



# Pavimentos de hormigón con fibras

AVANCES EN TECNOLOGÍA DEL HORMIGÓN

Montevideo, 27 de julio de 2016

Sergio H. Píalarissi Cavalaro



Pautas salariales - Tabaré Vázquez

## REVITALIZACIÓN DEL CASCO HISTÓRICO

# Hacia la nueva Ciudad Vieja

La Intendencia de Montevideo presentó un plan de obras para revitalizar el barrio histórico.

Plaza España  
Plaza Independencia  
Plaza Zabala  
Plaza Sarandí  
Rambla Francia  
Rambla Portuaria  
Esollera Sarandí

Hecho con thinglink..  
DESCUBRA MÁS >

Si no puede ver el interactivo haga click [aquí](#)

Estos desean reeditar el reciclaje del mencionado edificio de la vieja Facultad de Humanidades, diseñado en su origen para el Hotel Nacional.

La obra tiene 11.000 metros cuadrados construidos, cuatro pisos y un gran patio central, sobre una manzana frente a la playa de contenedores del puerto. De no recuperarse, lo que se haga alrededor no brillará tanto, por supuesto.

#### Veredas y calles.

En los sectores en donde las veredas se hicieron con baldosas de granito rosado, éstas serán mantenidas después de trabajos de nivelación, como ya es posible apreciar en más de una calle. En total serán reparados 30.000 metros cuadrados de veredas de hormigón y 5.000 de granito.

Entre las calles Piedras, Reconquista, Juan Lindolfo Cuestas, Bartolomé Mitre y Juncal se arreglará todas las veredas de 85 manzanas, colocando pavimento liso de hormigón.

En el afán de eliminar obstáculos, las señales de tránsito pasarán a amurarse sobre fachadas. Y en cada esquina habrá rampas para favorecer las caminatas de personas con motricidad reducida, lo cual implicó un estudio caso a caso antes de definir cuál era la mejor orientación.

"Es esencial que todo el mundo pueda transitar. Tuvimos una discusión al principio, pero tenía que haber rampa en todas las esquinas, porque no se puede definir solo un circuito que sea accesible. Le fuimos buscando la vuelta", explicó a El País la arquitecta Patricia Roland, directora de Espacios Públicos y Edificaciones de la Intendencia de Montevideo y gerenta del programa de revitalización de la Ciudad Vieja. *(Ver página 3).*

#### Ómnibus y luces.

Otras labores vinculadas a veredas y calles tienen que ver con el circuito único de transporte público. Quedarán reparadas las calles por donde pasarán los ómnibus, como se está discutiendo en Carrito y

# Tipos de pavimento

- Según uso



Vías



Industriales

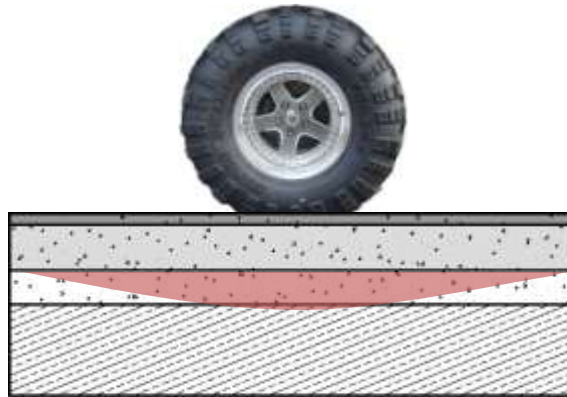


# Tipos de pavimento

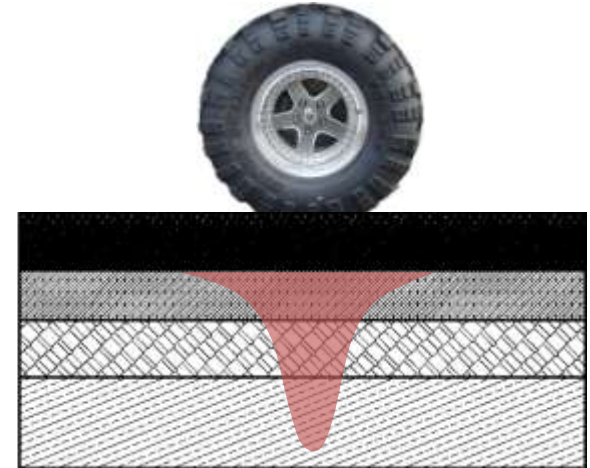
- Según material



# Rígido vs Flexible: Tensiones



a) Pavimento rígido



b) Pavimento flexible

Tensiones transmitidas



Solicitud de la base



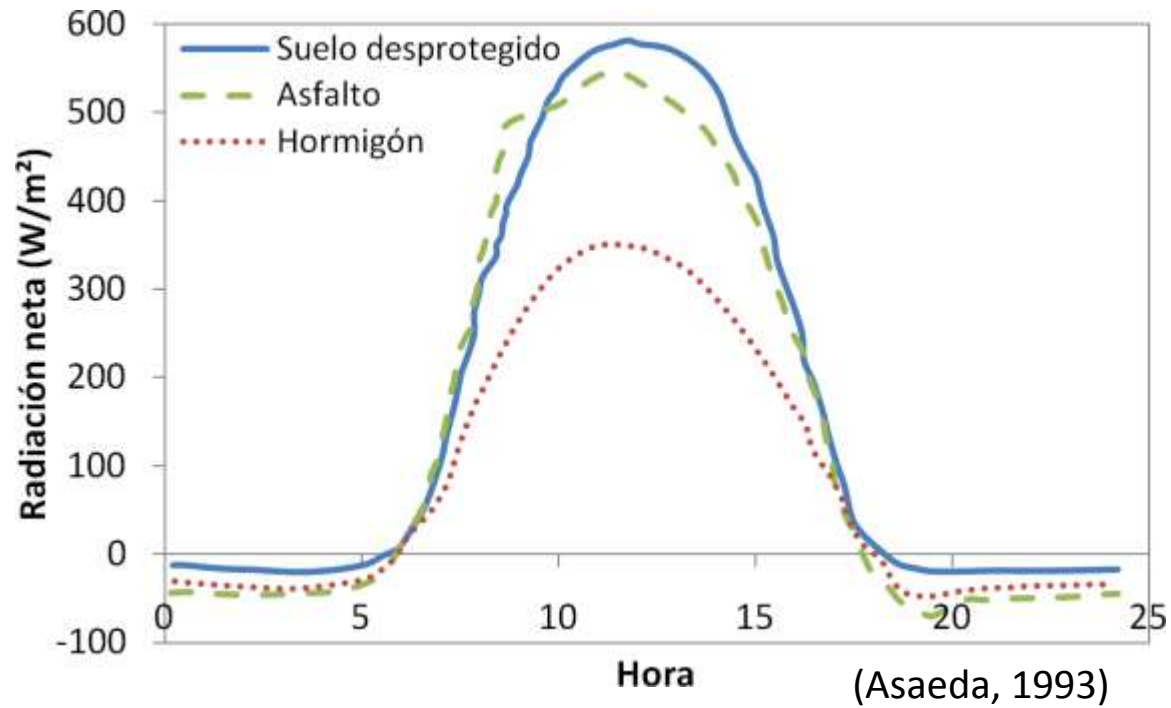
Riesgo de defectos en base



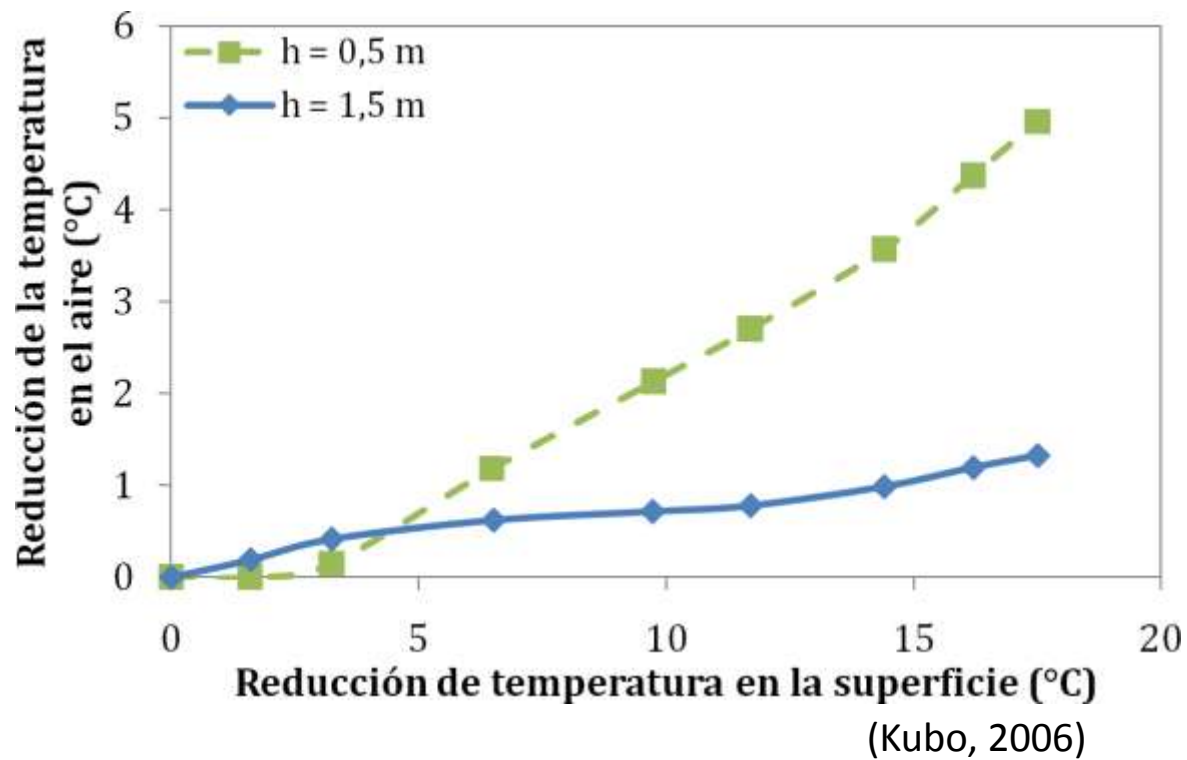
Sensibilidad a defectos



# Rígido vs Flexible: Radiación



# Rígido vs Flexible: Radiación

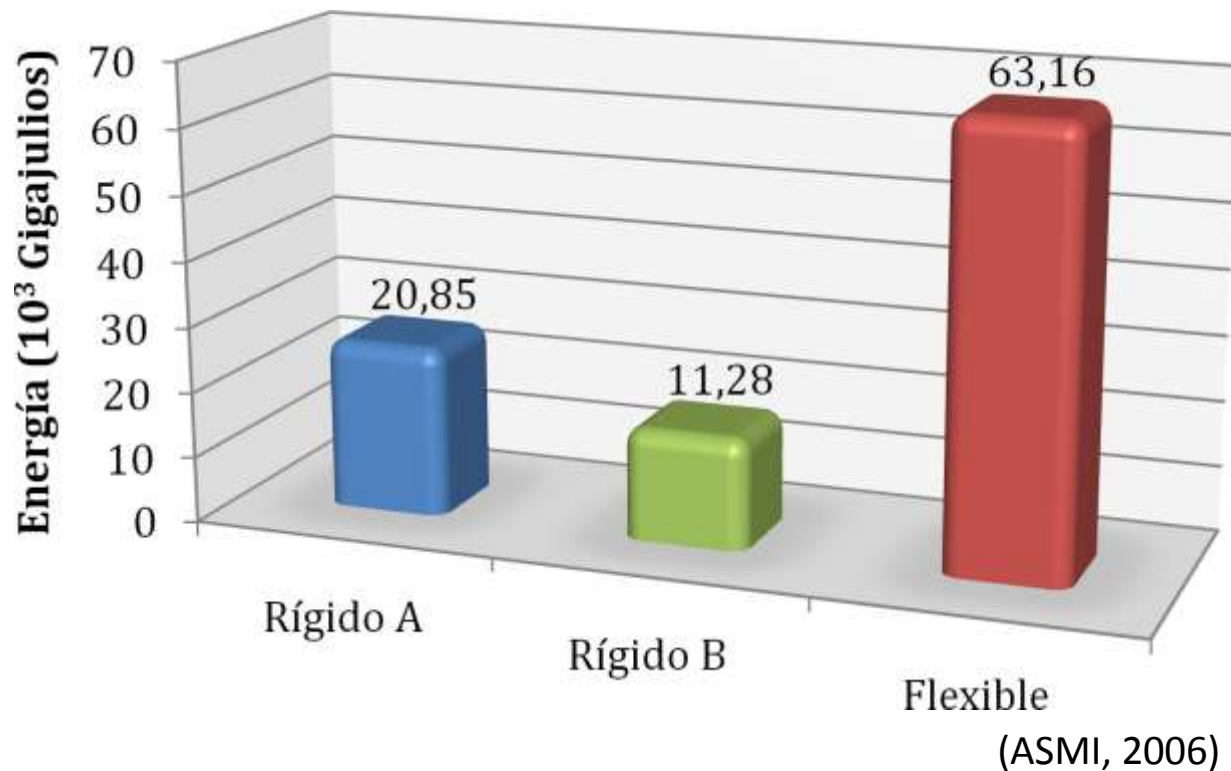


Cuidado con la reflectancia en pavimentos rígidos (3 veces mayor que en flexibles)!!!!



