



Seminario Internacional

# Construcción de Pavimentos de Hormigón

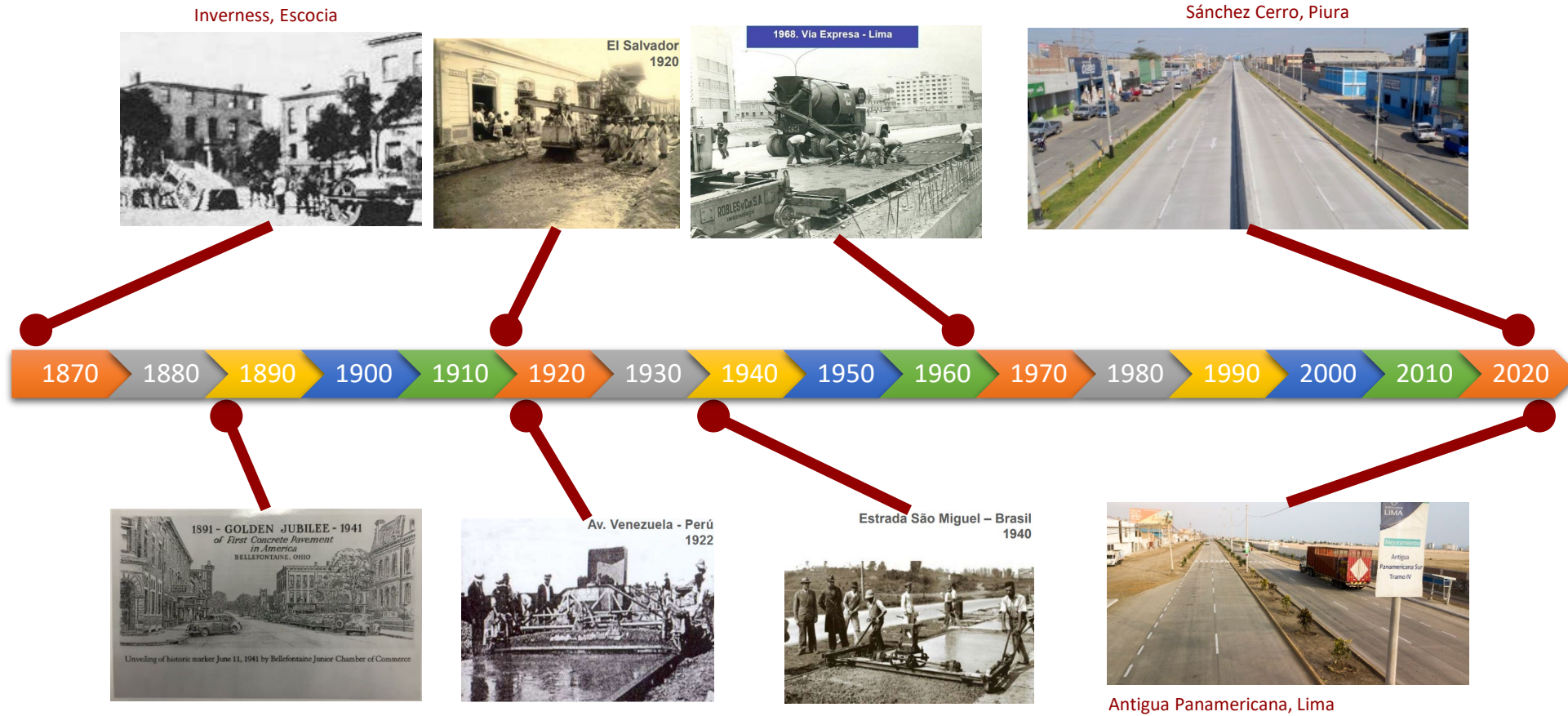
Tema:

Evolución de Pavimentos Rígidos en Perú  
Cementos para uso Vial

Disertante:

