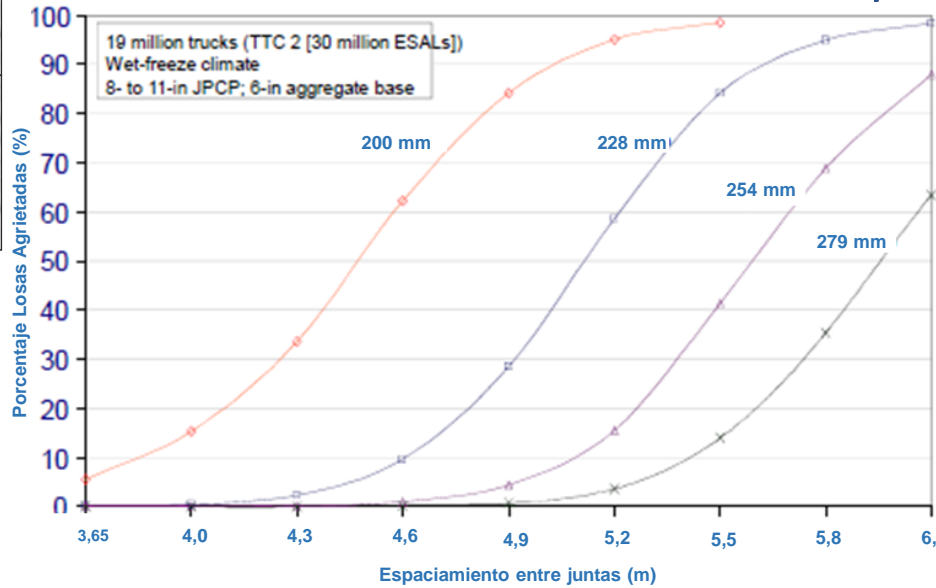
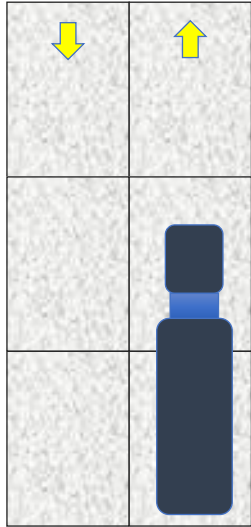
$$450\text{cm}/20\text{ cm} = 22,5 \text{ OK}$$

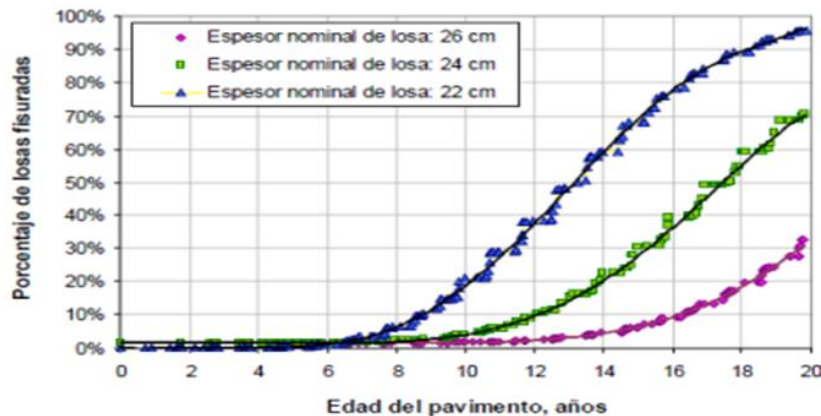
- Factor de esbeltez inferior a 1.4

ej: Largo 4,5 m y Ancho 3,5 m

$$4.5\text{ m}/3.5\text{ m} = 1.28 \text{ OK}$$







$$\text{Agrietamiento}(\%) = \frac{100}{1 + C1 \times FD^{C2}}$$

$$FD = \sum \frac{n_{i,j,k,l}}{N_{i,j,k,l}}$$

$$\log(N_{i,j,k,l,m,n}) = C_1 \cdot \left( \frac{MR_i}{\sigma_{i,j,k,l,m,n}} \right)^{C_2}$$

### Tensión por Alabeo

$$\sigma = \frac{CE\alpha_t\Delta t}{2(1 - \nu^2)}$$

Donde:

- $\sigma$  El esfuerzo en el borde de la losa debido al alabeo por temperatura
- $\alpha_t$  Coeficiente de expansión térmica del hormigón.
- $\Delta t$  Diferencia de temperatura entre la parte superior e inferior de la losa.
- C** Factor de corrección para una losa finita, determinada usando  $L / \ell$
- $\ell$  Radio de rigidez relativa

$$\ell = \sqrt[4]{\frac{ED^3}{12(1 - \nu^2)k}}$$

# Ingeniería de Valor en la tecnología de hormigón para pavimentos.

¿Por qué es determinante la especificación de mezclas de hormigón diseñadas para pavimentos?