# Rígido vs Flexible: Energía Consumida

1 km de autopistas; 4 carriles; vida útil de 50 años



# Rígido vs Flexible: Energía y emisiones

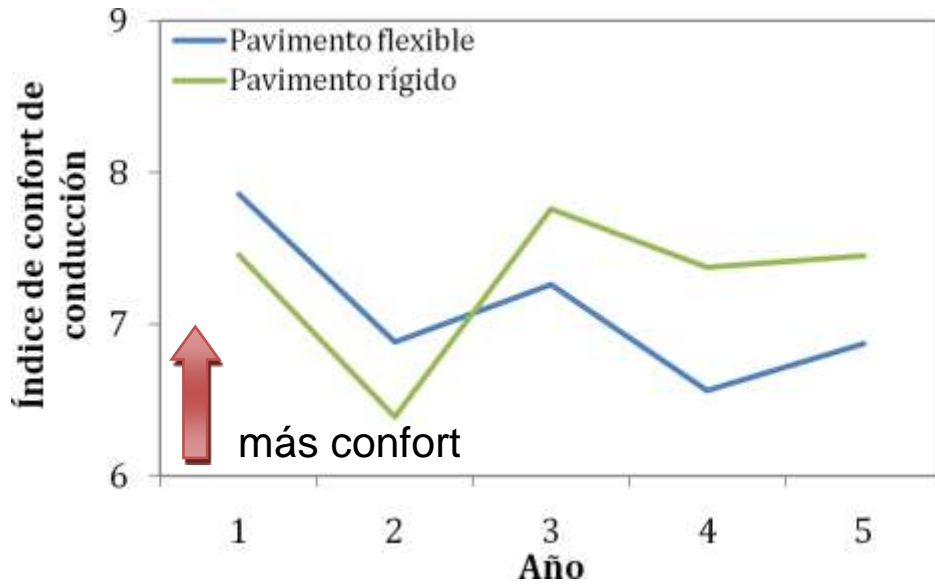
Estimación para el tráfico en España a partir de los datos de Martínez (2008)

		Furgonetas		Autobuses	Camiones	Total
		Gasolina	Diesel	Diesel	Diesel	
Tráfico (10 <sup>6</sup> km)	Urbano	1.138	3.232	128	1.272	<b>5.770</b>
	Interurbano	6.979	14.831	1.424	30.482	<b>53.716</b>
Consumo (10 <sup>6</sup> l)	Urbano	235	588	55	578	<b>1.456</b>
	Interurbano	942	1.763	400	9.054	<b>12.159</b>
	Total	1.177	2.351	455	9.632	<b>13.615</b>
Ahorro de combustible (10 <sup>6</sup> l)		9	19	17	366	<b>412</b>
Reducción de emisiones (t)	CO <sub>2</sub>	20.056	50.217	46.164	977.263	<b>1.093.700</b>
	NO <sub>x</sub>	282	562	517	10.944	<b>12.305</b>
	SO <sub>x</sub>	35	71	65	13.79	<b>1.551</b>

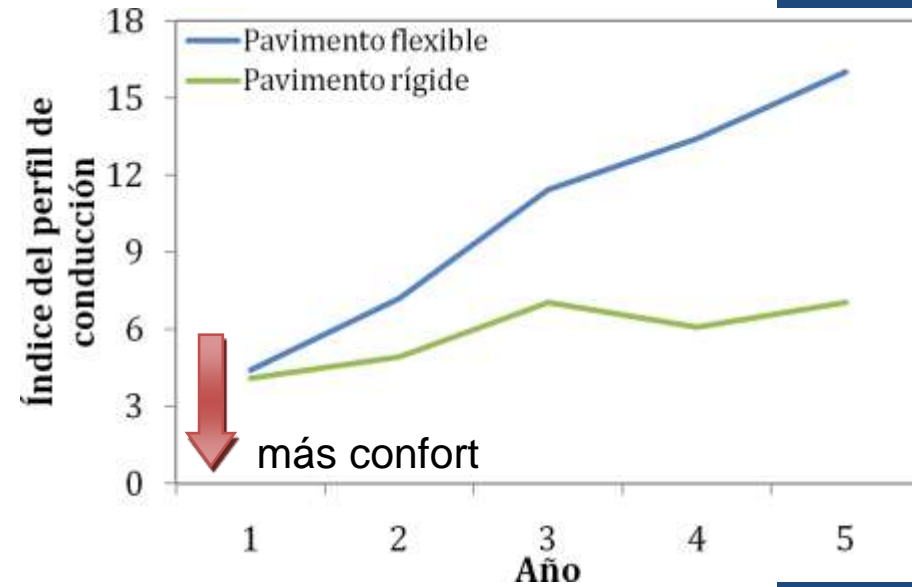
# Rígido vs Flexible: Durabilidad

Estado	1ª Rehabilitación		Vida útil de la 1ª Rehabilitación		Vida útil total*	
	Pavimentos flexibles	Pavimentos rígidos	Pavimentos flexibles	Pavimentos rígidos	Pavimentos flexibles	Pavimentos rígidos
Alabama	12	20	8	8	20	28
California	18-20	20-40	10	>10	28-30	30-50
Colorado	10	22	10	18	20	40
Georgia	10	20-25	10	20	20	40-45
Illinois	-	20	-	20	-	40
Indiana	25	30	15	12	40	42
Kansas	10	20	10	7-10	20	27-30
Maryland	15	20	12	-	27	-
Michigan	26	26	10-15	20-21	36-41	46-47
Minnesota	6-7	17	-	10-15	-	27-32
Massachusetts	12	16	9	16	21	32
Missouri	20	25	12-13	20	32-33	45
Montana	19	20	12	20	31	40
Nebraska	15-20	35	12-15	15	27-35	50
North Carolina	12-15	15	12	10	24-27	35
South Carolina	12-15	20	10-15	10	22-30	30
Utah	12-15	10-20	7-8	-	19-23	-
Vermont	-	20	10-12	10-15	-	30-35
Washington	10-17	20-30	10-17	15-20	20-34	35-50
Wisconsin	18-23	25-31	12	8-15	30-35	33-46
Ontario	19-21	18	10-13	10	29-34	28
Promedio	15,6	22,1	11,3	14,3	26,9	36,4

# Rígido vs Flexible: Comfort



(NSTPW, 1999)



(NSTPW, 1999)

Pavimento	Intensidad sónica (dBA)
Asfalto de granulometría abierta	79,7
Asfalto de granulometría densa	79,8
Hormigón con juntas	89,0

(Mcnerney, 2000)

# Rígido vs Flexible: Coste

Coste de construcción → Rígido entre 20% y 82% más caro (FHWA, 2009)

Coste de mantenimiento → Rígido un 59,6% más barato (Jasienski, 2007)

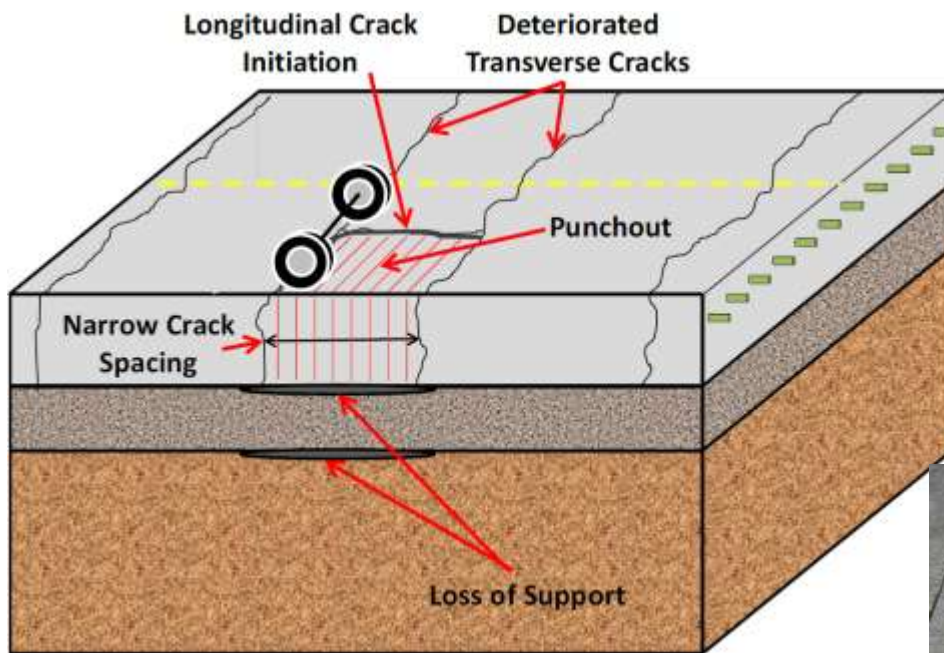
	Coste global presente neto (\$/km de carril)			
Tasa de descuento	Flexible			Rígido
	B	C	E	
4%	325.513	279.248	288.359	290.019
7%	327.874	286.196	295.911	291.249

(FHWA, 2009)



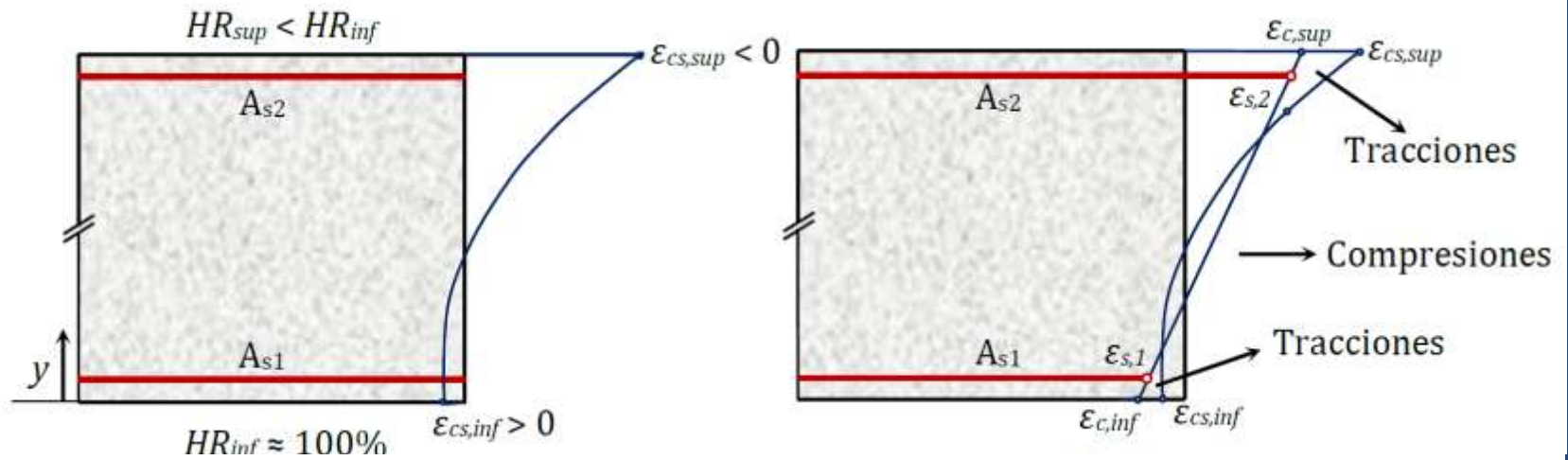
# ¿Problemas típicos?