Ing. MSc. Carlos Ovidio Márquez Herrero

## Timeline - Obras



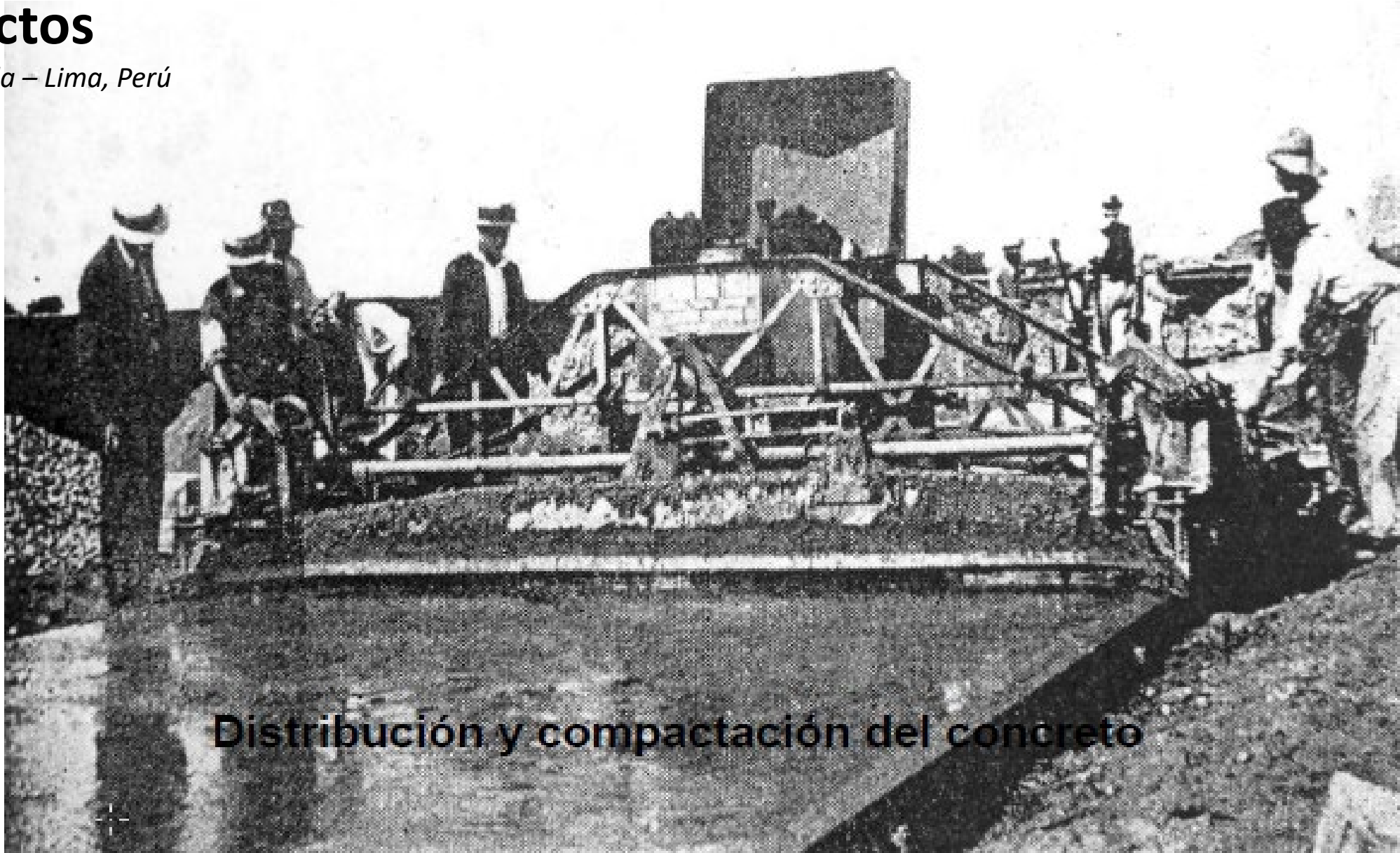
Seminario Internacional

# Construcción de Pavimentos de Hormigón



## Proyectos

*Av. Venezuela – Lima, Perú  
1922*



**Distribución y compactación del concreto**

## Proyectos

Vía Expresa – Lima, Perú  
1968

1968. Vía Expresa - Lima



## Proyectos

Vía Expresa – Lima, Perú  
1968

1968. Vía Expresa - Lima



## Proyectos

*Vía Expresa – Lima, Perú*  
1968

**1968. Vía Expresa - Lima**



## Proyectos

*Vía Expresa – Lima, Perú  
1968*



**1968. Vía Expresa - Lima**



Seminario Internacional  
**Construcción de Pavimentos de Hormigón**



# Proyectos

*Intercambio Vial Mansiche, Trujillo, Perú  
2011*



## Proyectos

*Villa María del Triunfo  
Municipalidad de Lima*



## Proyectos

*Vía Expresa – Metropolitano*  
Lima, Perú  
2010



## Proyectos

*Vía Expresa – Metropolitano  
Lima, Perú  
Ampliación Norte - 2024*



## Proyectos

*'Carretera Panamericana Sur*  
Lima, Perú  
2019



## Proyectos

Av. Sánchez Cerro – Piura, Perú  
2018



# Proyectos

*Av. Sánchez Cerro – Piura, Perú  
2018*





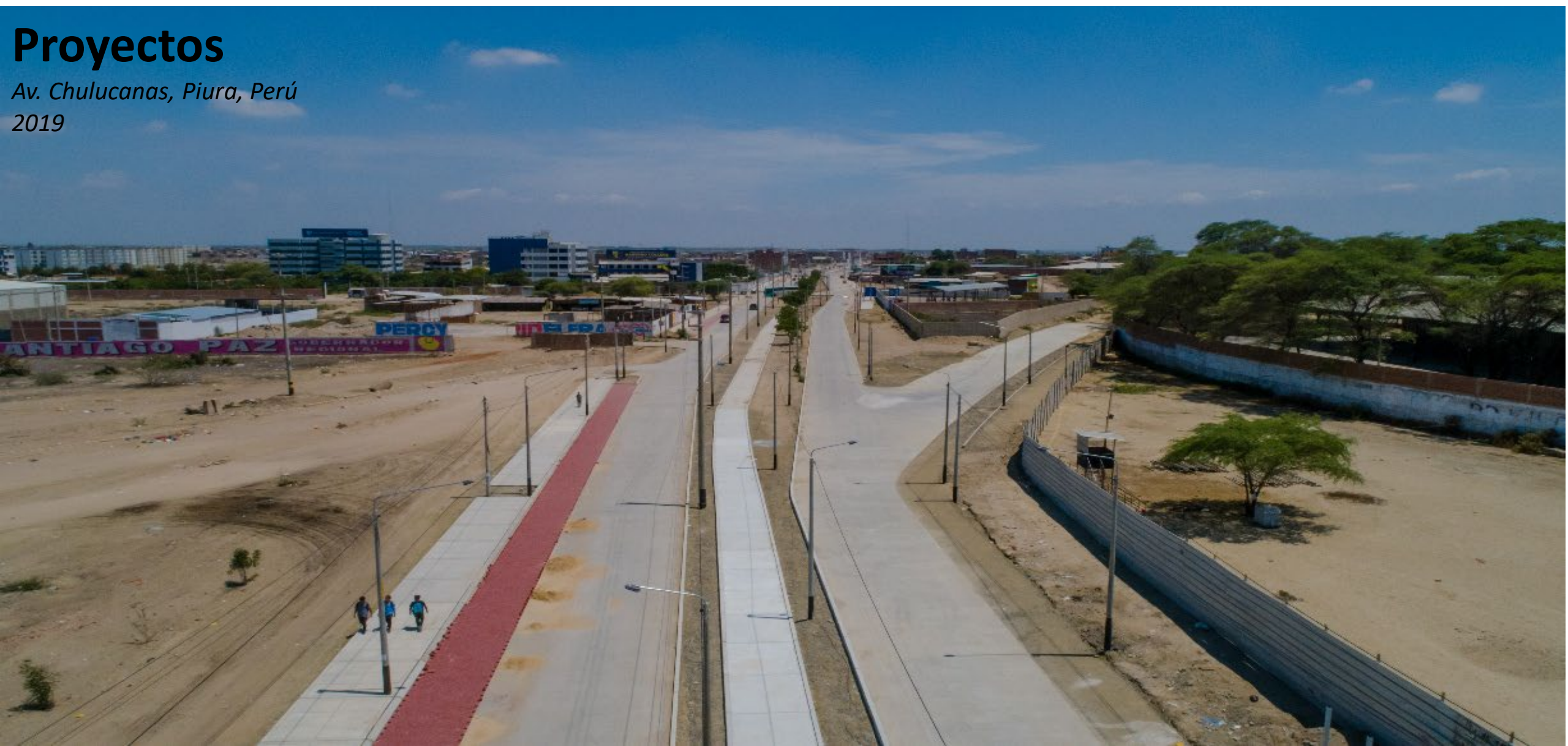
# Proyectos

*Av. Chulucanas, Piura, Perú  
2019*



# Proyectos

*Av. Chulucanas, Piura, Perú  
2019*



## Proyectos

*Cerro Blanco – Trujillo  
2019*



## Proyectos

*Av. Aguilar Santisteban, Piura, Peru*

2019



## Inundaciones en Perú

Piura, Perú  
2017



## Inundaciones en Perú

Trujillo, Perú  
2023



## Inundaciones en Perú

*Chiclayo, Perú  
2023*



# MÉTODOS DE DISEÑO





## Métodos de Diseño

### ¿Cuándo una metodología es buena?

- Resiste mayores cargas?
- Menores Espesores?
- Agrietamiento Predecible?
- Que dure mas?

#### Niveles de servicio:

- % de Losas Agrietadas
- IRI
- Escalonamiento

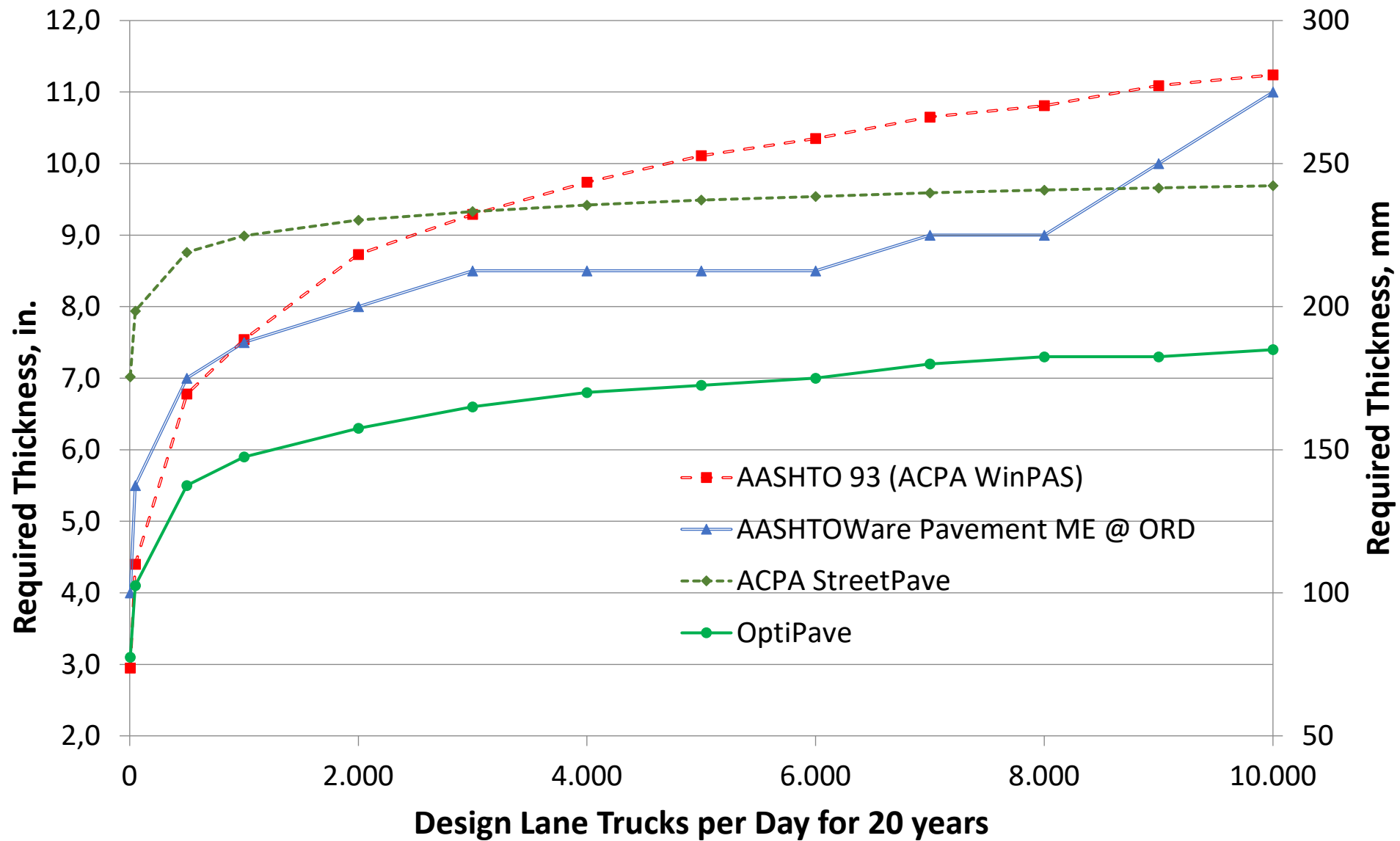
#### Nuevos Parámetros

- Alabeos
- Tamaños de Losas
- Transferencia de Cargas
- Nuevos materiales

# Ecuación de diseño AASHTO-93

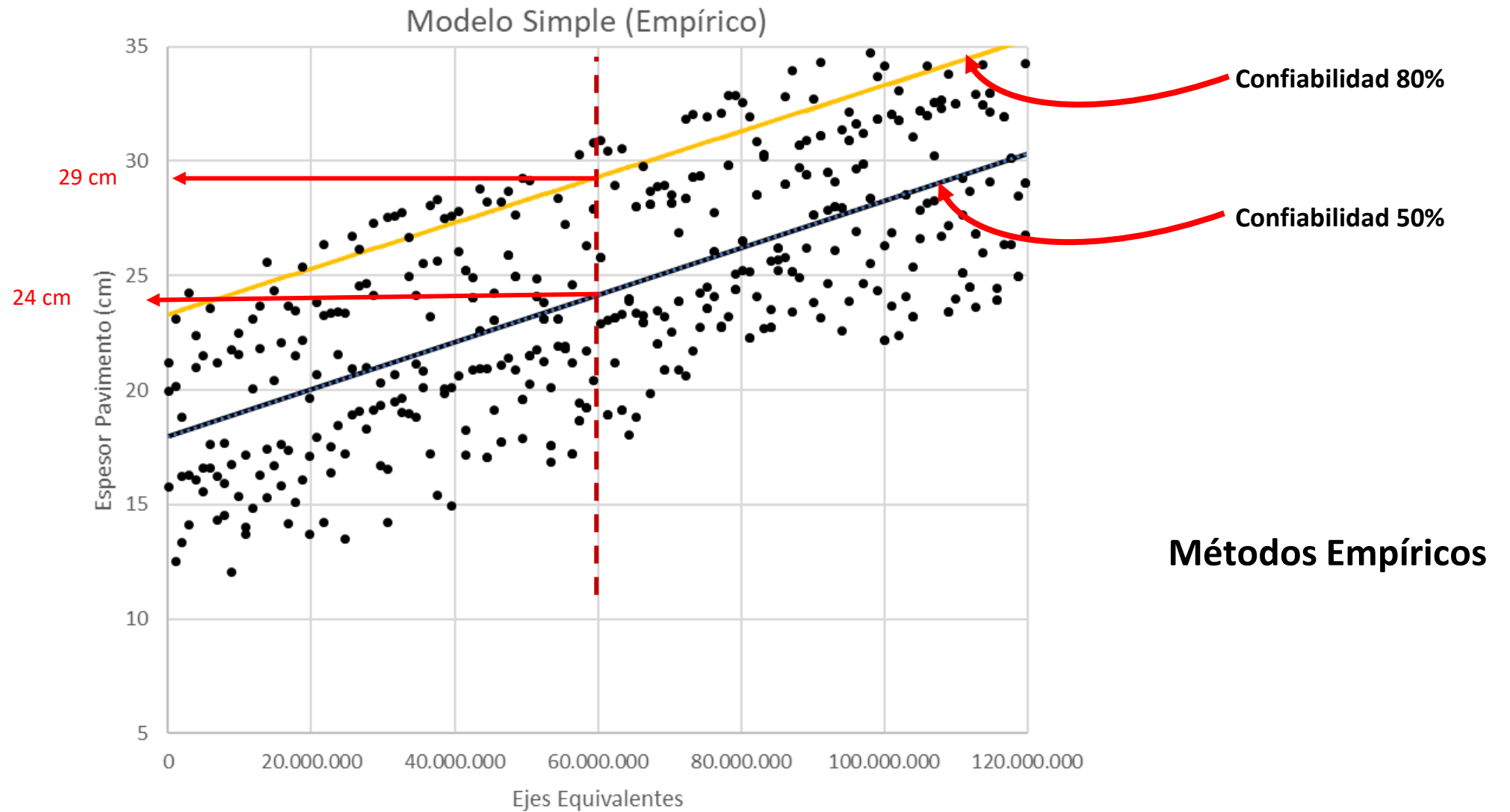
$$\begin{aligned}
 \text{Log(ESALs)} &= Z_R S_0 + 7.35 \text{ Log}(D + 1) - 0.06 + \left[ \frac{\text{Log} \left[ \frac{\Delta \text{PSI}}{4.5 - 1.5} \right]}{1 + \frac{1.624 * 10^7}{(D + 1)^{8.46}}} \right] \\
 &+ (4.22 - 0.32\rho_t) * \text{Log} \left[ \frac{S'_c * C_d * \left[ D^{0.75} - 1.132 \right]}{215.63 * J * \left[ D^{0.75} - \frac{18.42}{(E_c / k)^{0.25}} \right]} \right]
 \end{aligned}$$