El objetivo general de la **dosificación de un hormigón** es determinar la mezcla que cumple con los requisitos de diseño y equilibrio de los siguientes factores:

- Economía
- Constructabilidad
- Fuerza
- Durabilidad
- **Sustentabilidad**





## Especificaciones Técnicas de Construcción

**Enfoque  
Prescriptivo**

**VS**

**Enfoque Por  
Desempeño**



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

**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

**Características deseables**

## Equipos de Pavimentación Tradicional (Manual)

Aconsejable para espesores de máximo 17 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

# Pavimentación Manual



Adecuada preparación de la plataforma

Punto de Entrega del Hormigón premezclado al contratista



Hormigón cumple con lo Especificado



Adecuada Colocación de moldes y barras



Adecuada Colocación y Vibrado



Adecuada Terminación



Adecuado Curado



Adecuado y Oportuno Aserrado y Sello de Juntas



Oportuna apertura al tránsito



# Pavimentación Mecanizada



Adecuada preparación de la plataforma

Punto de Entrega del Hormigón premezclado al contratista



Hormigón cumple con lo Especificado



Adecuada Colocación y Vibrado



## OPTIMA DOSIFICACIÓN DE LAS MEZCLAS DE HORMIGÓN

- CUMPLIR CON LA ESPECIFICACION DE RESISTENCIA & **REGULARIDAD SUPERFICIAL (IRI)**
- PROPOPORCIONAR LA TRABAJABILIDAD QUE FAVOREZCA UN RENDIMIENTO OPTIMO DE EJECUCIÓN
- CONTAR CON UN ESTANDAR DE CONSTRUCCION ADECUADO QUE GARANTICE QUE LA CALIDAD DEL PRODUCTO TERMINADO
- CONTRIBUIR AL DESEMPEÑO DESEADO DEL PAVIMENTO EN LA FASE DE OPERACIÓN



## Velocidad de Suministro del Hormigón



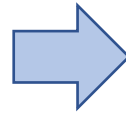
Descargar 6 m<sup>3</sup>  
desde camión  
mezclador tarda  
entre 12 a 15  
minutos aprox.



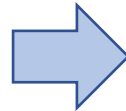
Descargar entre 8 y 12 m<sup>3</sup>  
desde volqueta tarda entre 45 segundos y un  
minuto y medio aprox. sin causar  
segregación

## Dimensiones (Espesores - Longitudes – Volúmenes)

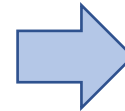
Considerando una longitud de 1 km y un ancho de carril de 3,6 m y un espesor del pavimento de concreto de 20 cm



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



4 camiones mezcladores descargando hormigón por hora

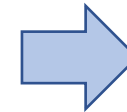


30 Horas aprox. ó Entre 4 a 6 días para descargar el concreto necesario para 1 km



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

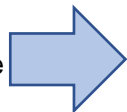
24 m<sup>3</sup>/h colocados alcanzarían para pavimentar 120 m<sup>2</sup> equivalentes a 33 m de longitud aprox. (Ancho=3.6 m y Espesor=20cm)



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

## Dimensiones (Espesores - Longitudes – Volúmenes)

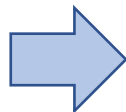
Considerando una longitud de 1 km y un ancho de carril de 3,6 m y un espesor del pavimento de concreto de 20 cm



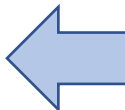
720 m<sup>3</sup> de concreto hidráulico por km