- Pérdida de soporte por filtraciones

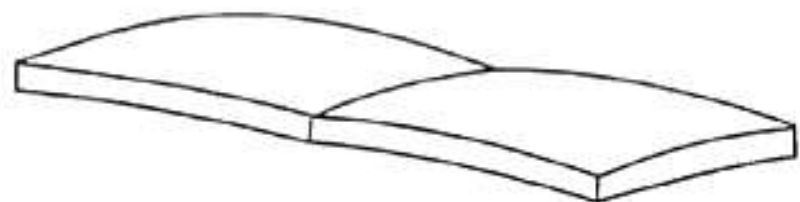
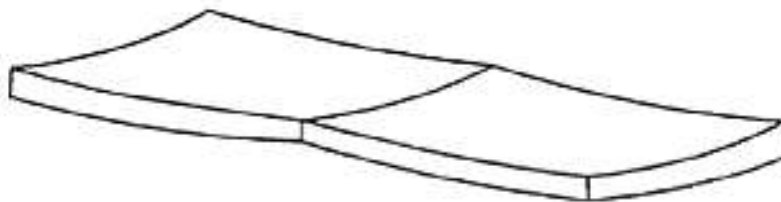


# ¿Problemas típicos?

- Alabeo



(Cuartero, 2014)



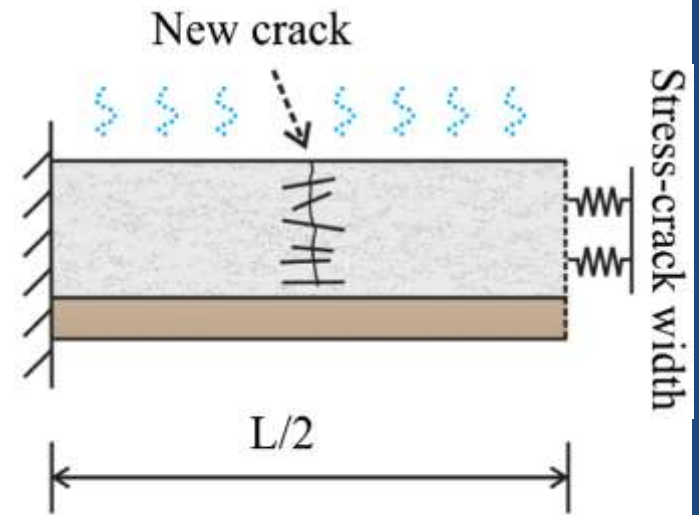
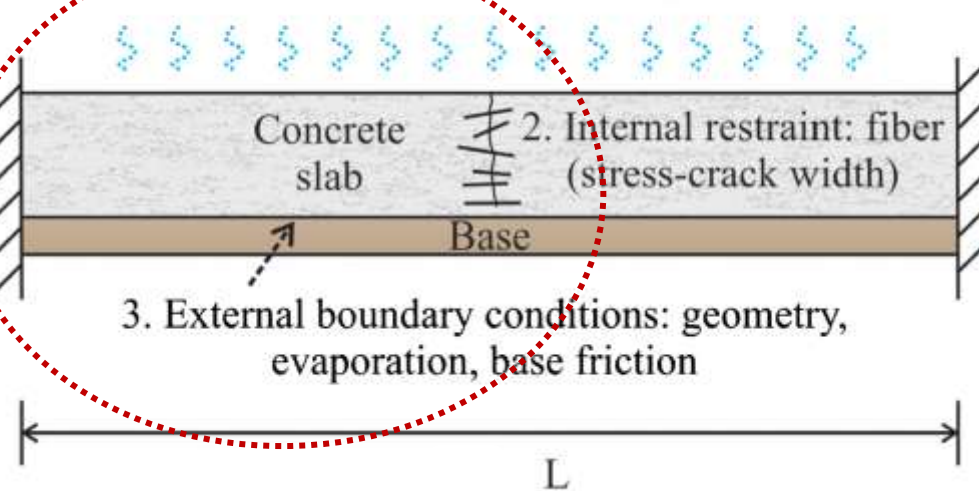
# Pavimentos Rígidos

- Resistencia a flexotracción
- Resistencia a la fatiga (cargas tráfico)
- Mínima retracción (control de la fisuración)
- Resistencia al impacto
- Tenacidad (energía)

¿Como el hormigón con fibras puede ayudar a mejorar el comportamiento?