**Relación matemática entre variables**



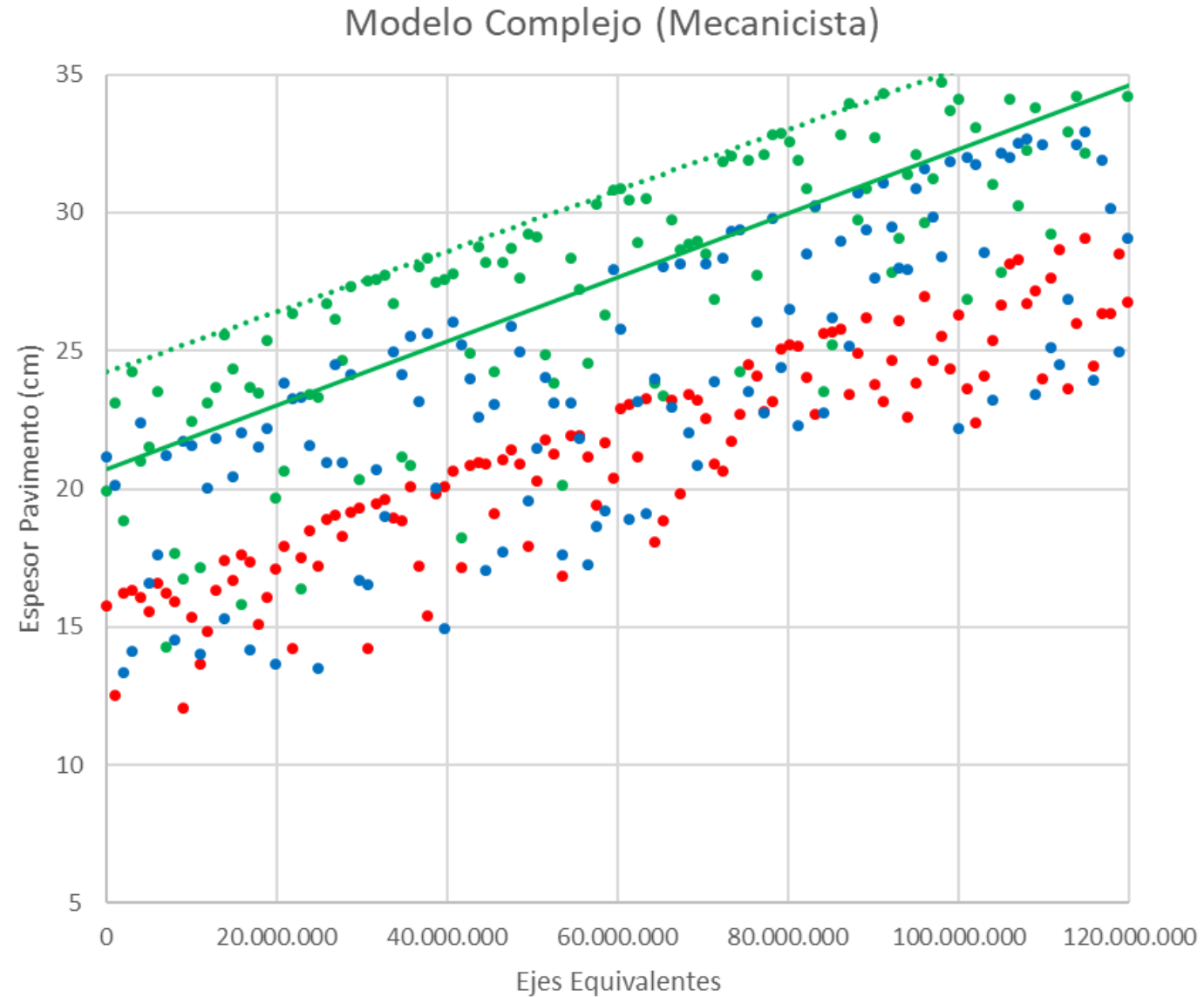


# Explicación Uso de Modelos y Niveles de Confianza





# Explicación Uso de Modelos y Niveles de Confianza



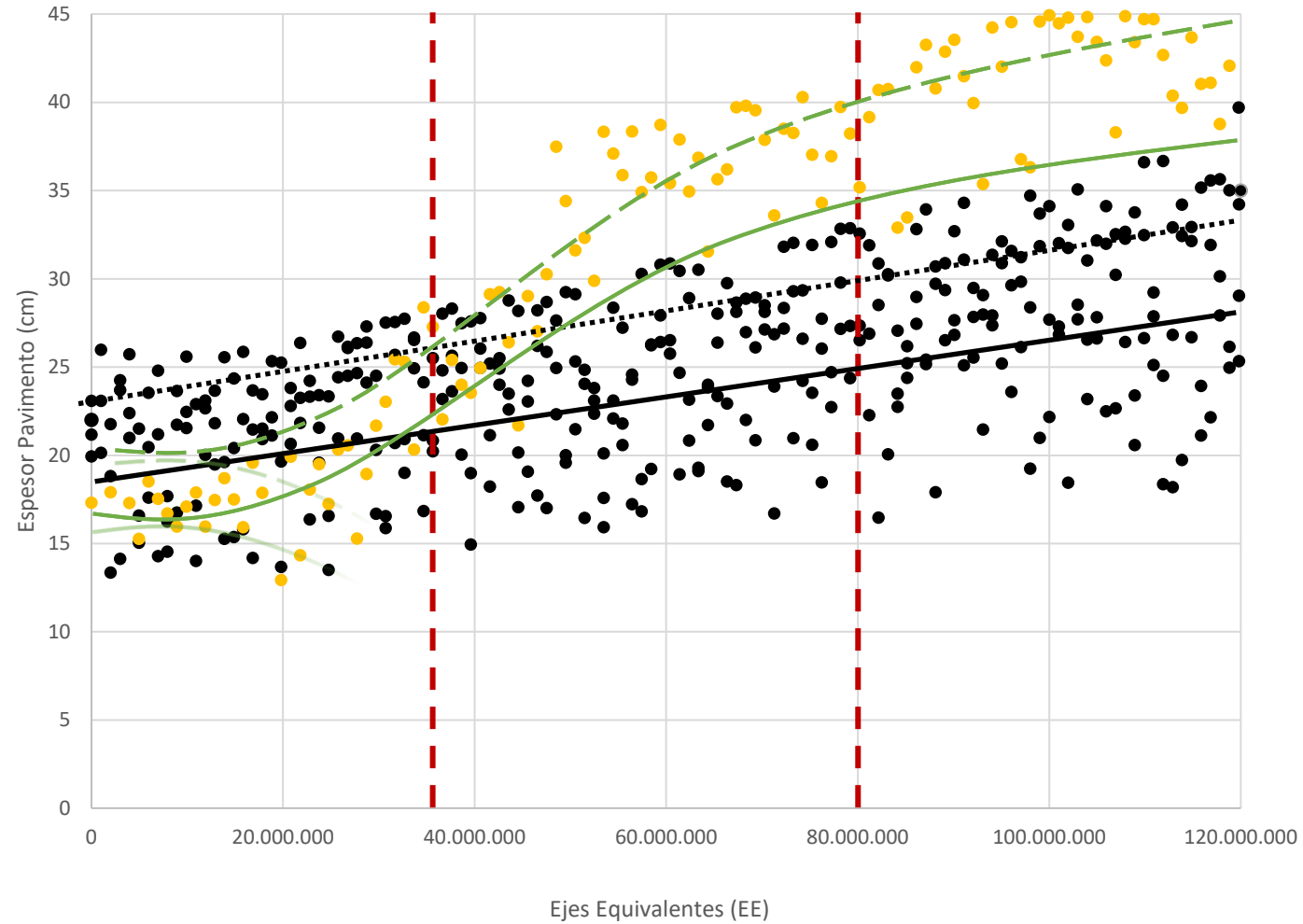
**Alabeos Bajos**  
**Alabeos Medios**  
**Alabeos Altos**



# Explicación Uso de Modelos y Niveles de Confianza

¿Que pasa si las condiciones cambian?

Espesor vs Ejes Equivalentes



Con fibra!!