Velocidad avance 1m/min



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



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



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

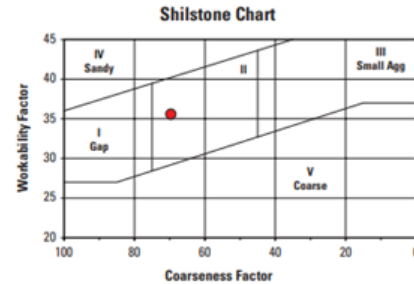
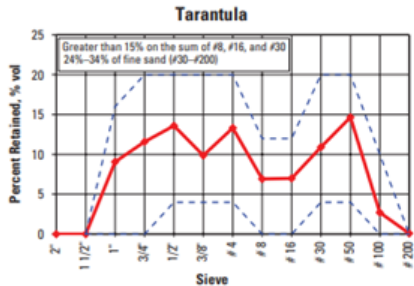


Si se logran colocar los 60 m<sup>3</sup>/h durante una jornada de 8 horas se podrían alcanzar alrededor de 480 m de longitud en un día con equipos de molde deslizante, prácticamente 1 km en 2 días



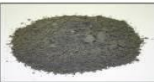





# Herramientas complementarias empleadas para chequear atributos y características de las dosificaciones de mezclas de hormigón para pavimentos.



## Adecuada Dosificación

Característica	Factor Incidente	Trabajabilidad	Transporte	Resistencia	Soportar Climas Fríos	Retracción	Estabilidad del Agregado
Sistema de Agregados	Gradación y Tipo de Arídos	✓✓					✓✓
Calidad de la Pasta	Aire, A/C, Vacios, Dosificación	✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓	✓
Cantidad de Pasta	Vp/Vv	✓				✓✓	

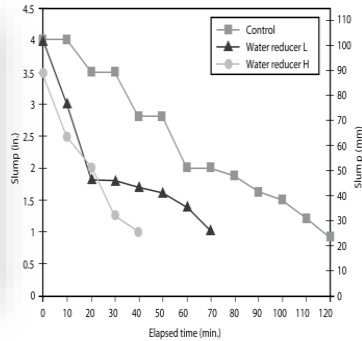
	9 - 15% Cemento	<b>Pasta</b> (cemento + Agua)
	15 - 16% Agua	
	25 - 35% agregado fino	<b>Mortero</b> (pasta + agregado fino)
	30 - 45% agregado grueso	
		<b>Hormigón</b> (mortero+ agregado grueso)

Buena graduación del agregado combinado:

- Reducir la demanda de agua
- Baja contracción por secado
- Aumentar la trabajabilidad
- Mejorar la resistencia

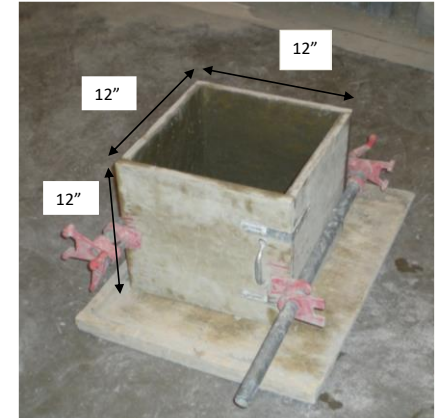
La mezcla no debe contar con la dosis de agua justa y precisa

**!Ni tan Seca ni tan húmeda!!!**



**Especificar un determinado cono puede no ser suficiente!!**

## TRABAJABILIDAD





## Compactabilidad

(Facilidad para compactar y densificar la mezcla)

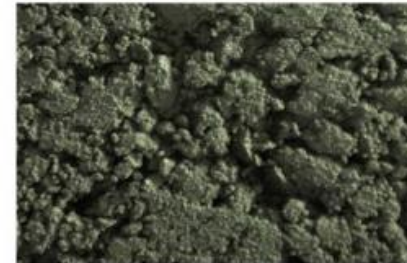
## Movilidad

(Aptitud de la mezcla para fluir)

## Estabilidad

(Habilidad para mantenerse estable la mezcla)