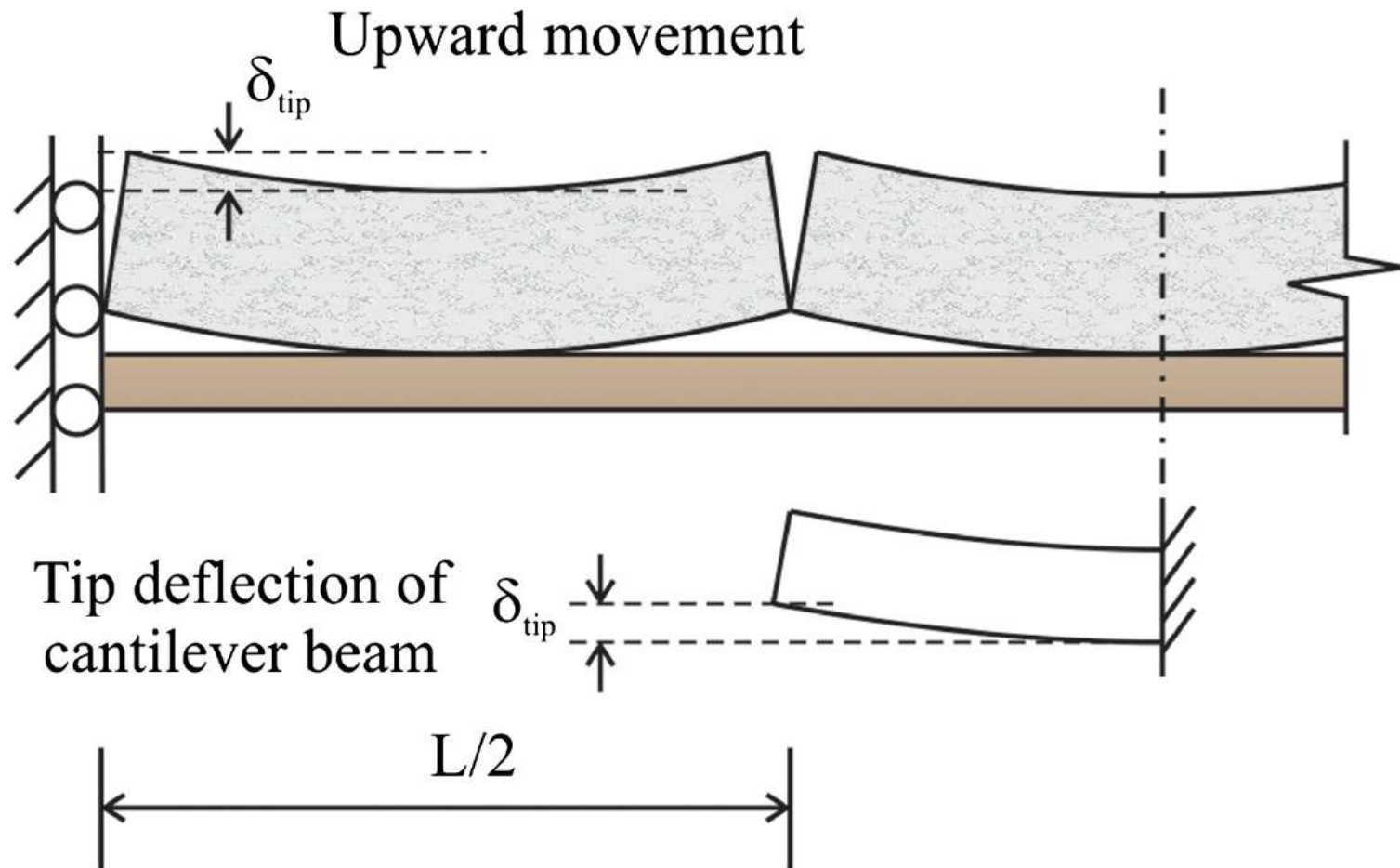
# Pavimentos continuos con fibras

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$$

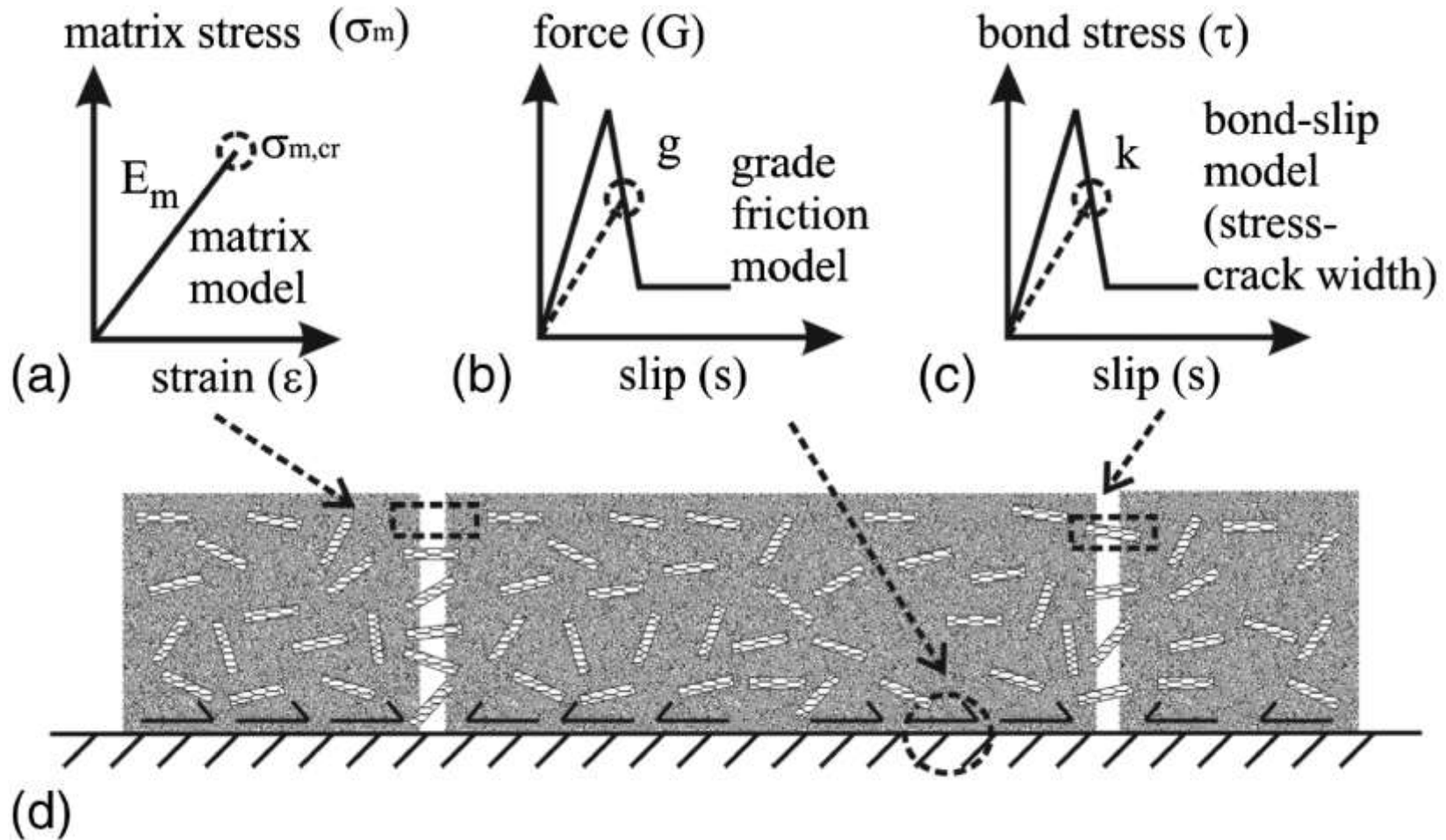




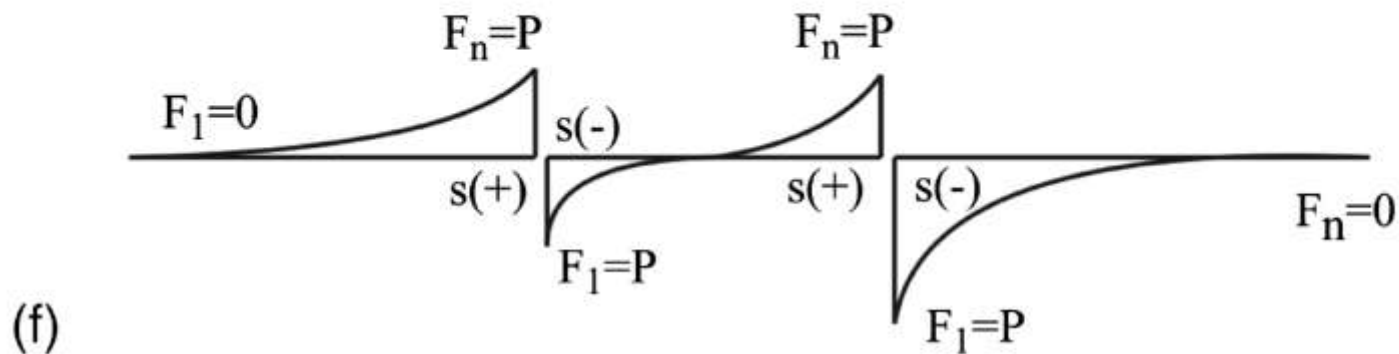
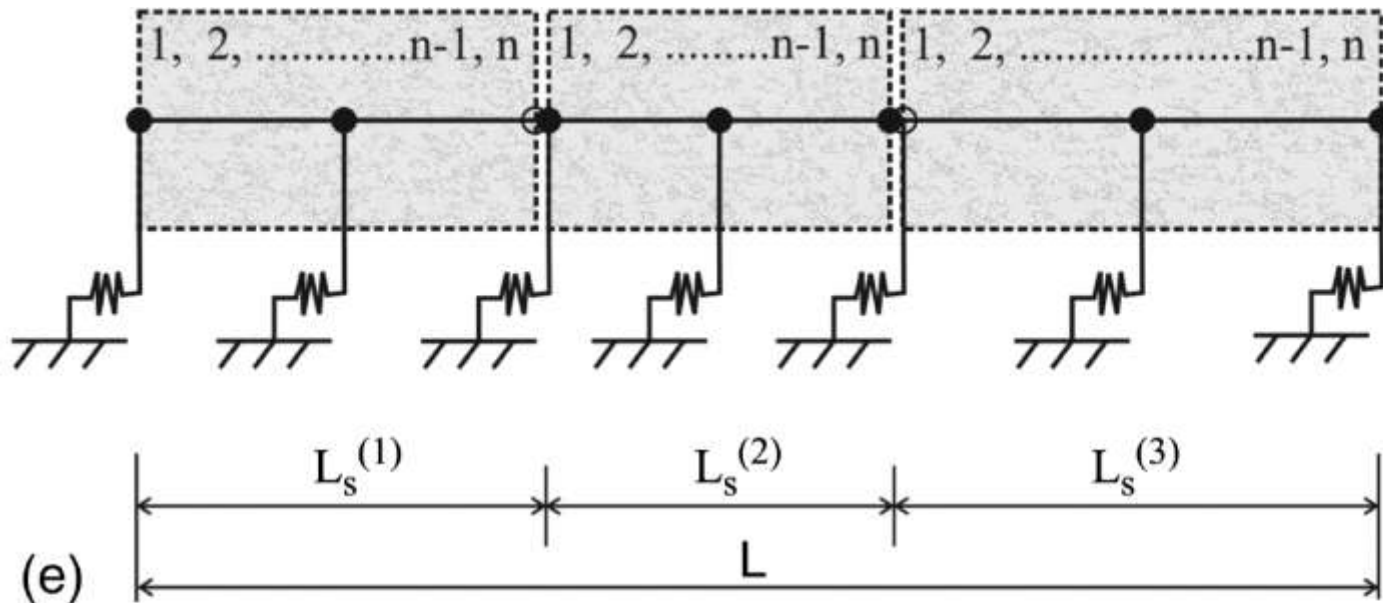
# Pavimentos continuos con fibras



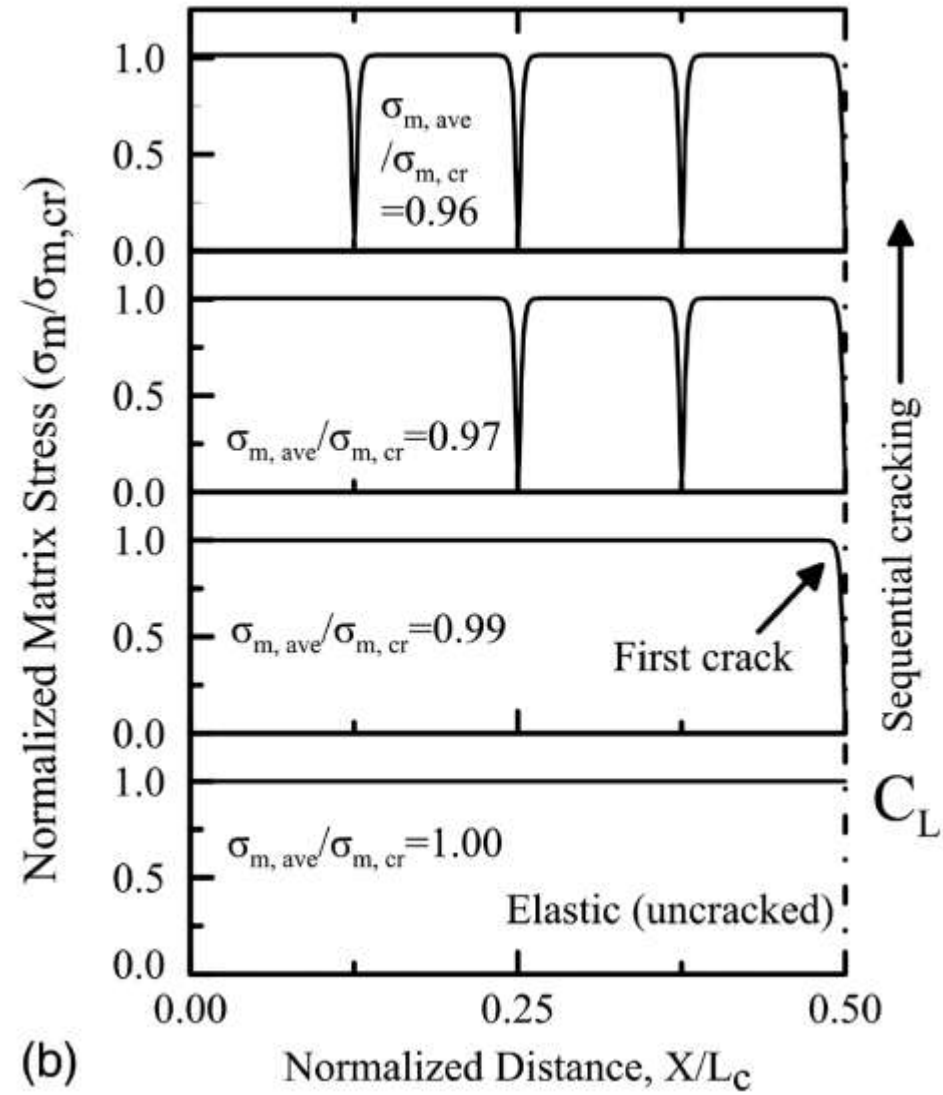
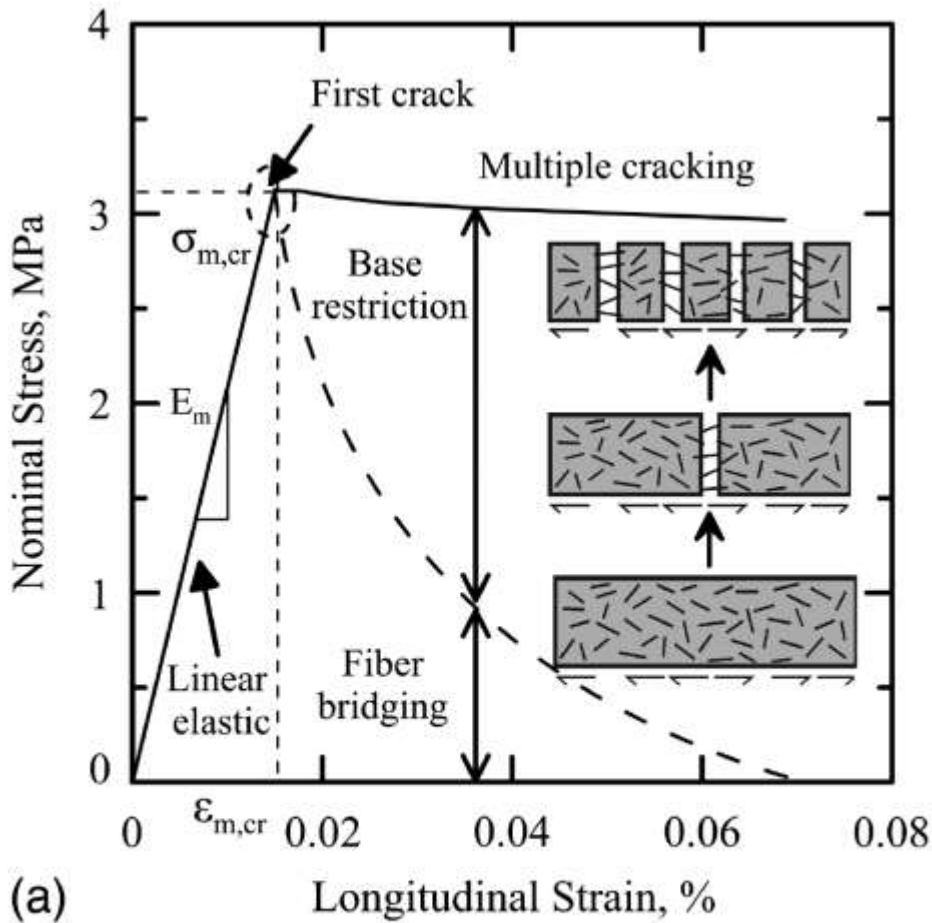
# Pavimentos continuos con fibras



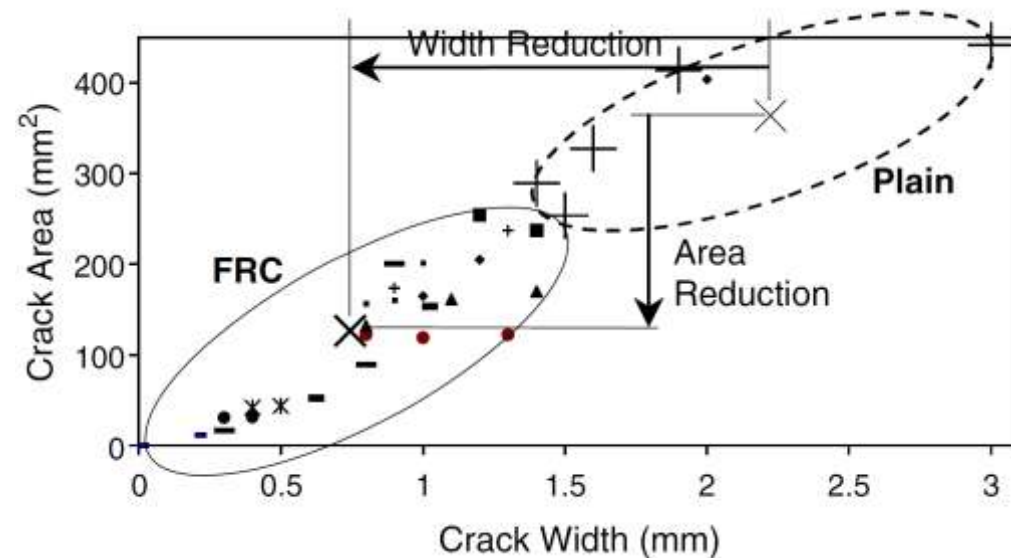
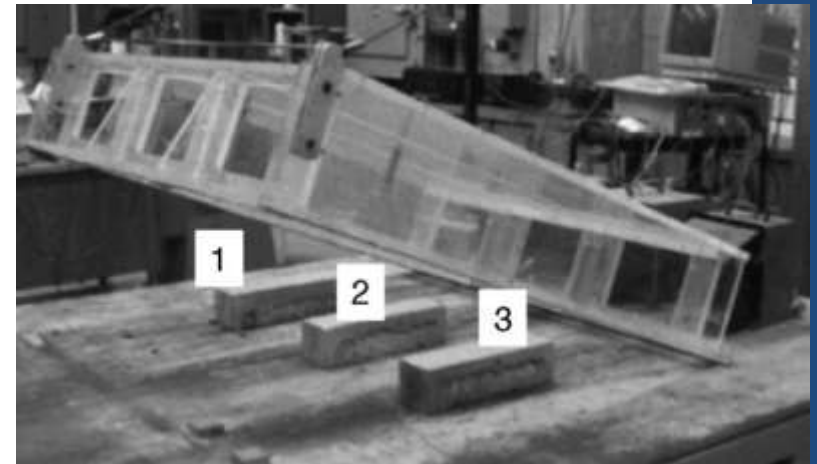
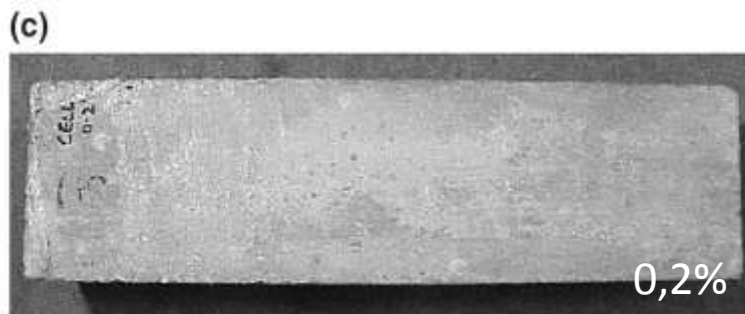
# Pavimentos continuos con fibras