# DISEÑO DE MEZCLA



# Diseño de Mezcla

- **Norma Base ACI 211.1**

- ✓ Curva Fuller

- **Norma Base ACI 302**

- ✓ Carta de Shilstone

- ✓ Grafico 8-18

- ✓ Cuadro potencia 0.45

- **R. al desgaste ★★★**

- **R. a compresión ( $f'c$ )**

- ✓ 280 kg/cm<sup>2</sup>

- ✓ 350 kg/cm<sup>2</sup>

- ✓ 420 kg/cm<sup>2</sup>

- **R. Flexión ( $f't$ )**

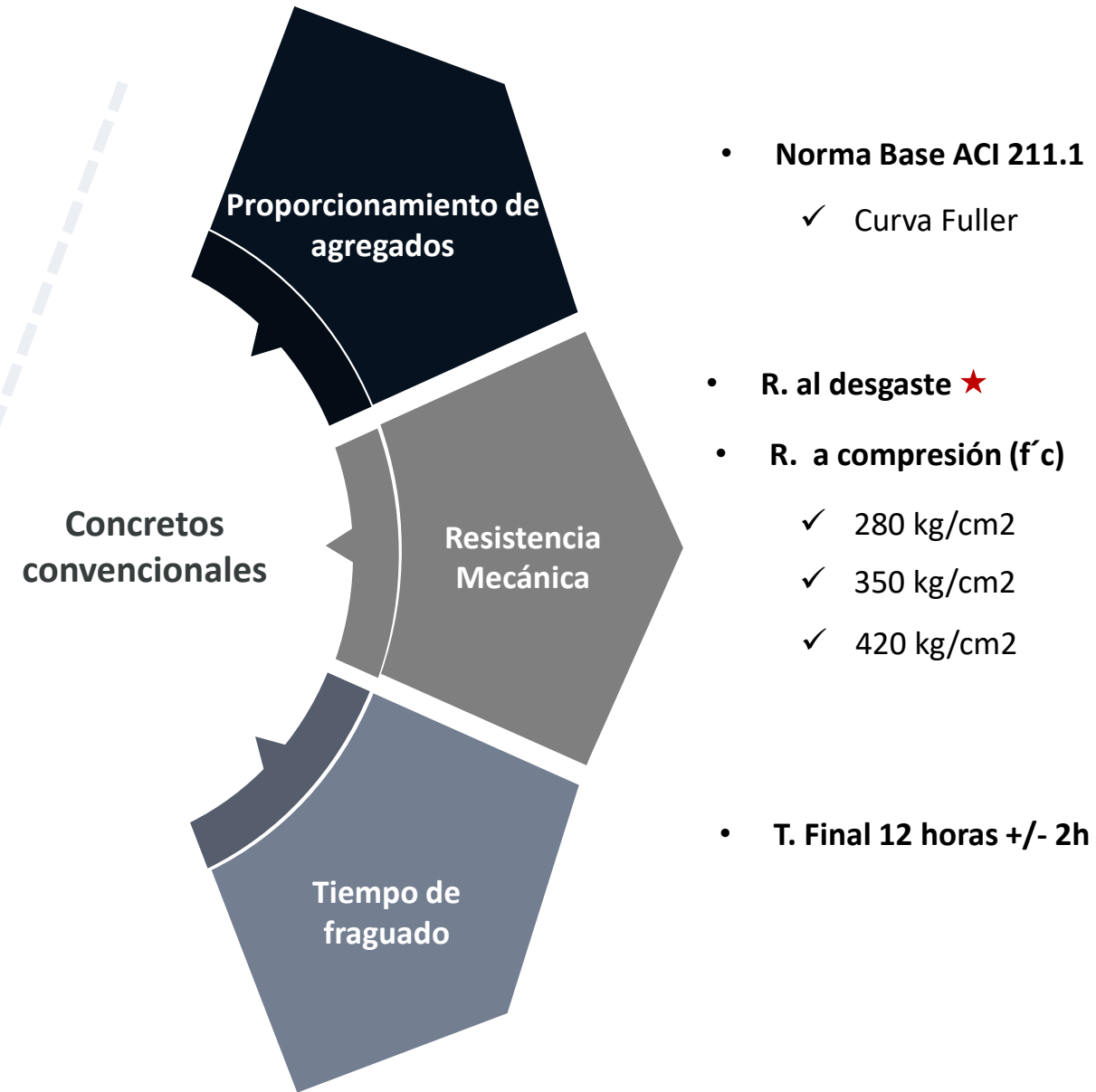
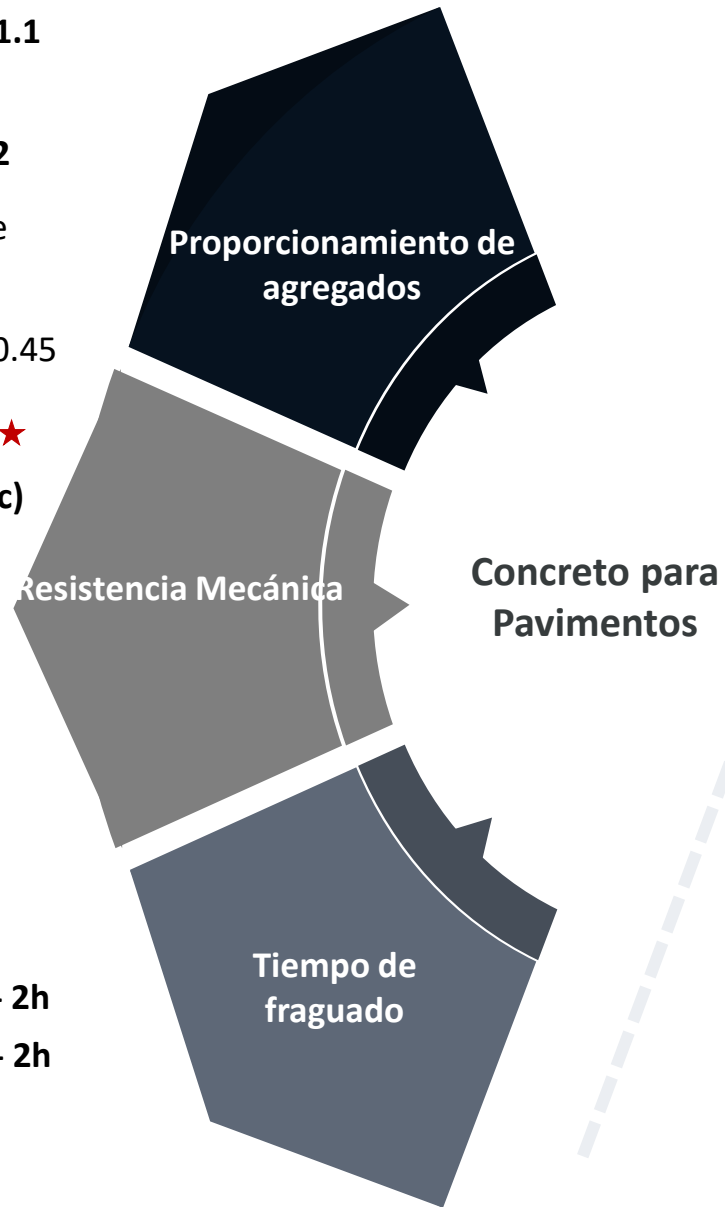
- ✓ 4.0 Mpa

- ✓ 4.8 Mpa

- ✓ 5.5 Mpa

- **T. Inicial 8 horas +/- 2h**

- **T. Final 10 horas +/- 2h**



- **Norma Base ACI 211.1**

- ✓ Curva Fuller

- **R. al desgaste ★**

- **R. a compresión ( $f'c$ )**

- ✓ 280 kg/cm<sup>2</sup>

- ✓ 350 kg/cm<sup>2</sup>

- ✓ 420 kg/cm<sup>2</sup>

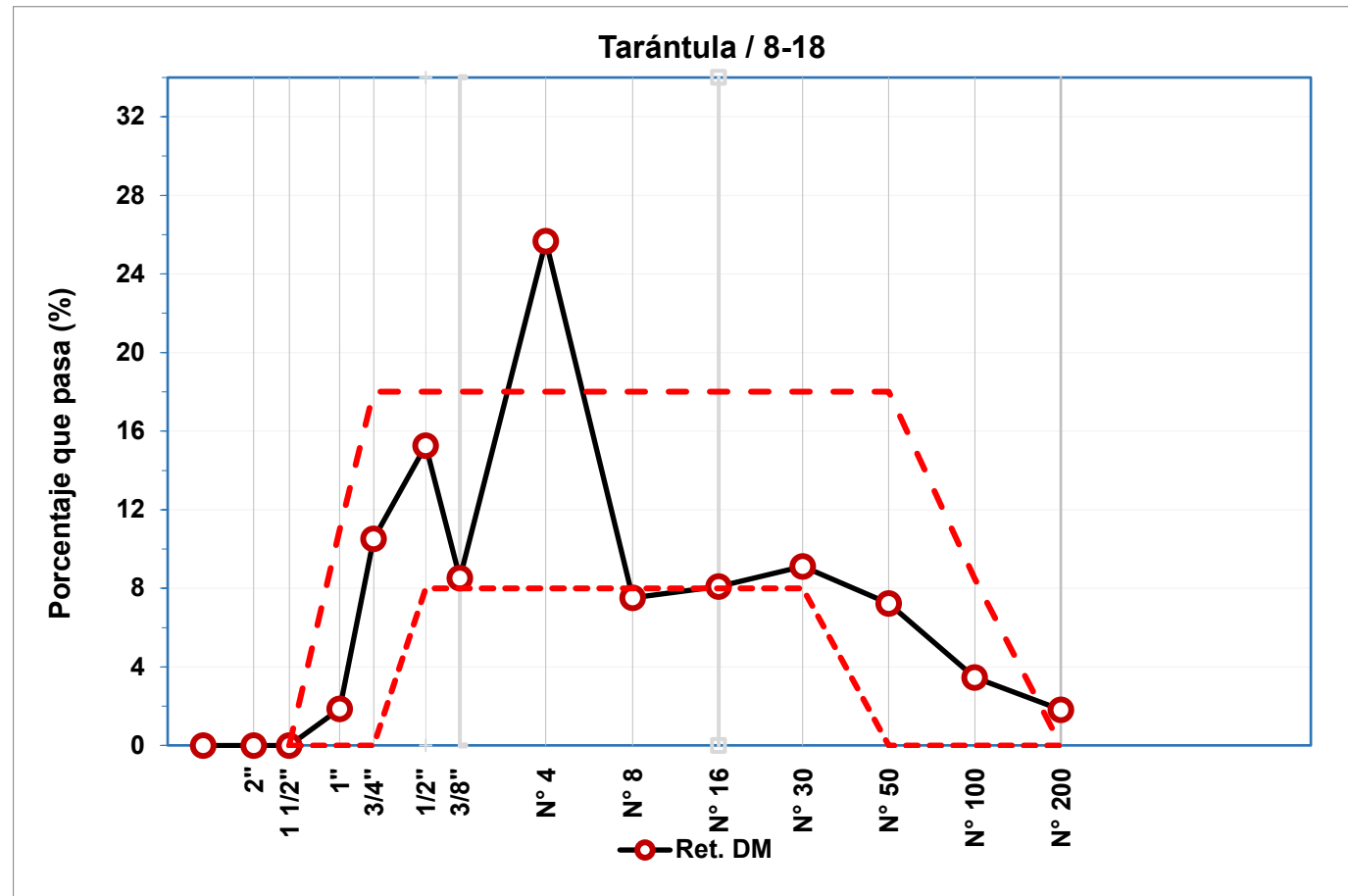
- **T. Final 12 horas +/- 2h**



# Consideraciones de Diseño

## GRAFICO 8-18

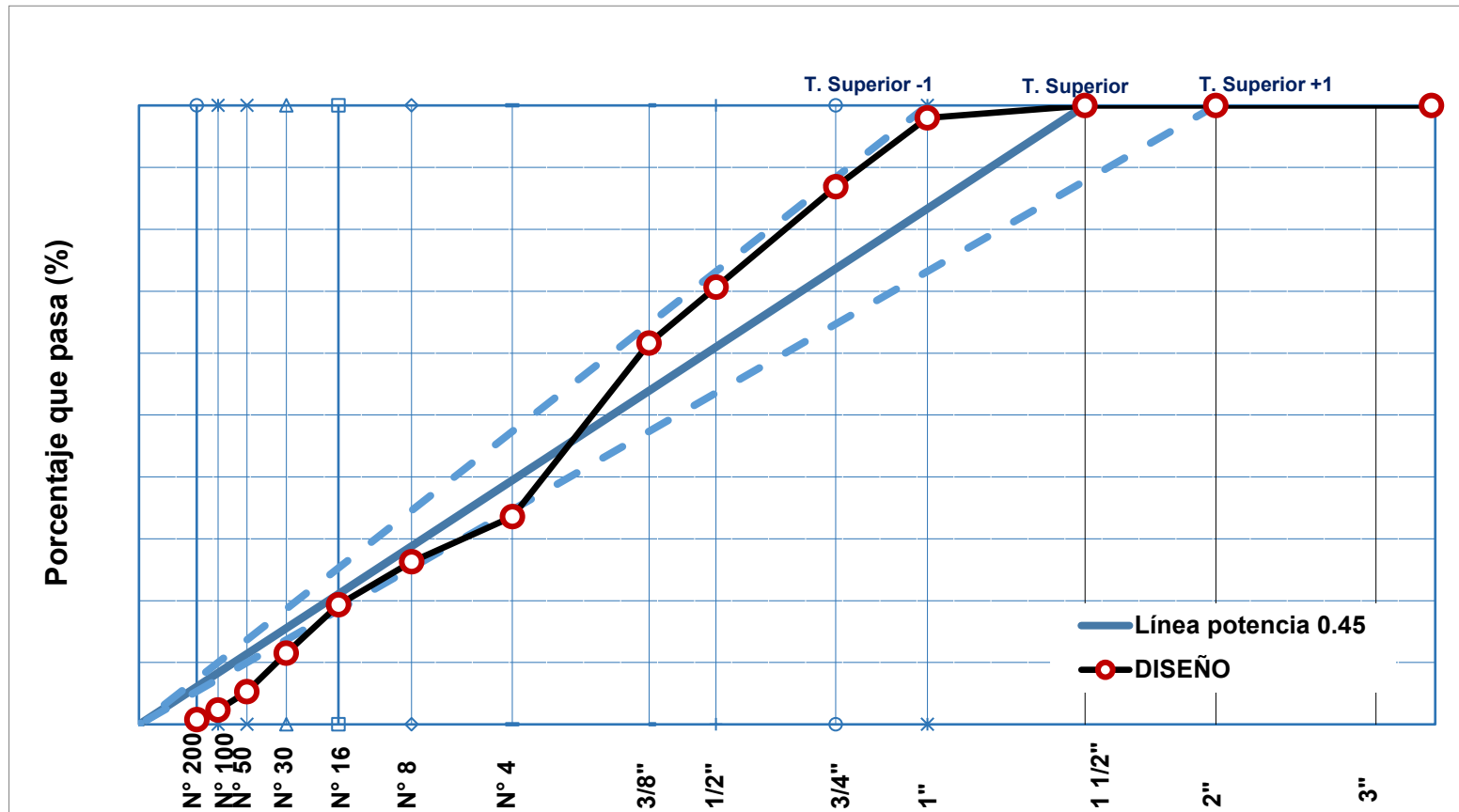
- Método para evaluar la distribución exacta de cada tamaño de tamiz fácilmente los tamaños de tamiz en exceso o ausentes de una gradación combinada