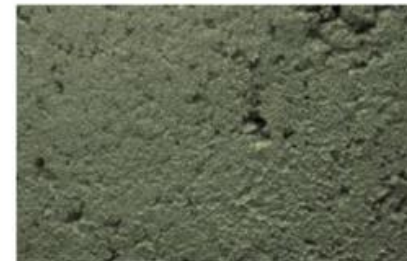
## TRABAJABILIDAD



4 - Más del 50% de vacíos superficiales totales



3 - 30-50% de vacíos superficiales totales



2 - 10-30% de vacíos superficiales totales



1 - Menos del 10% de vacíos superficiales totales

## TRABAJABILIDAD

### Pasta de cemento: Agua + Cemento

#### Calidad

- Relación 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

### Hormigón: Mortero + Árido Grueso



## El problema de tener resistencias y cuantías de cemento más altas de las realmente necesarias



Más resistencia  
de la necesaria



Excesiva cantidad  
de cemento



Excesiva rigidez  
del hormigón

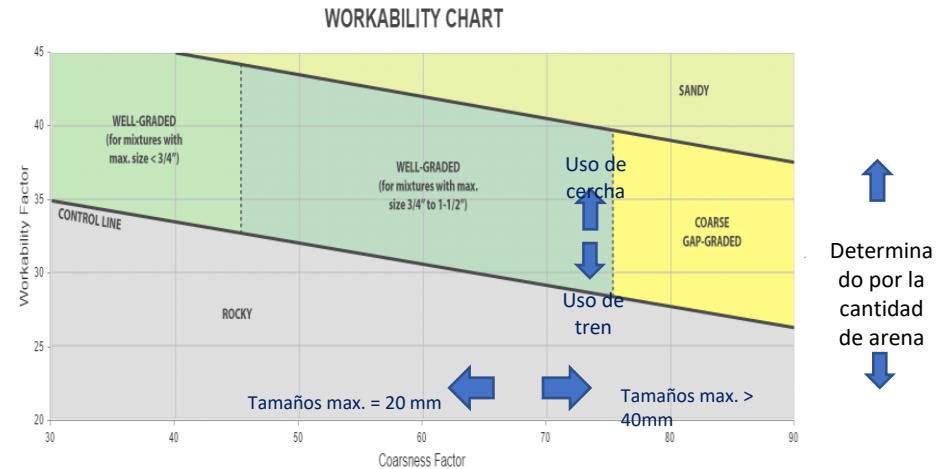
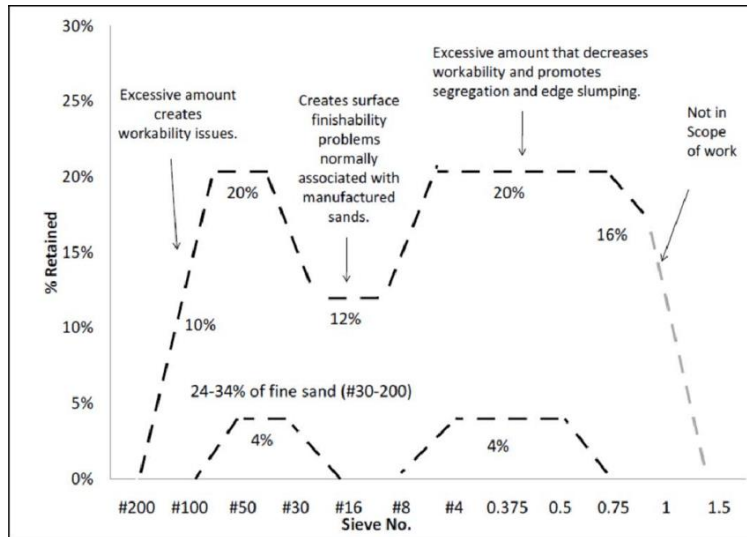