# Pavimentos continuos con fibras







# Retracción Plástica (Banthia 2006)





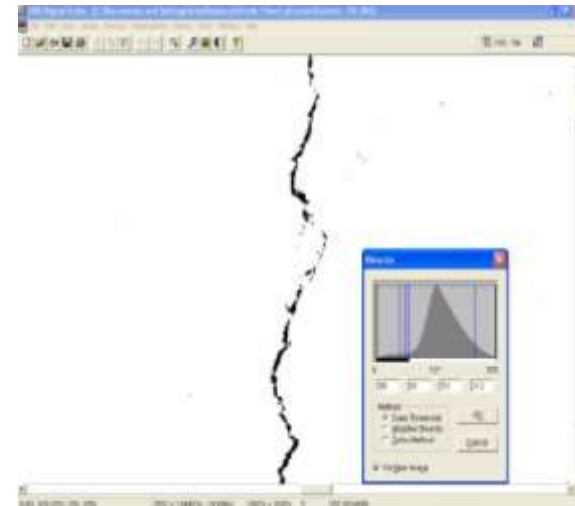
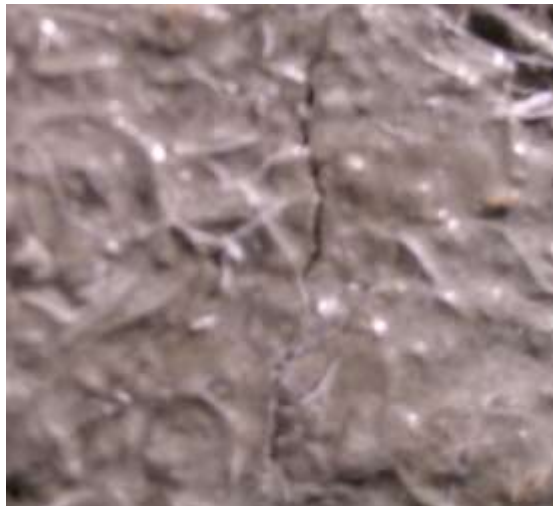
# Retracción Plástica (Banthia 2006)

Fiber		Fiber type	Diameter (denier)	Length (mm)	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Dosages investigated
F1		Monofilament	3	12.5	900	0.1, 0.2%
F2		Monofilament	6	12.5	900	0.1, 0.2 and 0.3%
F3		Monofilament	6	6.35	900	0.1, 0.2 and 0.3%
F4		Fibrillated	1000	12.5	900	0.1, 0.2 and 0.3%

Fiber type	Maximum crack width (mm)			
	0%	0.10%	0.20%	0.30%
Control	3.00			
F1, monofilament 3d-1/2"		1.32	0.18	
F2, monofilament 6d-1/2"		1.32	1.04	0.89
F3, monofilament 6d-1/4"		2.00	1.42	1.40
F4, fibrillated 1000d-1/2"		1.02	0.54	0.38

# Retracción plástica (Sivakumar, 2007)

Property	Hooked steel	Polypropylene	Glass	Polyester
Length (mm)	30	20	6	12
Diameter (mm)	0.5	0.10	0.01	0.05
Aspect ratio ( $l/d$ )	60	200	600	240
Specific gravity	7.8	0.9	2.72	1.35
Tensile strength (MPa)	1700	450	2280	970
Elastic modulus (GPa)	200	5	80	15
Failure strain (%)	3.5	18	3.6	35

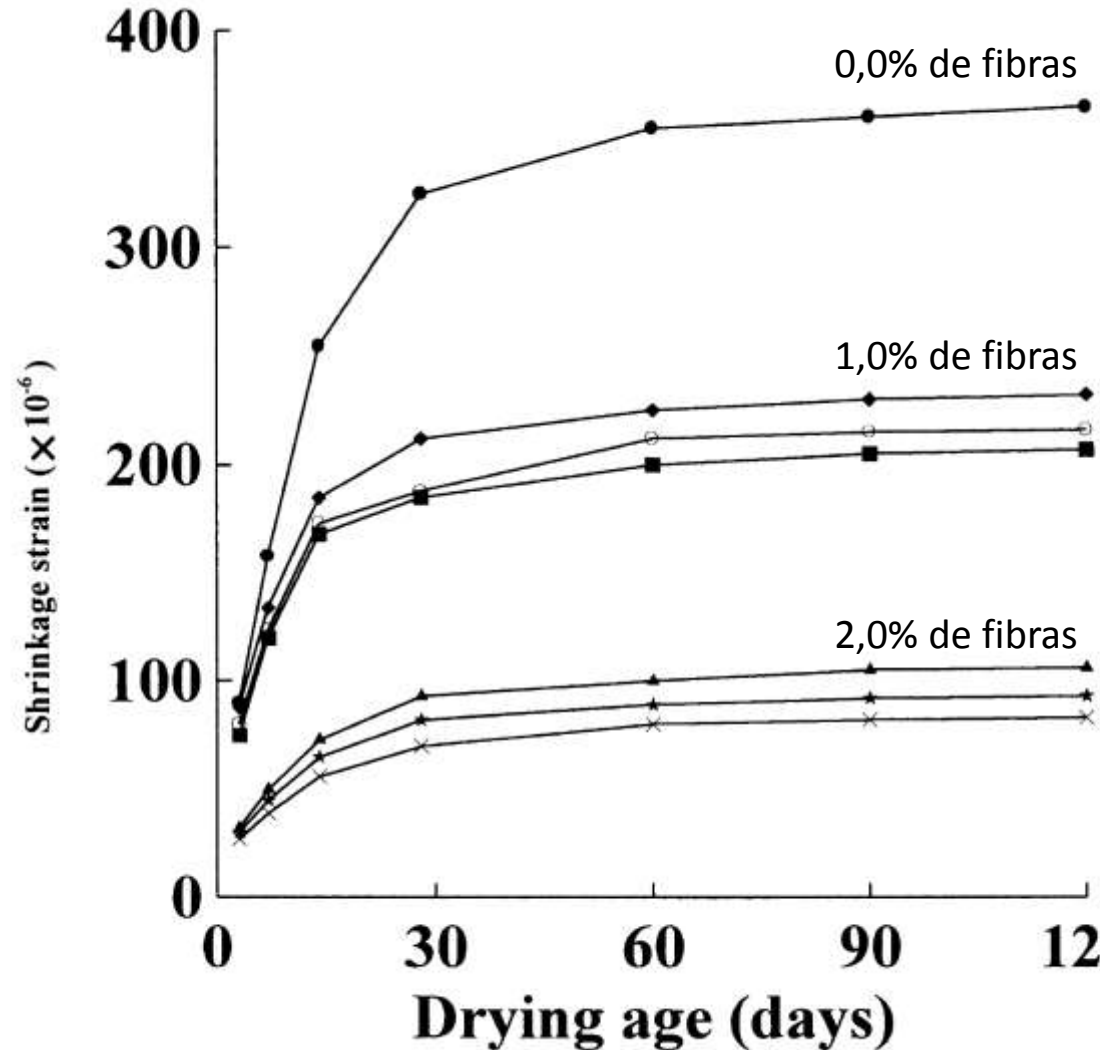


# Retracción plástica (Sivakumar, 2007)

Type of concrete	Mix ID	Volume fraction of fibre (%)	Reinforcement index ( $W_c \times L/d$ )	Time of first crack appearance (min)	Maximum crack width (mm)	Total crack length (mm)	Total crack area (mm <sup>2</sup> )
Plain concrete	C1	0	–	160	0.541	301.62	151.11
Steel fibre	HST2	0.5	2228	280	0.416	249.82	77.69
Steel + polypropylene fibre	HSPP3	0.38 + 0.12	1855	360	0.285	239.84	29.98
Steel + polypropylene fibre	HSPP6	0.25 + 0.25	1541	420	0.174	217.20	16.29
Steel + polypropylene fibre	HSPP9	0.12 + 0.38	1127	–	0.134	95.45	4.96
Polypropylene fibre	PP12	0.5	747	–	0.080	48.65	1.80
Steel + polyester fibre	HSPO4	0.38 + 0.12	1906	540	0.211	146.47	14.93
Steel + polyester fibre	HSPO7	0.25 + 0.25	1670	600	0.173	104.75	7.22
Steel + polyester fibre	HSPO10	0.12 + 0.38	1332	–	0.124	51.44	2.31
Polyester fibre	PO13	0.5	1008	–	0.081	6.23	0.18
Steel + glass fibre	HSGL5	0.38 + 0.12	3937	300	0.362	271.91	59.82
Steel + glass fibre	HSGL8	0.25 + 0.25	5228	360	0.261	189.48	33.15
Steel + glass fibre	HSGL11	0.12 + 0.38	6753	420	0.195	117.46	15.38
Glass fibre	GL14	0.5	8178	–	0.130	53.19	4.94

# Retracción por secado (Sun, 2001)

- Ensayo según ASTM C490
- Sistemas híbridos son mejores que monofibra



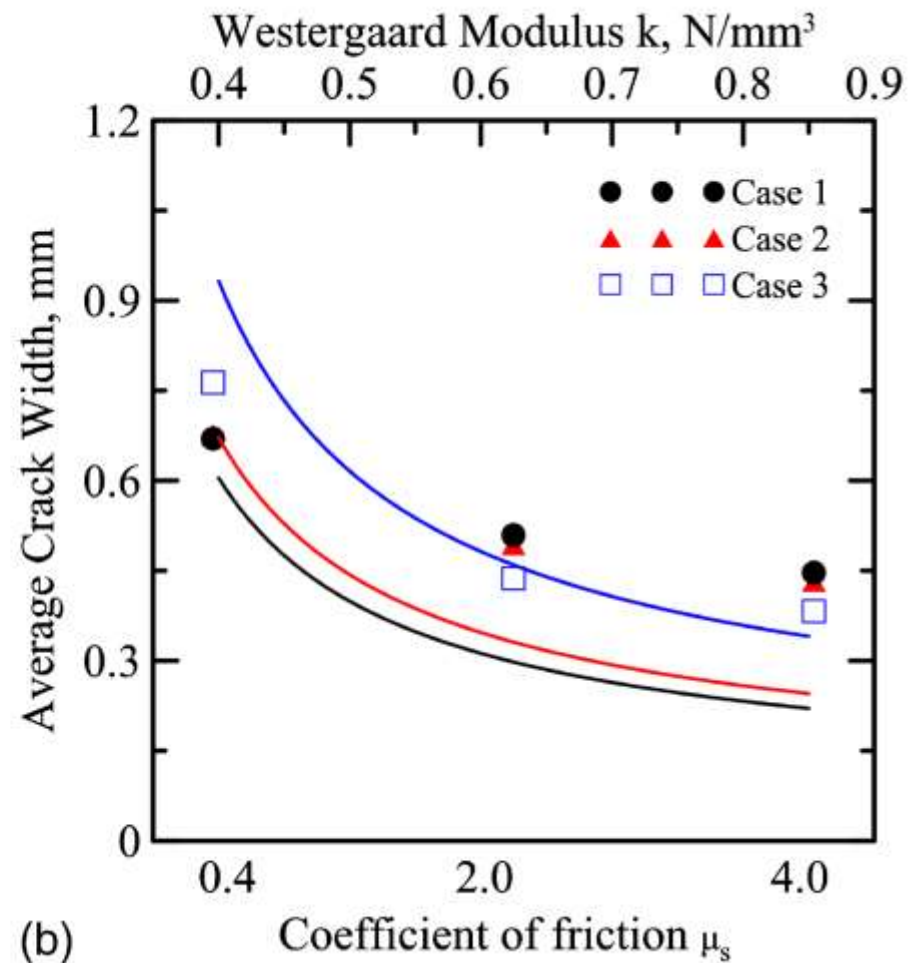
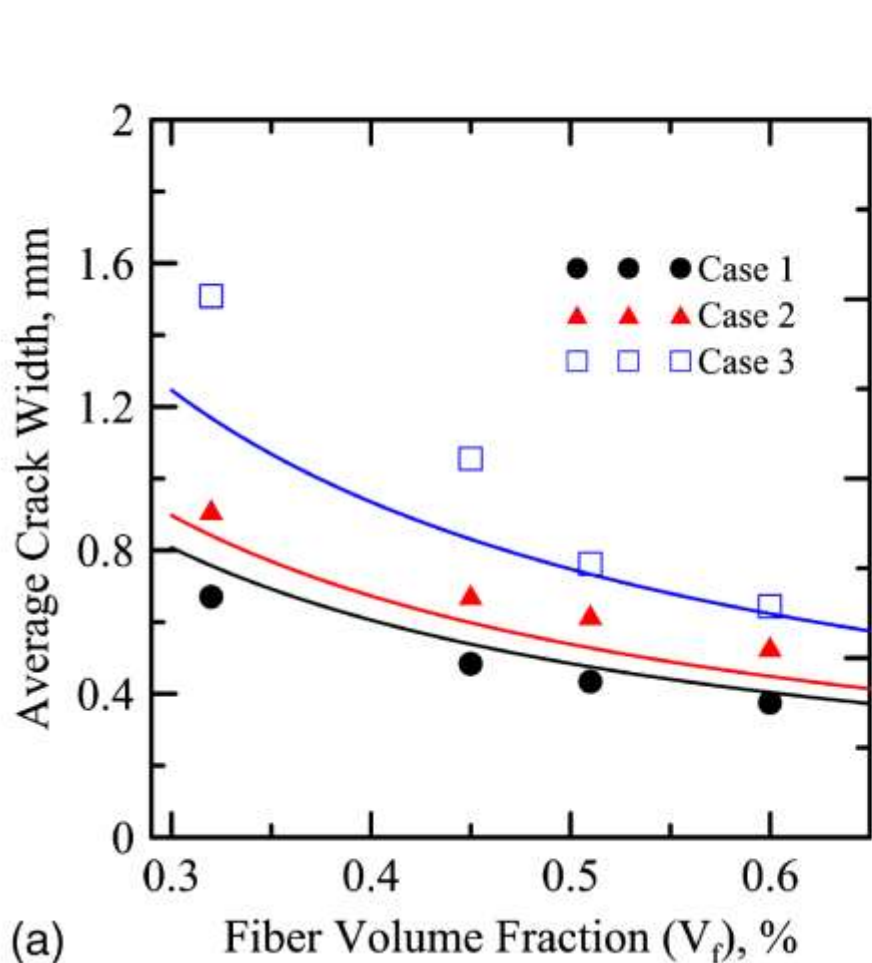
# Retracción (Destrée, 2016)