# Consideraciones de Diseño

## CUADRO DE POTENCIA 0.45

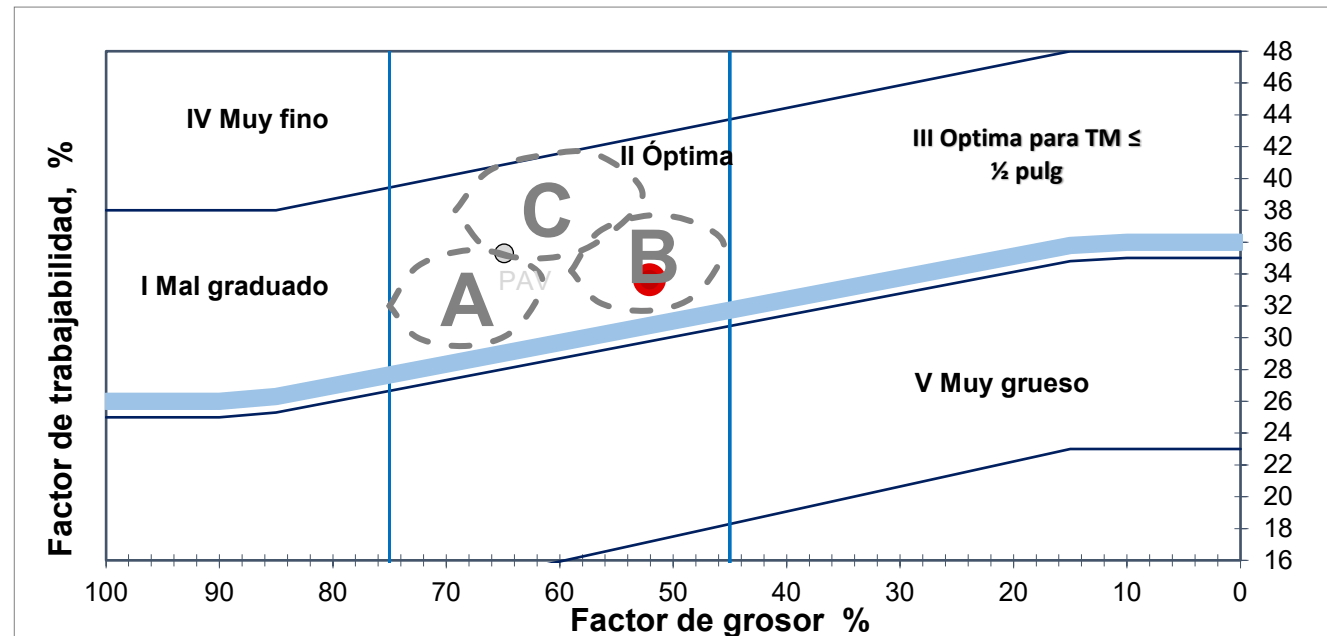
- Nos ayuda a determinar la mejor combinación agregada, asegurando mayor densidad en la mezcla.



# Consideraciones de Diseño

## CUADRO DE VISIBILIDAD – CARTA DE SHILSTONE

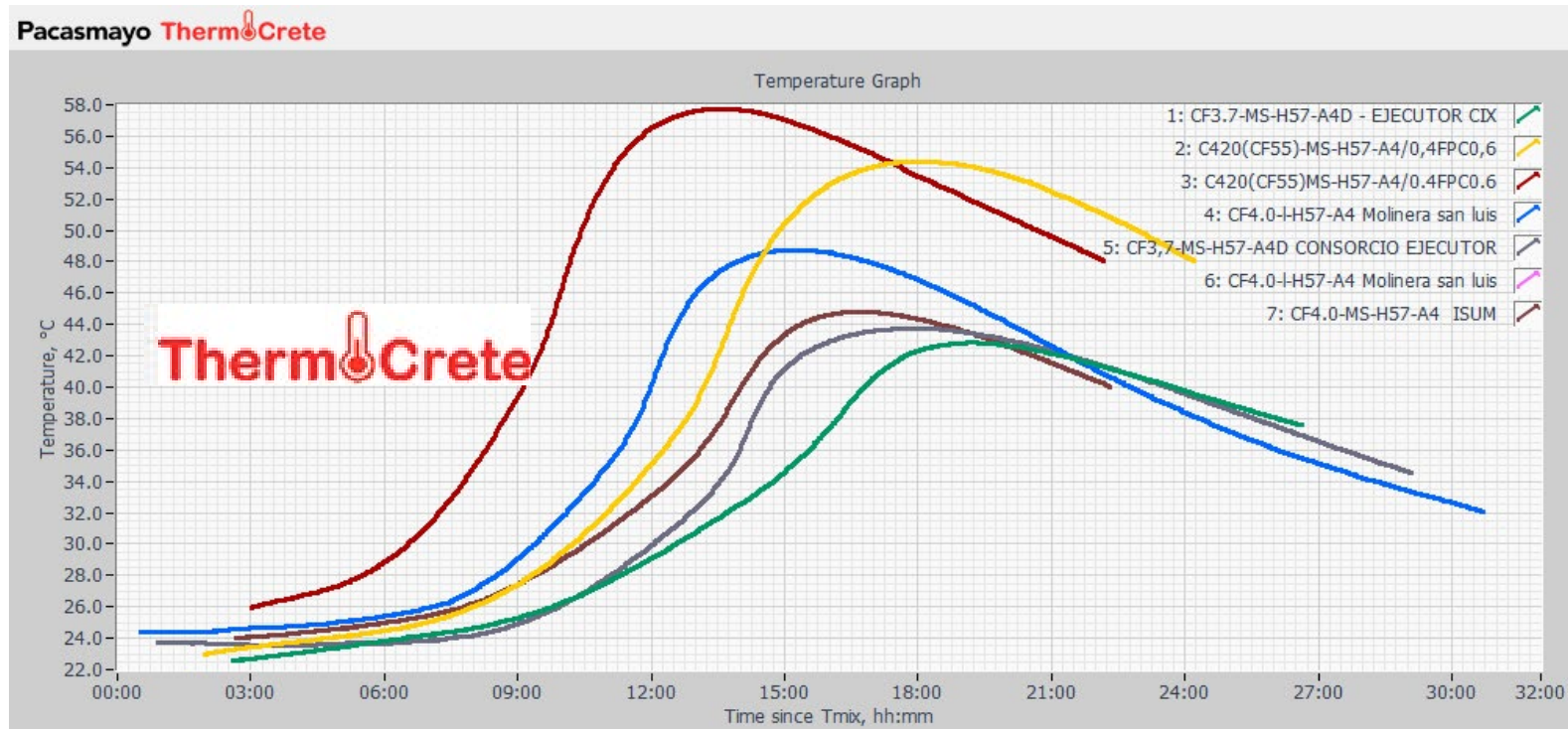
- Mayor enfoque por regiones A,B y C dentro de la zona Optima para pavimentos (zona II).
  - Método de colocación según Shilstone, utilizando criterios de grosor y trabajabilidad.
- ✓ **ZONA A:** Encofrado deslizante (Pavimentadora)
  - ✓ **ZONA B:** Cercha mecánica en encofrado
  - ✓ **ZONA C:** Colocación manual



# Consideraciones de Diseño

## CALORIMETRÍA SEMI ADIABÁTICA: Thermocrete - MADUREZ

- Este ensayo se realiza en mortero y nos permite determinar:
  - ✓ Si el aditivo tienen algún impacto en la reactividad del cemento
  - ✓ Calcula el tiempo de fraguado, ayudando a determinar algún potencial de fisuramiento.
  - ✓ Igual temperatura, igual resistencia (área bajo la curva).



# Ventajas de una Mezcla Especializada

---

- ✓ **Mejor desempeño del pavimento**, concreto con agregados bien clasificados con gran aporte a la resistencia al desgaste.
- ✓ **Permite controlar las contracciones y mitigar la fisuración**, mezclas idóneas con granulometrías continuas hasta la malla # 100.
- ✓ **Permite mezclas compatibles**, con los requisitos de trabajabilidad de las colocaciones de concreto por medios mecánicos, ya sea encofrado deslizante o convencionales.

ALABEO

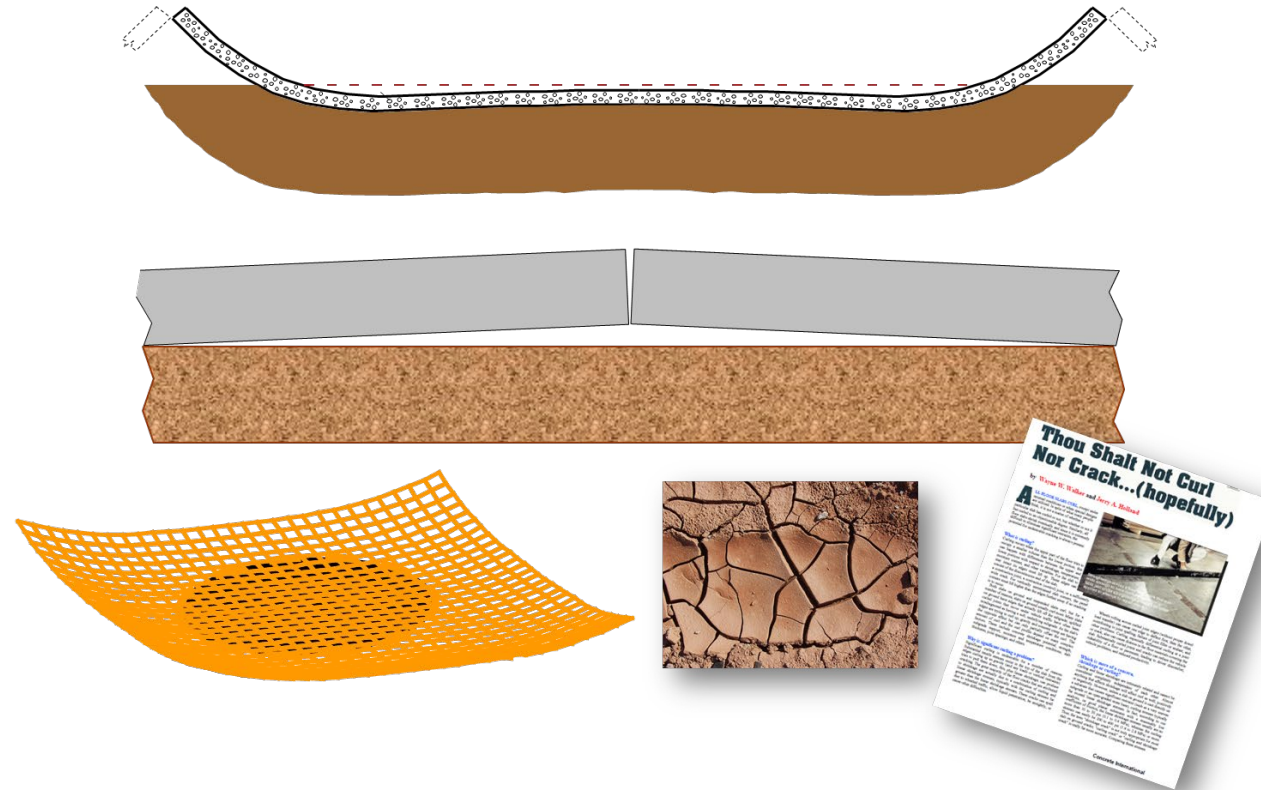


# Evolución Diseño



# “All slabs [and pavements] curl”

*Jerry Holland, Structural Services Inc.*



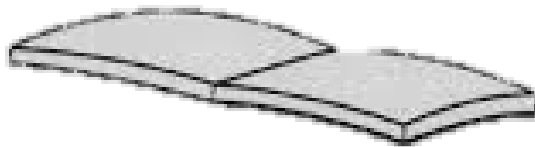
(Slide courtesy of Jerry Holland, P.E. Structural Services, Inc.)