Mayor alabeo y  
problemas de retracción



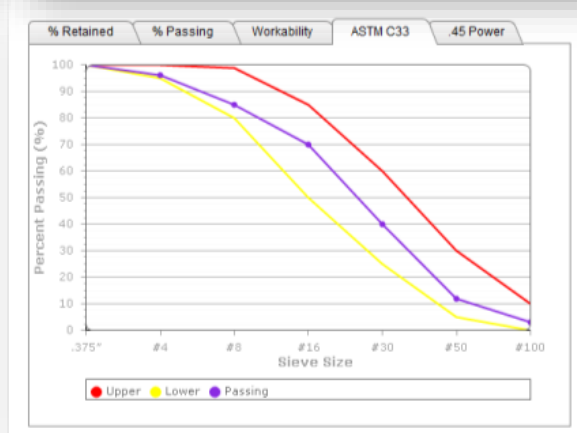
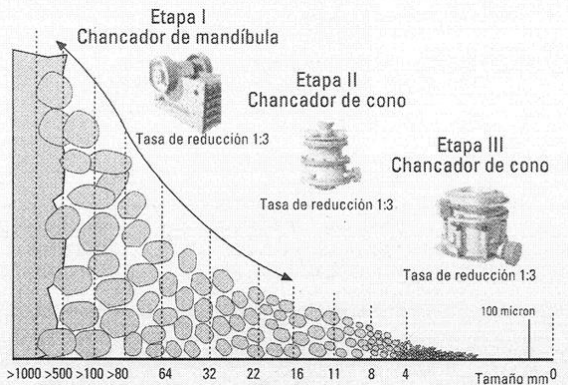
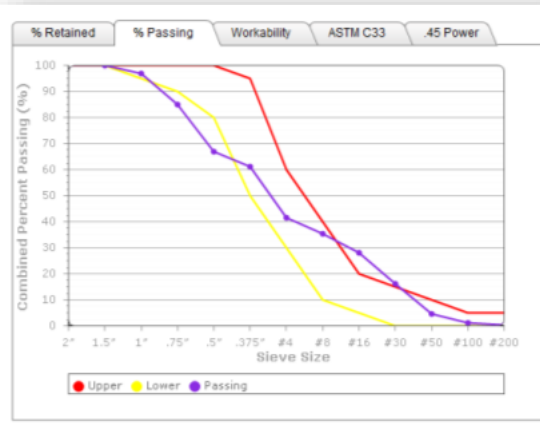
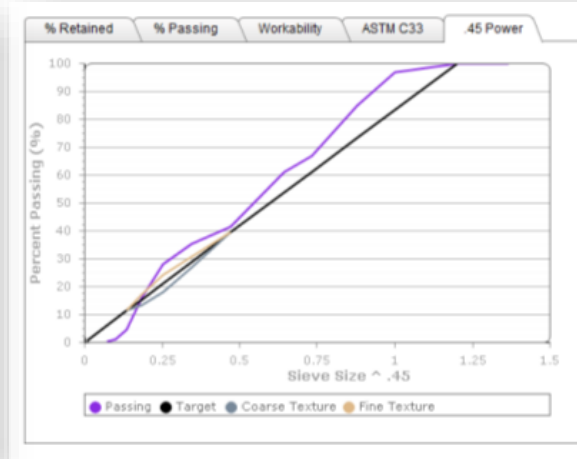
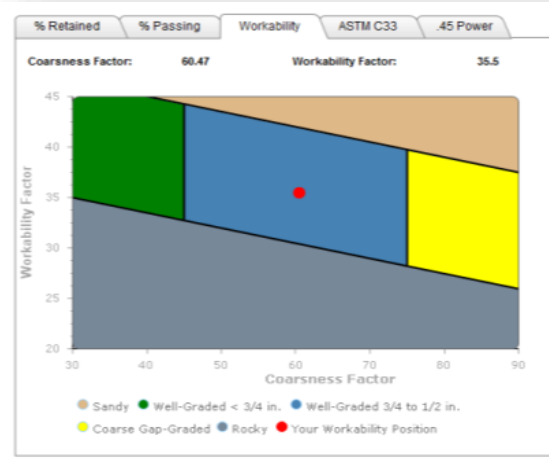
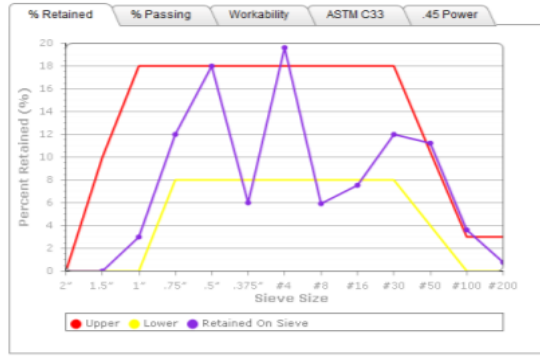
No garantiza un comportamiento  
óptimo y si un mayor costo