$$\omega = \frac{L\lambda\varepsilon_R}{\frac{V_f L_f}{d} \mu_s (1 + \mu_m)^{2.5}}$$

Diagram illustrating the equation for Retraction ( $\omega$ ), with variables and their corresponding physical meanings:

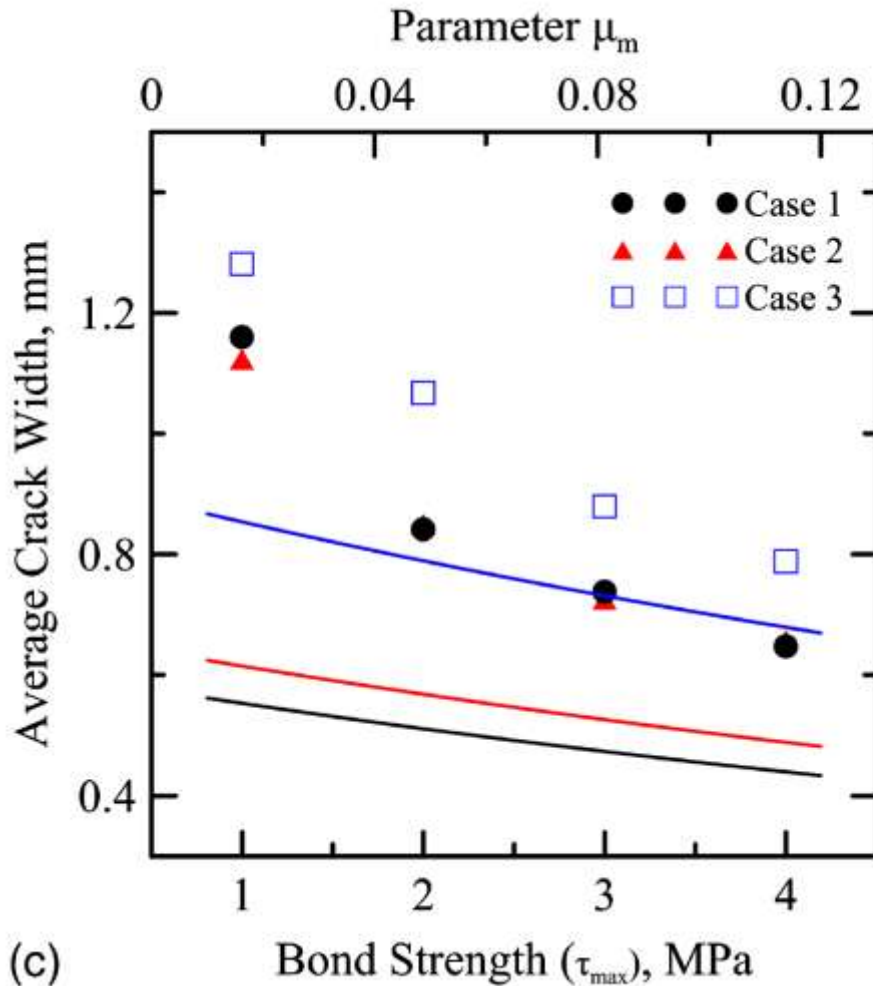
- $\omega$ : Abertura de la fisura
- $L\lambda\varepsilon_R$ : Deformación por retracción
- $\frac{V_f L_f}{d}$ : Volume de fibra
- $\mu_s$ : Fricción con terreno
- $(1 + \mu_m)^{2.5}$ : Factor de eficiencia de la fibra

# Retracción (Destrée, 2016)

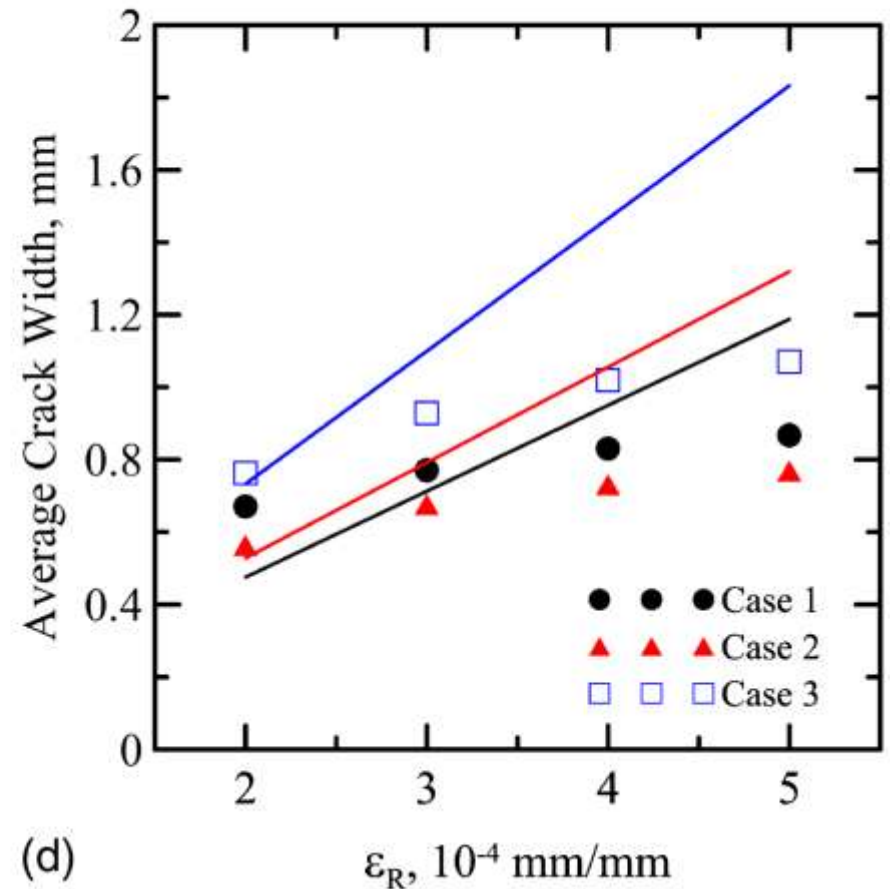




# Retracción (Destrée, 2016)

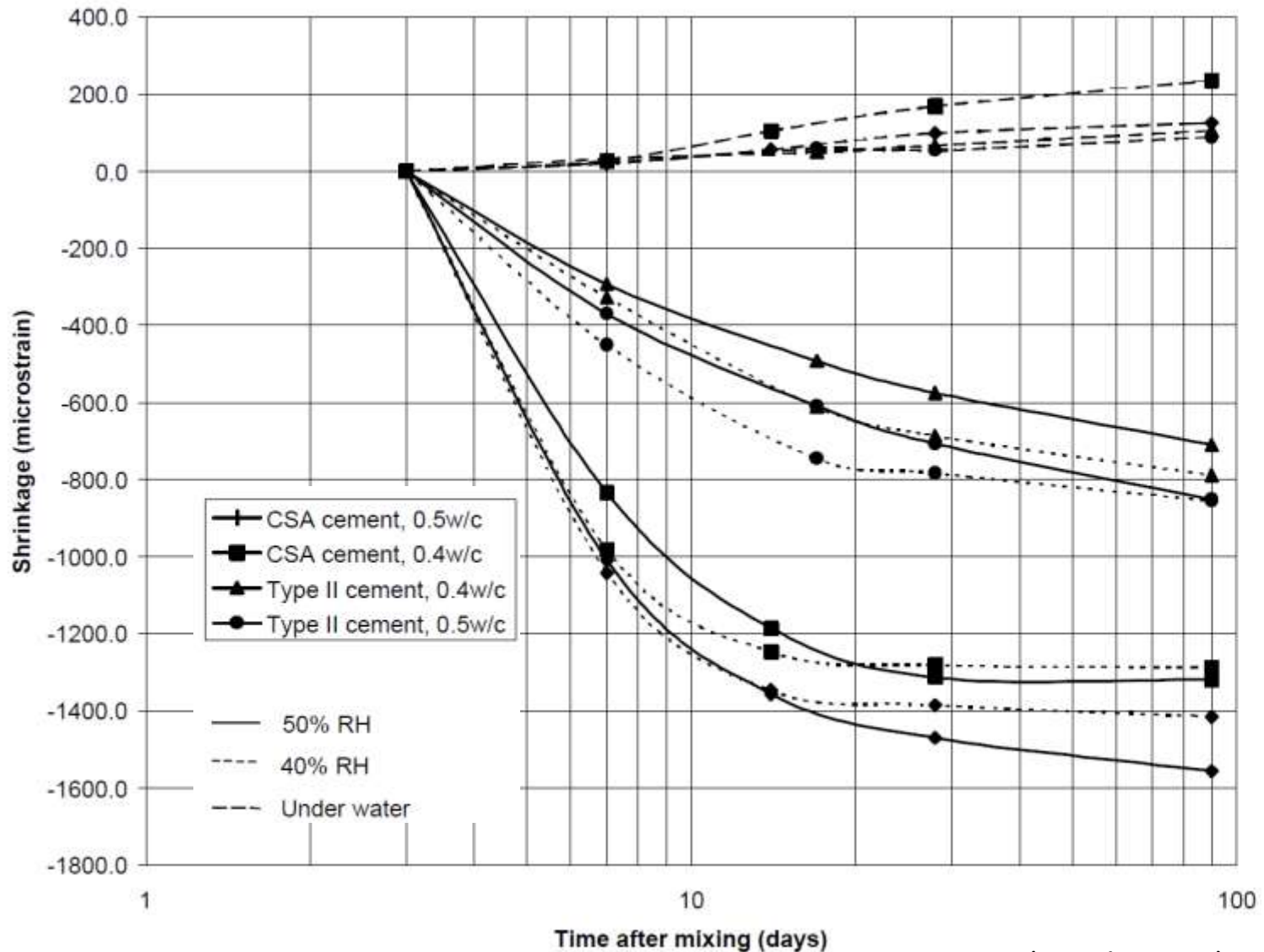


(c)