## Comportamiento Estructural



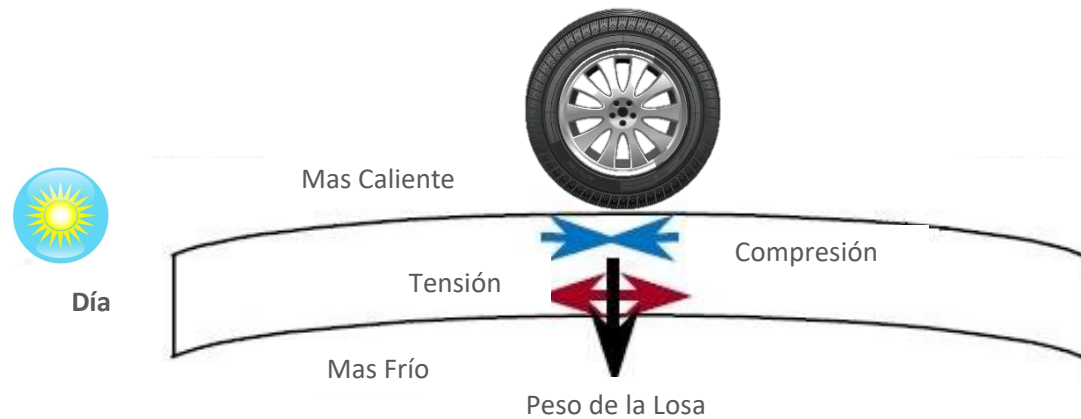
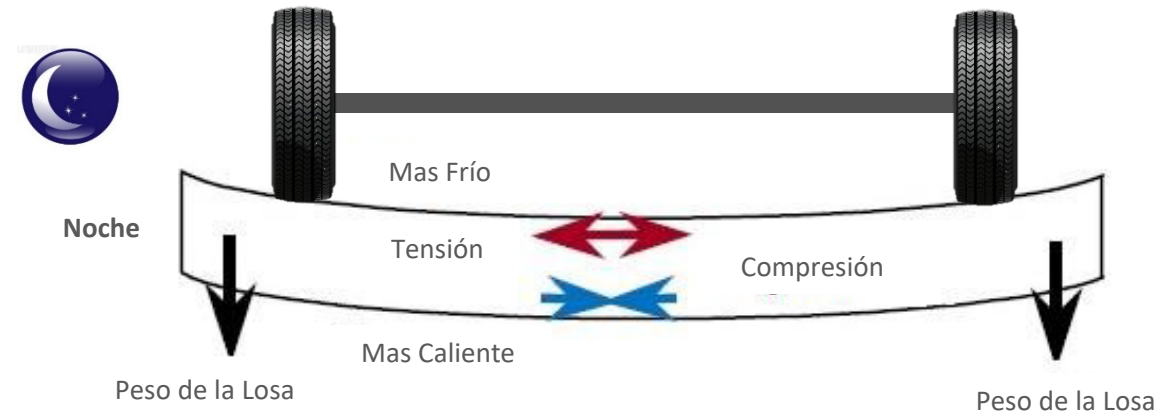
**Alabeo Positivo**  
Concavidad hacia arriba



**Alabeo Negativo**  
Concavidad hacia abajo

### Tipos de Alabeo:

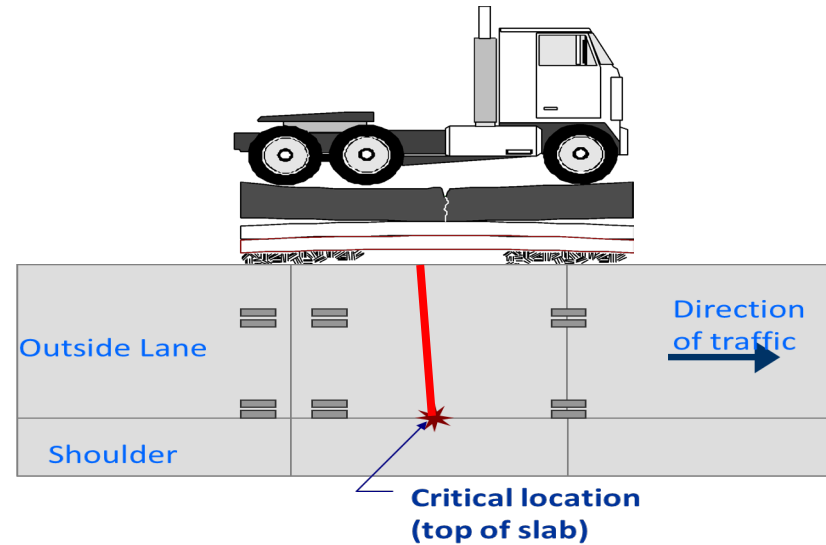
- Por Construcción
- Por Diferencias de Humedad
- Por Diferencias de Temperatura





# Upward Curl: Top Down Fatigue Cracking & Faulting

*Dr. Michael Darter*



<https://www.concretepavements.org/2021jpcsymposium/>

- Joint faulting also existed in heavy truck lane (on many non-doweled projects for which upward curling is partly responsible as this sets up high differential deflections resulting in pumping and erosion).
- Relatively long transverse joint spacing (random spaced joints) is also a major contribution to faulting.

El concreto ha cambiado en el tiempo,  
aumentando alabeo.  
(Finura del cemento)

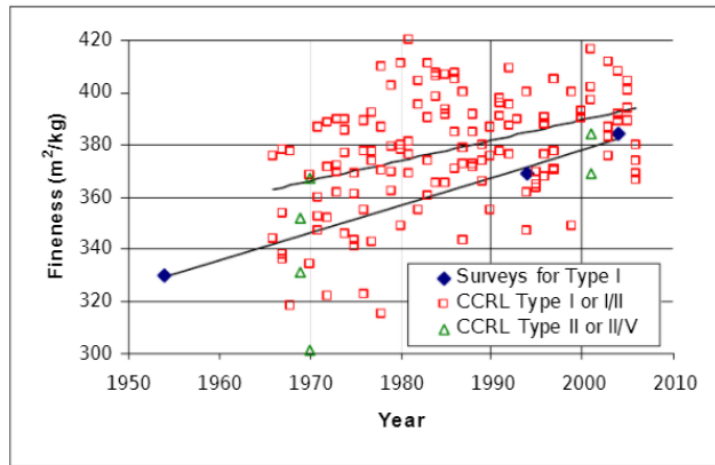


Figure 1. Changes in the Blaine fineness of cements from the 1950s to the present day. Regression lines are provided for the Type I survey and CCRL Type I or I/II data sets only.

### Early-Age Properties of Cement-Based Materials. I: Influence of Cement Fineness

July 2008 · *Journal of Materials in Civil Engineering* 20(7)

DOI: 10.1061/(ASCE)0899-1561(2008)20:7(502)

Authors:



D. P. Bentz  
National Institute of Standards and Techn...



Gaurav Sant  
University of California, Los Angeles



William Jason Weiss  
Oregon State University

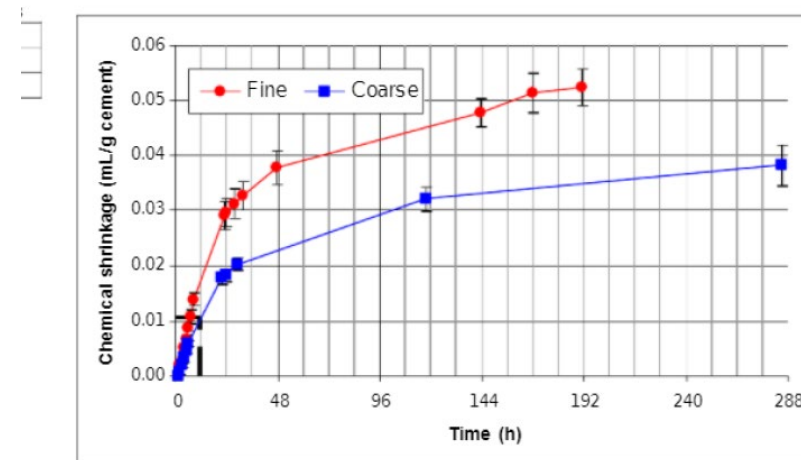
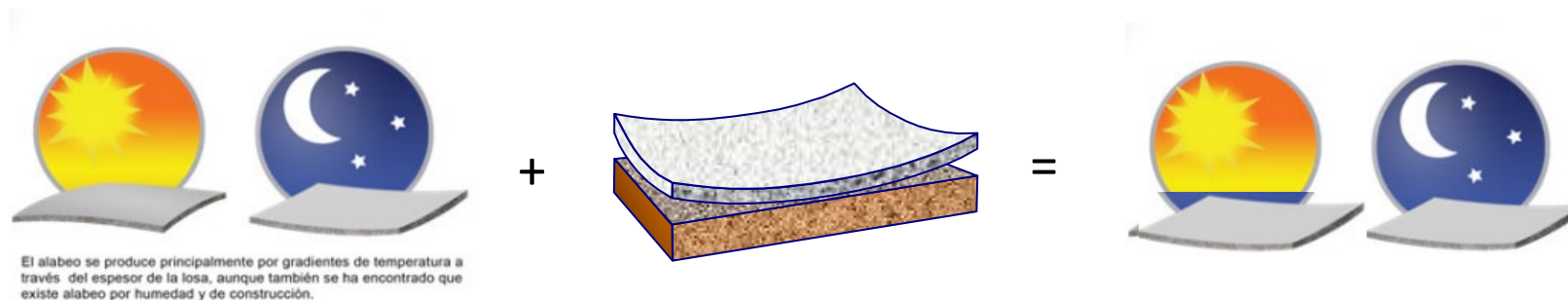


Figure 7. Chemical shrinkage at 25 °C for w/c = 0.35 cement pastes. Error bars represent one standard deviation determined based on three replicate specimens for each cement. Dashed heavy lines indicate the 12 h limit set by Burrows et al. [7] for a low crack cement

## Efectos del alabeo de construcción(EBITD)



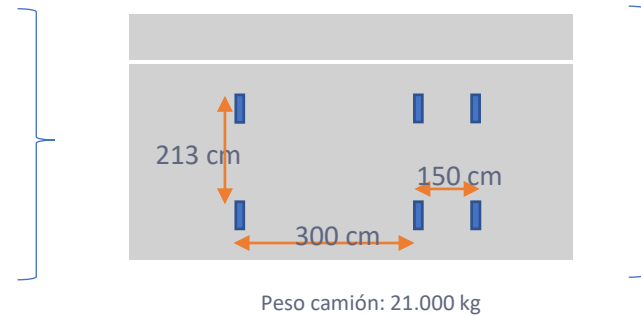
- Esta curvatura residual ha mostrado que afecta el desempeño de los pavimentos de hormigón.
- Existen regiones de la losa que no están en contacto con la base.
- Con la aplicación de cargas, el alabeo de construcción cambia la ubicación y magnitud de la tensión máxima de tracción. Cambiando el modo de falla.