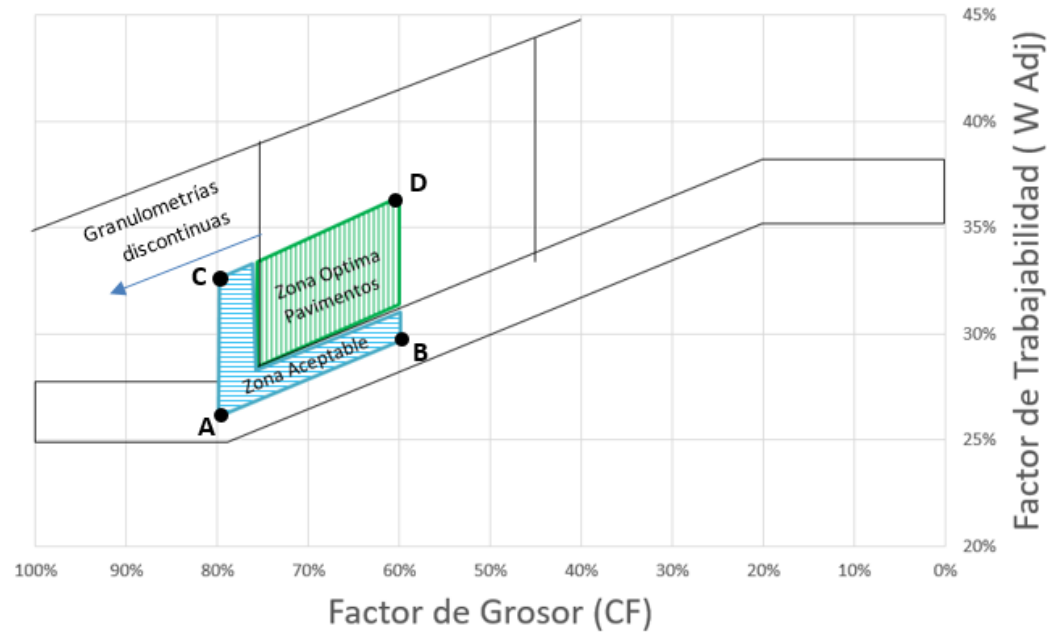
↑  
Determinado por la cantidad de arena  
↓

### Combined Gradation Plots





### Gráfico de Trabajabilidad



Criterio de Shilstone que muestra zona para pavimentos aplicada en Chile. Manual de Carreteras Vol. 5



**Whitetopping Ruta 3 Trinidad  
– A° Grande (Uruguay)**

Premio por alcanzar un mejor IRI en un pavimento de concreto (Whitetopping)

**Especificación por contrato**

**IRI =2,4 m/km**

Rango IRI	% de premio	Valor premio comparado con el contrato	Valor premio comparado con el rubro "whitetopping"
< 1,8	100%	3,13%	4,64%
1,8 - 2,0	75%	2,35%	3,48%
2,0 - 2,2	50%	1,57%	2,32%

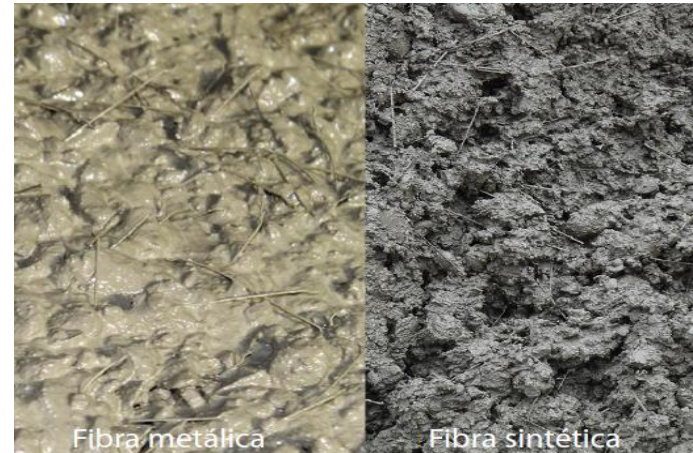
## Proyecto Ambo – Oyon (Perú, 2021)