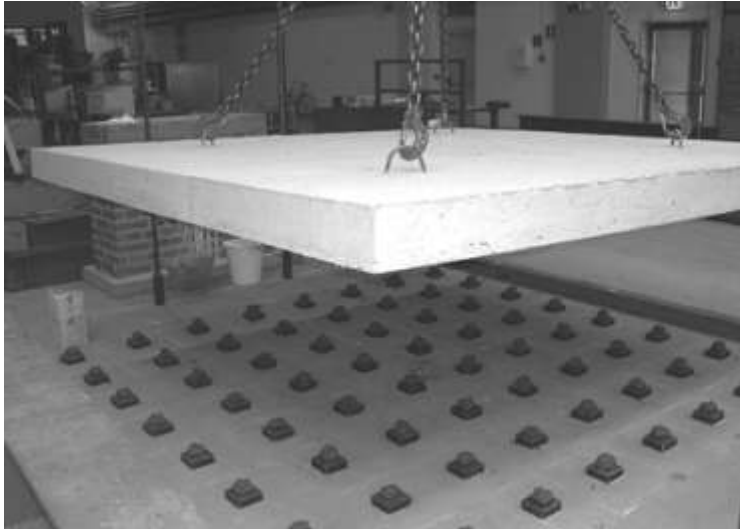
(d)




# Retracción

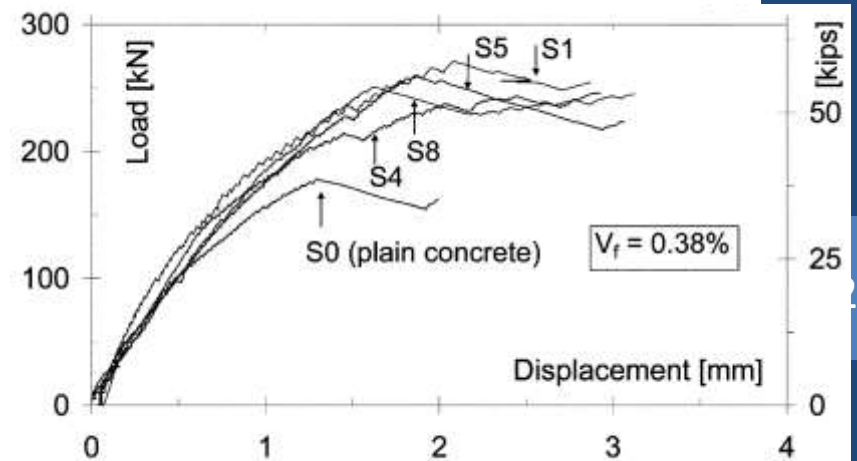


(Heath, 1999)

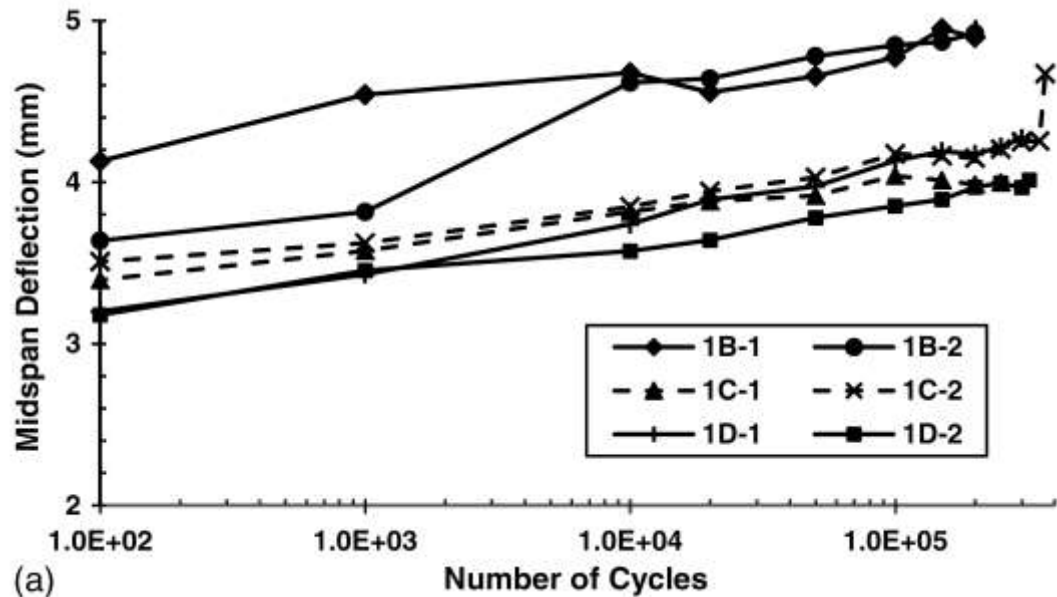
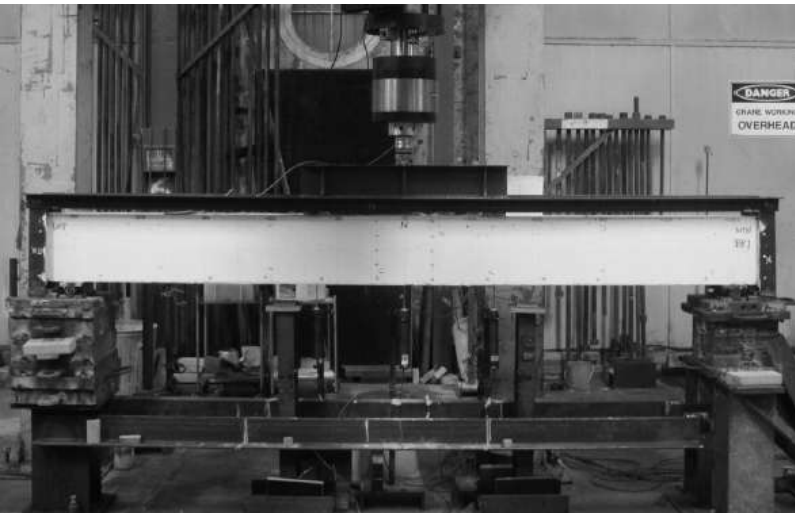
# Aumento de la capacidad portante (Sorelli, 2006)



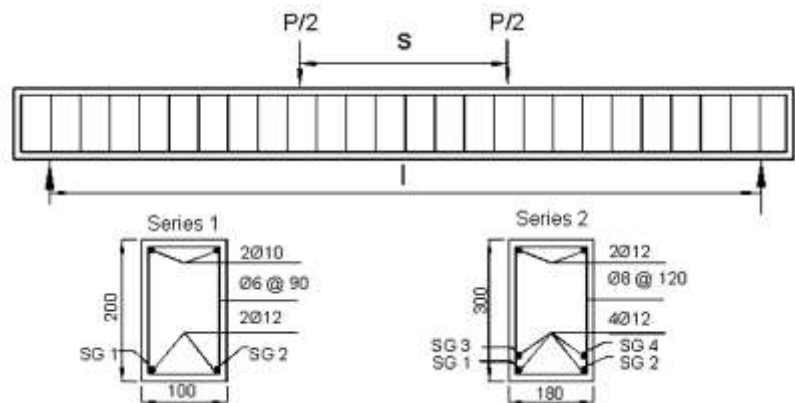
Fiber code	$L_f$ , mm (in.)	$\phi_f$ , mm (in.)	$L_f/\phi_f$	$f_{ft}$ , MPa (ksi)	Fiber shape
50/1.0 <sup>(a)</sup>	50 (1.97)	1.00 (0.0394)	50.0	1100 (159.5)	
50/1.0 <sup>(b)</sup>	50 (1.97)	1.00 (0.0394)	50.0	1100 (159.5)	
30/0.6	30 (1.18)	0.60 (0.0236)	50.0	1100 (159.5)	
20/0.4	20 (0.79)	0.40 (0.0157)	50.0	1100 (159.5)	—
12/0.18	12 (0.47)	0.18 (0.0071)	66.6	1800 (261.1)	—



# Fatiga (Pervez, 2014)

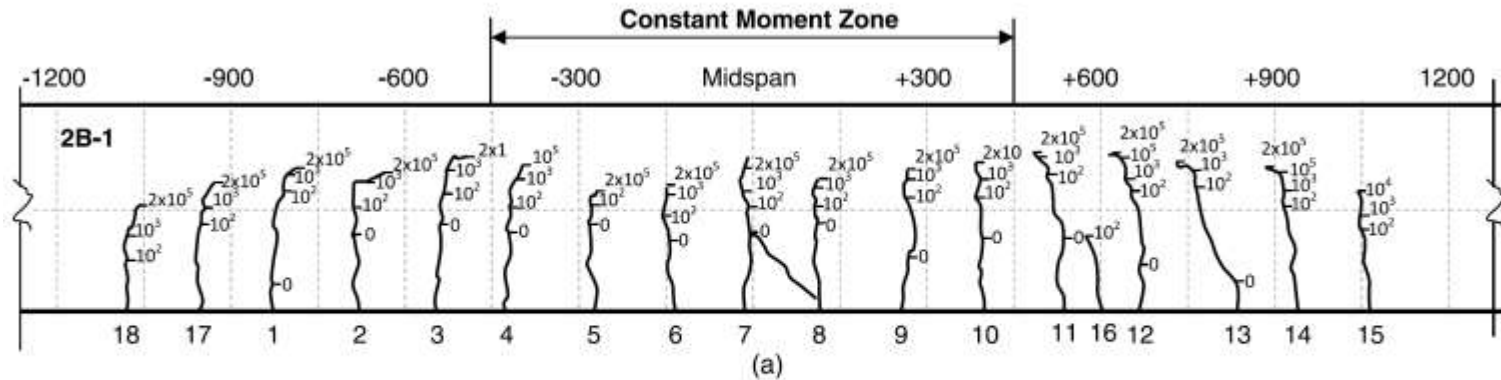


(a)