# Descripción sensibilidad Alabeo - Largo de Losa

Inputs

Outputs

- Espesor del pavimento (hpcc)
- Transferencia de carga transversal (LTE x)
- Condición de borde (LTE y)
- Diferencial de temperatura ( $\Delta T^\circ$ )
- Reacción de apoyo (K)



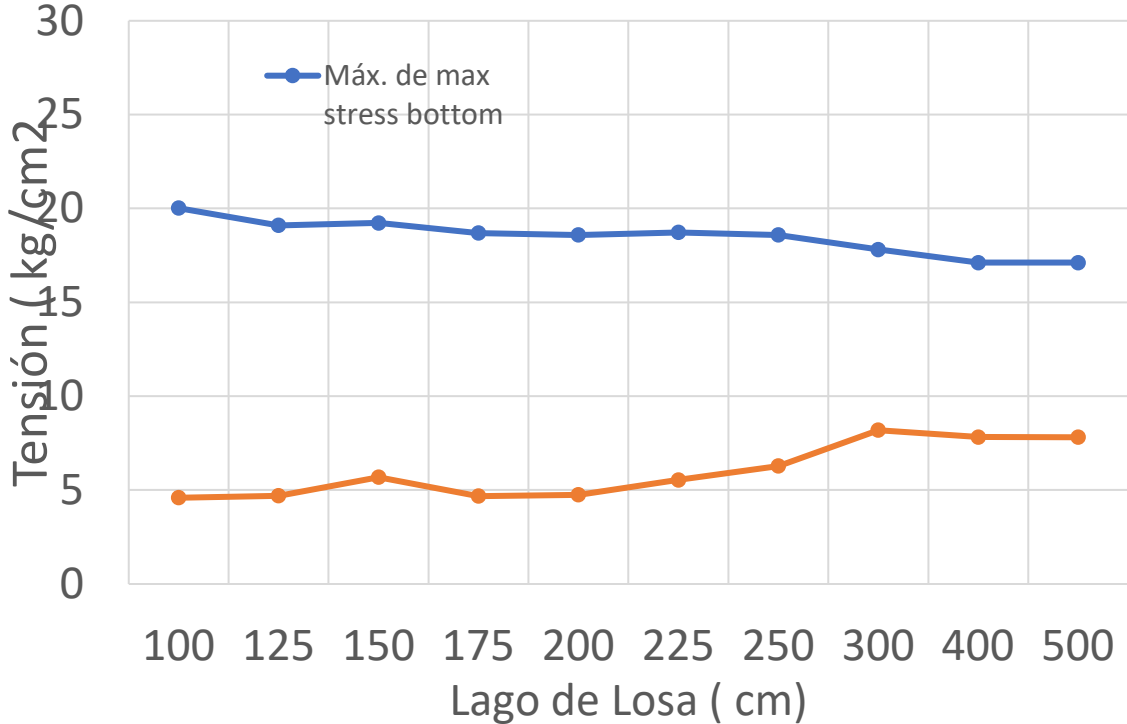
- Máxima tensión superior (Largo de losa)
- Máxima tensión inferior (Largo de losa)

Largo de losa (cm)	hpcc (cm)	LTE x (%)	LTE y (%)	$\Delta T^\circ$ ( $^\circ\text{C}$ )	K ( $\text{kg}/\text{cm}^3$ )
100	10	25	1	0	3
125	12	50	25	-5	5
150	14	75	50	-10	7
175	16	95		-15	10
200	18			-20	15
225	20				20
250	22				
300	24				
400					
500					



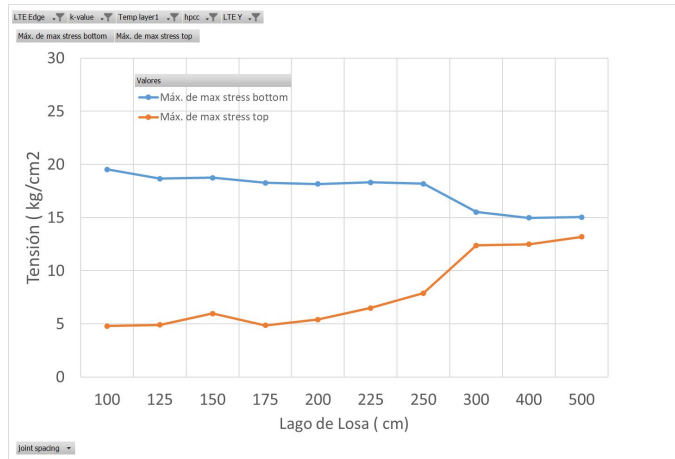
28.800 Casos

# Resultado losas Planas

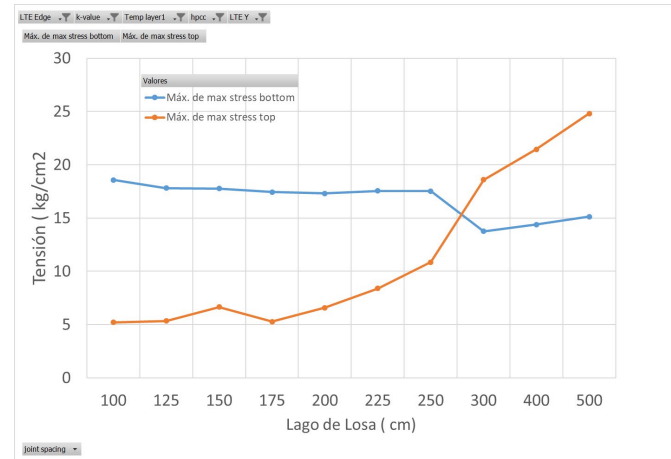


Variable	Valor
LTE x	1
K	5 kg/cm <sup>3</sup>
$\Delta T^\circ$	0°C
hpcc	20 cm
LTE y	50 %

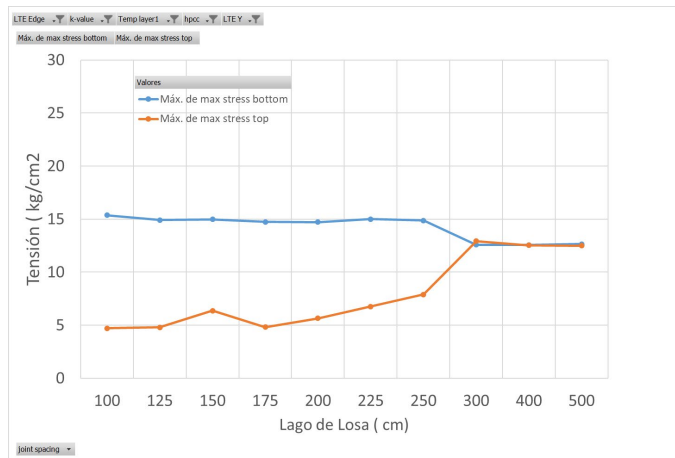
# Sensibilidad Largo de Losa



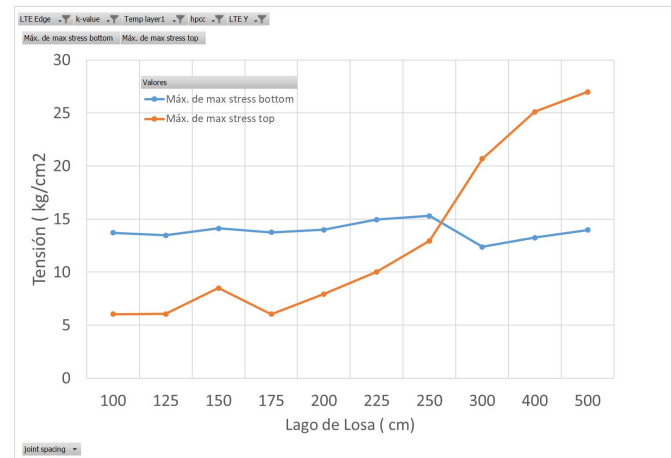
Variab le	Valor
LTE x	1
K	5 kg/cm <sup>3</sup>
ΔT°	-5 °C
hpcc	20 cm
LTE y	50 %