## Limonal – Cañas (Costa Rica, 2021)

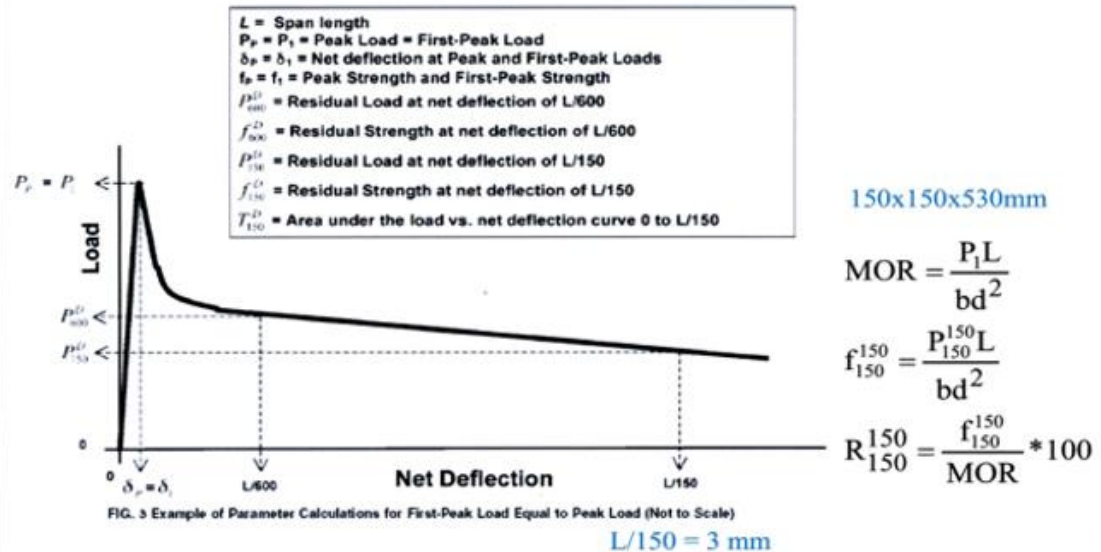


# La inclusión de macrofibras en pavimentos de hormigón





## Ensayo de resistencia residual según la norma ASTM C-1609



# Fiber-Reinforced Concrete for Pavement Overlays: Technical Overview

Final Report  
April 2019



Sponsored by  
Federal Highway Administration  
Technology Transfer Concrete Consortium (TTCC) Pooled Fund TPF-5(313)  
(Part of Intrans Project 15-532)

IOWA STATE UNIVERSITY  
Institute for Transportation

National Concrete Pavement  
Technology Center

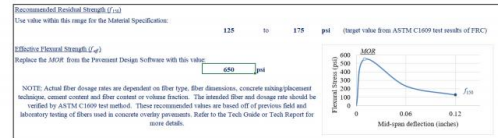


## Residual Strength Estimator for Fiber-Reinforced Concrete Overlays

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 present. Determine the effective flexural strength to input into overlay design software instead of design concrete strength. Prepare specifications to achieve design residual strength of FRC material.

Design Input Choices	<input type="text" value="Asphalt"/>
Type of Overlay Road	<input type="text" value="6.0 to 7.0 million ESALS"/>
Miles of ESALS in Design Life	<input type="text" value="7M"/>
Asphalt Pre-Condition*	<input type="text" value="refer to Tech Report for example estimates of asphalt pre-condition"/>
Desired New Concrete Thickness	<input type="text" value="4.5 to 6 inch FRC thickness"/>
Remaining IDMA Thickness after Milling	<input type="text" value="4.5 to 6 inches IDMA remaining"/>
Overlay Slab Size	<input type="text" value="68 joint spacing"/>
Desired Performance Enhancements	<input type="text" value="basic FRC overlay"/>
<i>(this will generate a higher residual strength, but not included in effective flexural strength)</i>	
Plan Characterized Concrete Flexural Strength (MOR) based on 28-day Free Water Binding (ASTM C109 or ASTM C1099)	<input type="text" value="150"/> psi

[Design Specifications Examples](#)



Developed by Amanda Brudakis, Ph.D., P.E. and Jeffrey Koskie, Ph.D., P.E.  
Version 1.0 January 2019

Disclaimer:  
The software was created with the funding, protection, and guidance of the National Concrete Consortium (NCC), the National Concrete Pavement Technology Center (CP Tech Center), Seay & Associates, and a nine 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.





## Conclusión

El concepto clave de una pavimentación 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



**Mauricio Salgado Torres IC M.Sc.**  
**Consultor en Pavimentos y Pisos de Hormigón**  
**[msalgado@gespap-ic.com](mailto:msalgado@gespap-ic.com)**