Variable	Valor
LTE x	1
K	5 kg/cm <sup>3</sup>
ΔT°	-15 °C
hpcc	20 cm
LTE y	50 %



Variable	Valor
LTE x	1
K	20kg/cm <sup>3</sup>
ΔT°	-5 °C
hpcc	20 cm
LTE y	50 %



Variable	Valor
LTE x	1
K	20kg/cm <sup>3</sup>
ΔT°	-15 °C
hpcc	20 cm
LTE y	50 %

# MODOS DE FALLA





# Modos de Falla



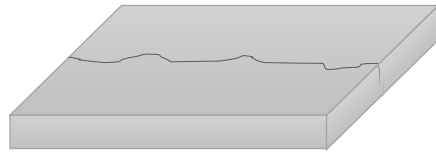
Dirección del tránsito



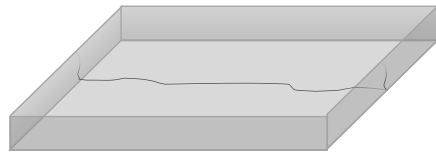
Grieta Transversal desde Arriba



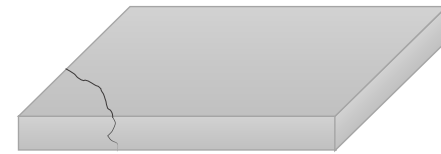
Grieta Transversal desde Abajo



Grieta Longitudinal desde Arriba



Grieta Longitudinal desde Abajo



Grieta de Esquina



Escalonamiento

DEBEMOS APRENDER A HABLAR CON LOS PAVIMENTOS

# Métodos constructivos

---

**UN BUEN PAVIMENTO ES ....**

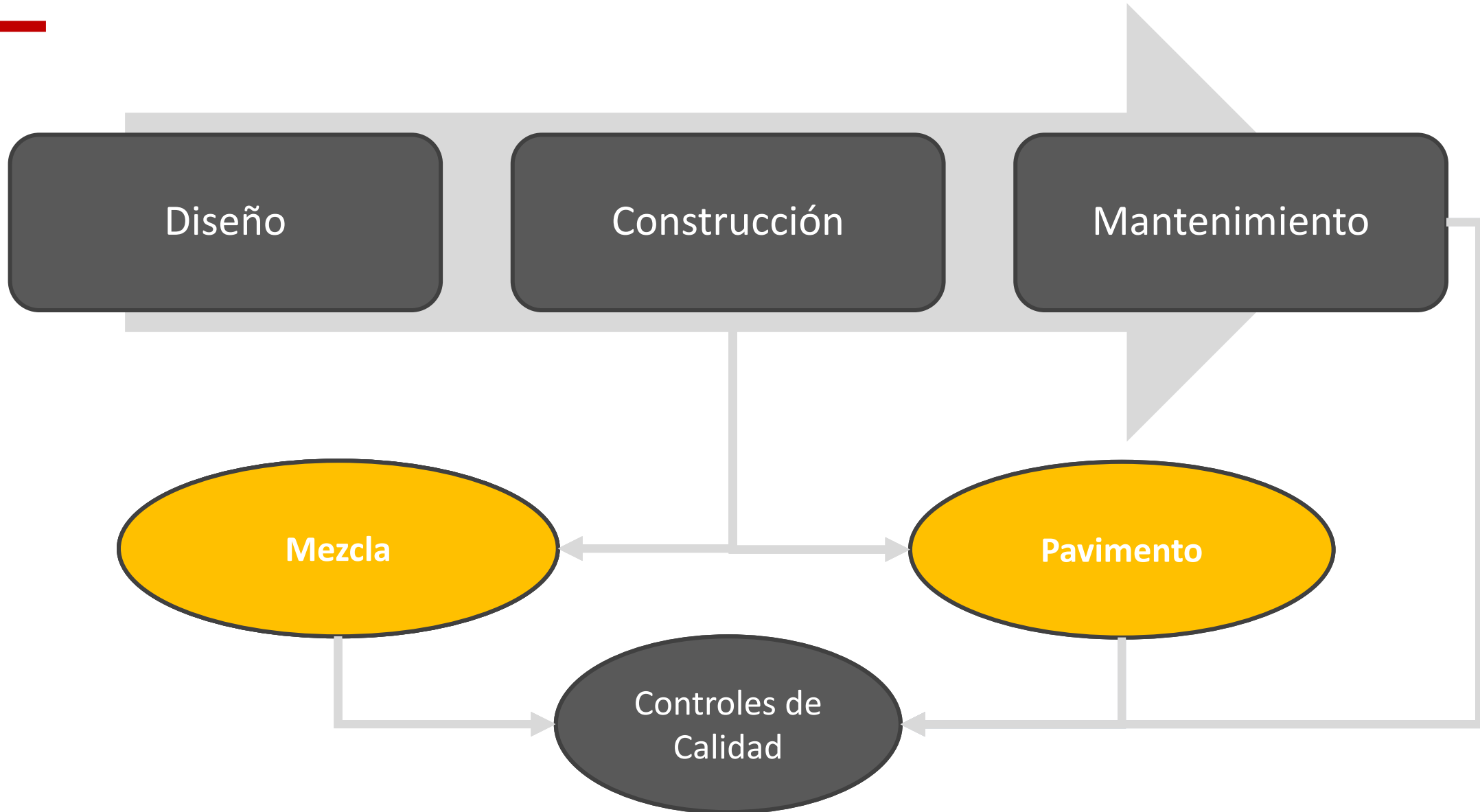


# No existe un concreto para todo uso

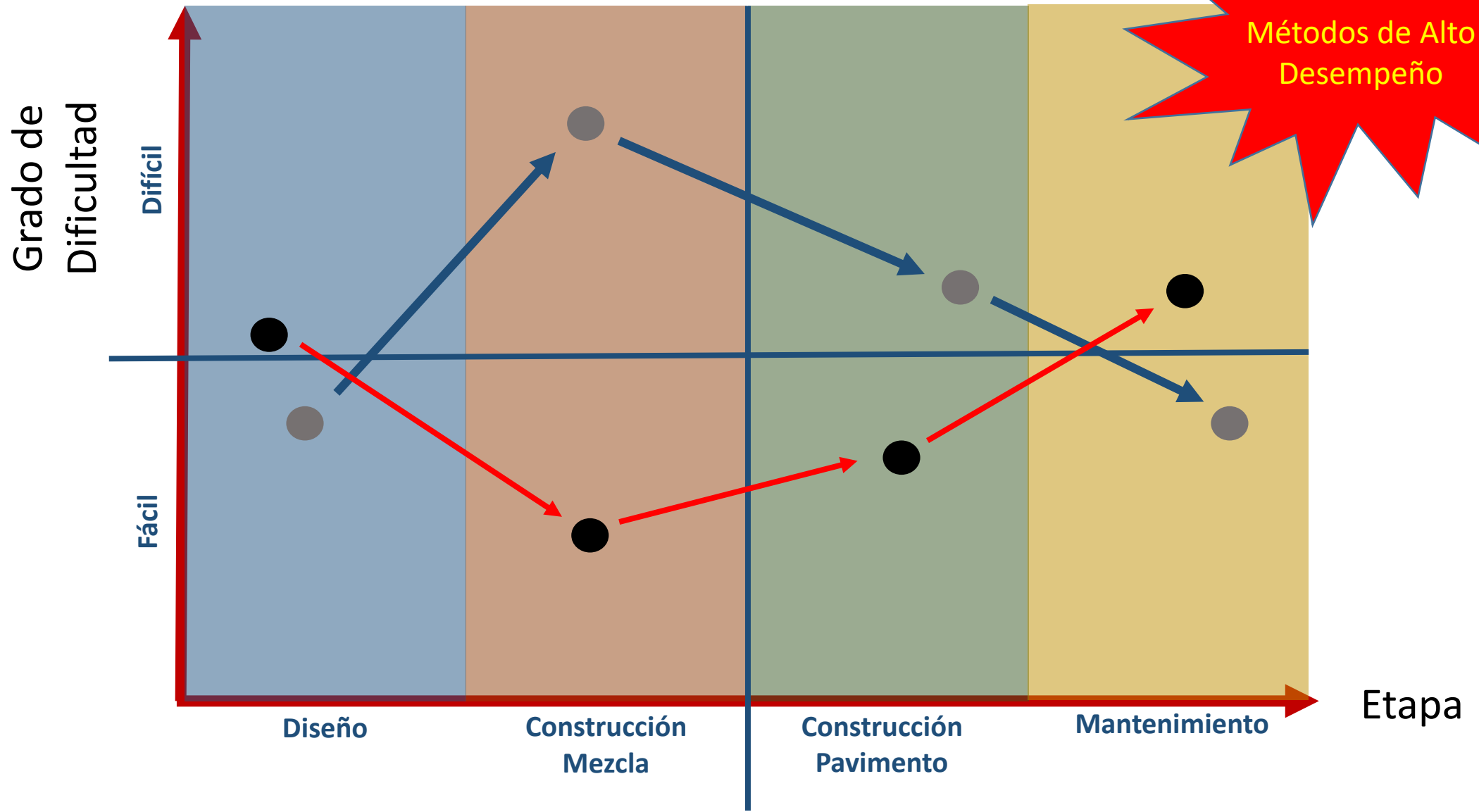
---

- **Columnas, vigas , losas.**
- **Muros, veredas, alcantarillas, puentes, cunetas, sardineles, badenes, pavimentos.**
- **Resistencias: CNC, flexo tracción, asentamientos.**
- **Exposición al clima: Ataques de sulfatos, abrasión (desgaste), sales, temperatura.**

Para obtener un buen pavimento...



Para obtener un buen pavimento...



# Construir un buen pavimento no es casualidad

**Por mas esfuerzo que hagas, si no cuentas con las herramientas adecuadas no lo lograrás ...**

- Capacitación o Entrenamiento
- Comunicación
- Equipos Adecuados
- Supervisión
- Innovación
- Transparencia



# Construir un buen pavimento no es casualidad

---

## Pavimentos de Concreto Paso a Paso ...

**Paso 1:** Prepare el apoyo ✓

**Paso 2:** Coloque los encofrados NIVELES

**Paso 3:** Vaciado, colocación del concreto (Temperatura, humedad, tiempo)

**Paso 4:** Extendido, segregación, vibrado (Aire en la mezcla, durabilidad)





# Construir un buen pavimento no es casualidad

---

## Pavimentos de Concreto Paso a Paso ...

**Paso 5:** Frotachado, nivelación, acabado.

**Paso 6:** Bordeado, cortes Vs declaración, despostillado.

**Paso 7:** Fraguado. Espere, exudación, flota, acabado.

**Paso 8:** Juntas



# Construir un buen pavimento no es casualidad

---

## Pavimentos de Concreto Paso a Paso ...

**Paso 9:** Aplanado manual, floteado, frotachado.

(No toque demasiado la superficie – Produce descascaramiento)

**Paso 10:** Alisado – De ser necesario o deseable.

(Aditivos, desgaste)

**Paso 11:** Texturizado

**Paso 12:** Curado

**Paso 13:** Proteja el concreto fresco



# Construir un buen pavimento no es casualidad

---

## *Un buen concreto requiere de ...*

- Capacitación
- Comunicación
- Equipos Adecuados
- Supervisión
- Innovación
- Transparencia
- Buen proceso constructivo
- Algunas precauciones

# MÉTODOS CONSTRUCTIVOS



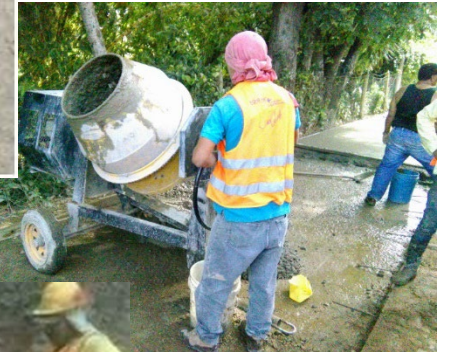
# Métodos constructivos

---

En el caso de pavimento asfáltico:



En el caso de pavimento rígido:



# Métodos constructivos

---



# Métodos constructivos

---



# Métodos constructivos

---





## Métodos constructivos

---



## Métodos constructivos

---



# CONSIDERACIONES CONSTRUCTIVAS



## Métodos constructivos

---



# Métodos constructivos

---



## Métodos constructivos

---



## Métodos constructivos

---



# Métodos constructivos

---





# Métodos constructivos

---



## Métodos constructivos

---



# Métodos constructivos

---



# Métodos constructivos

---



# Métodos constructivos



Consorcio  
Constructor del  
Norte del Perú



02/04/2024 16:47:43

Aeropuerto Internacional Guillermo Concha Ibérico

Piura

Altitud:48.7m



Seminario Internacional

# Construcción de Pavimentos de Hormigón

**MUCHAS GRACIAS**  
**POR SU ATENCIÓN**

Ing. MSc. Carlos Ovidio Márquez Herrero  
[comarquez962@Gmail.com](mailto:comarquez962@Gmail.com)