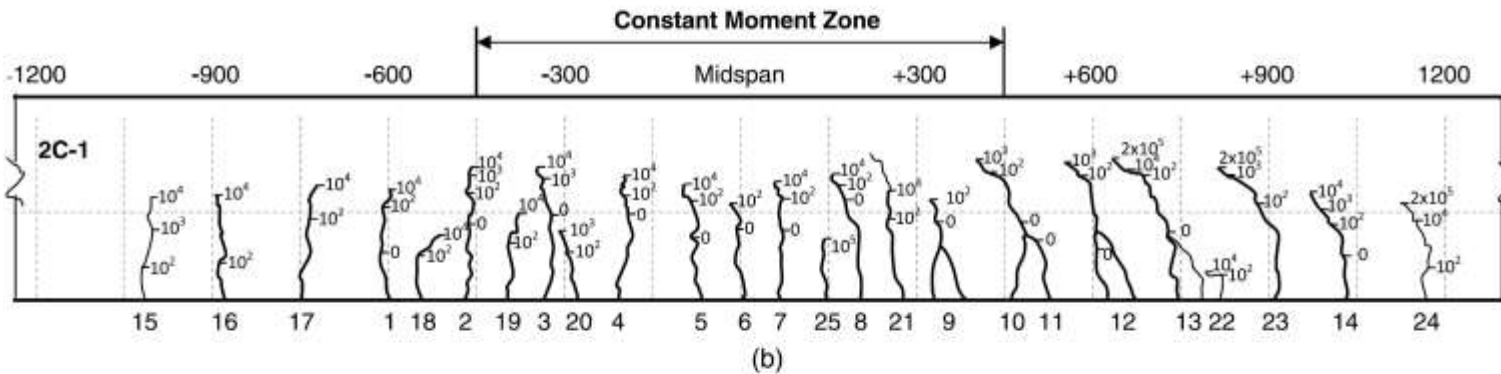


# Fatiga (Pervez, 2014)

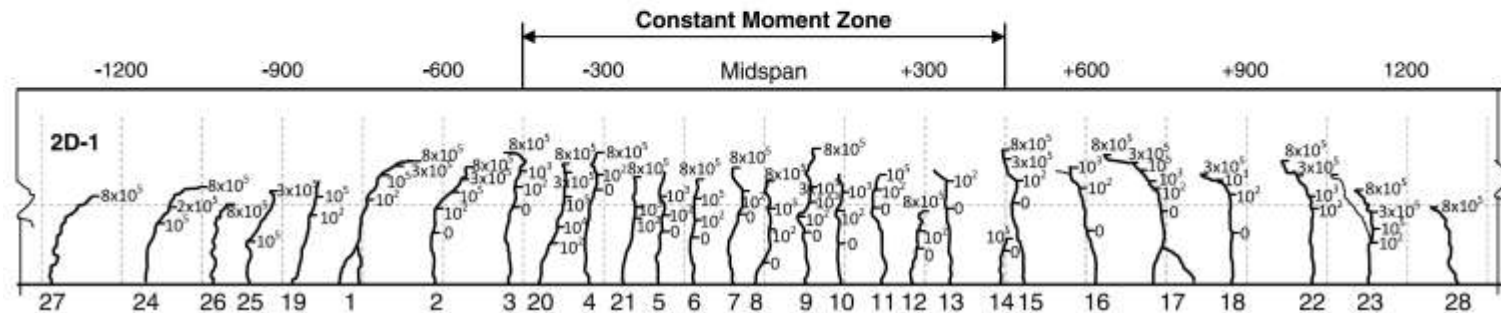
RC+0,0% SF



RC+0,4% SF

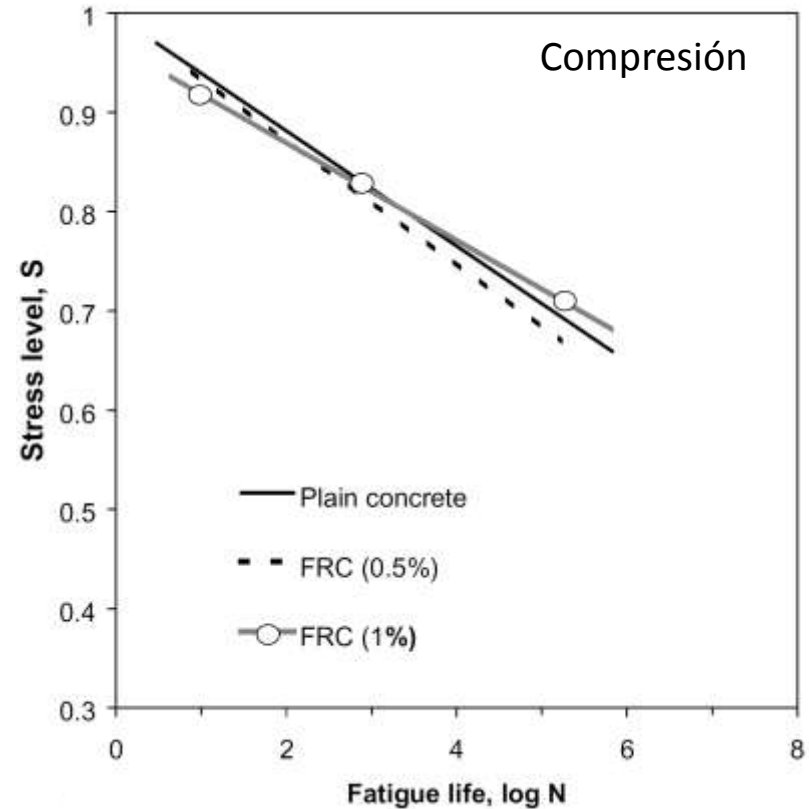
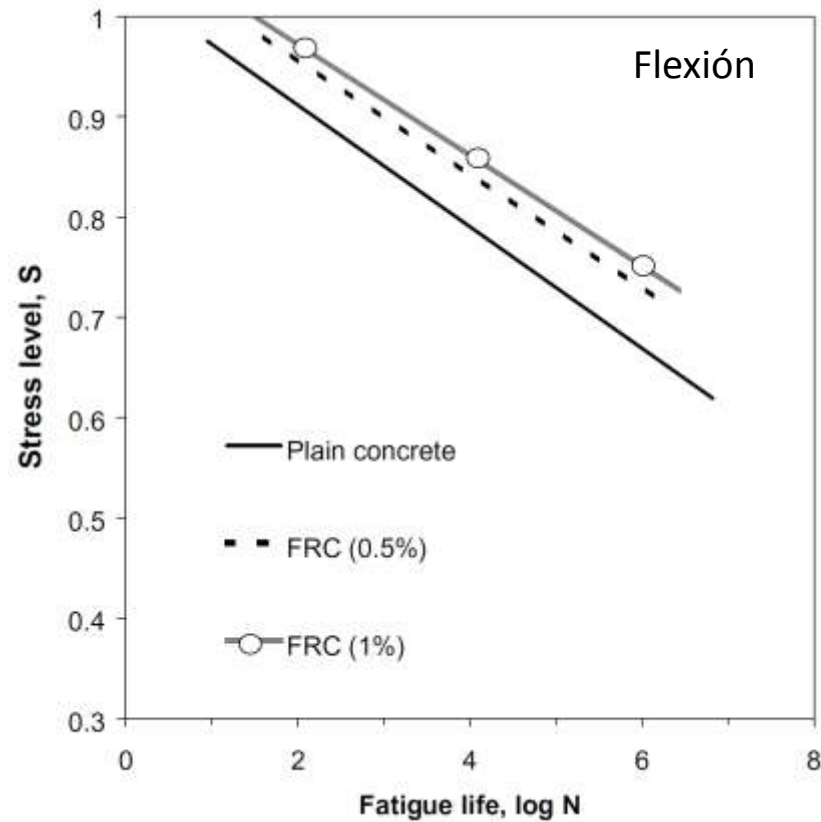


RC+0,8% SF



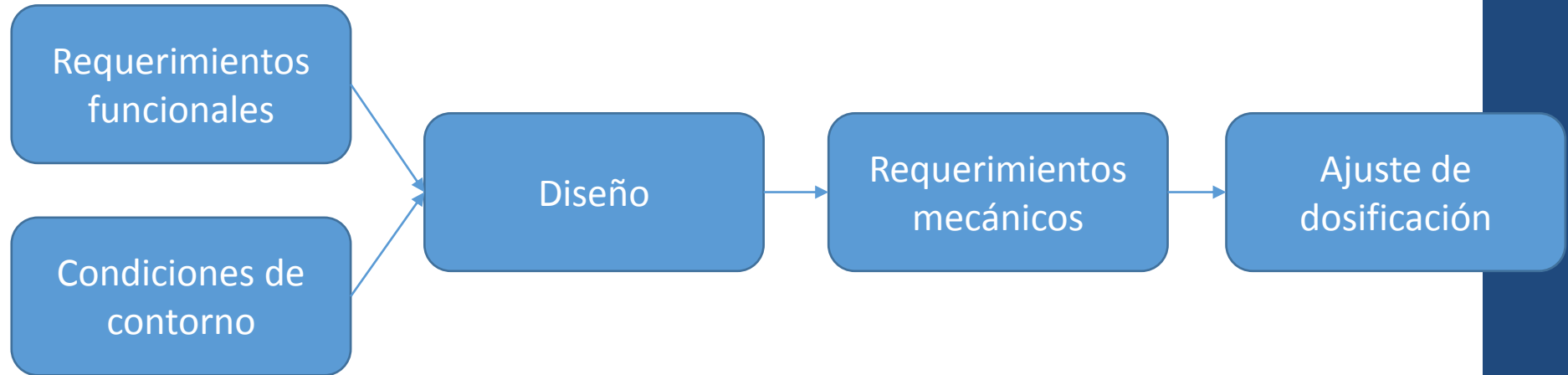


# Fatiga (Lee, 2004)

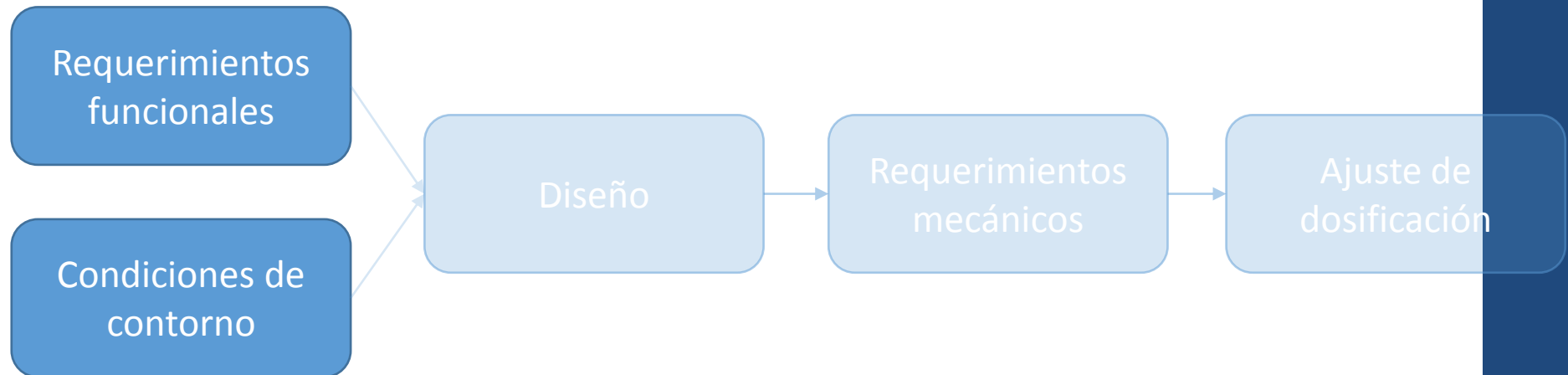




# Procedimientos de diseño

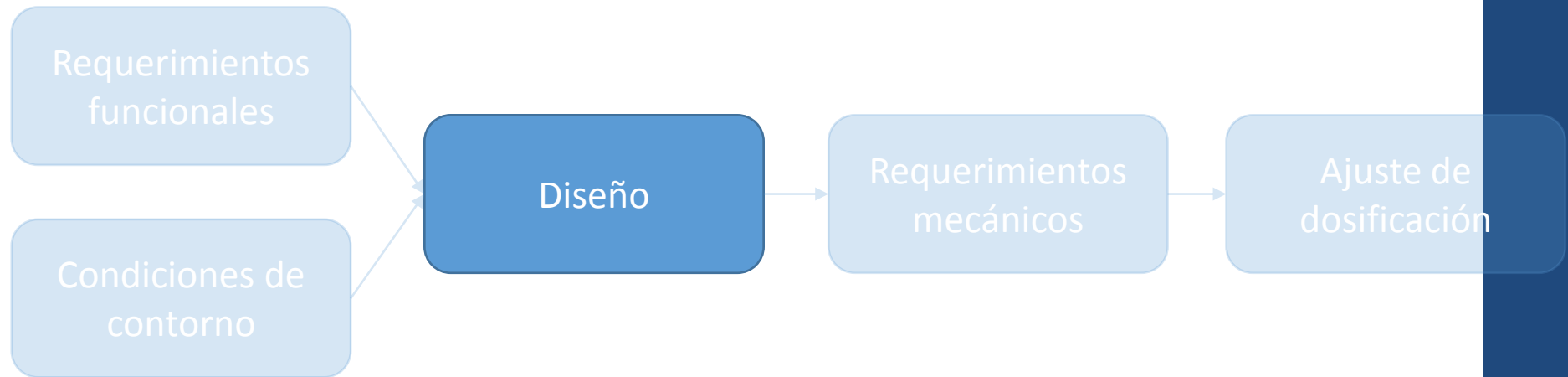


# Procedimientos de diseño



- Cargas aplicadas (estáticas+dinámicas)
- Condiciones ambientales de exposición
- Deflexiones máximas
- ...

# Procedimientos de diseño



- Códigos o recomendaciones (TR34: Concrete industrial ground floors; ACI 360R-10: Guide to Design of Slabs-on-Ground; Model Code 2010)
- Análisis estructural → Plástico (FEM, seccional, LR)

# Procedimientos de diseño

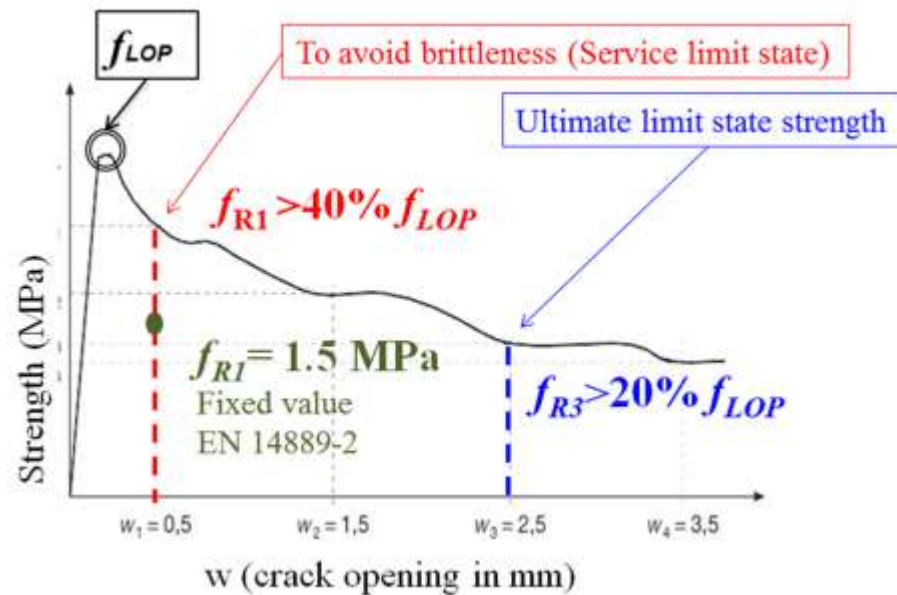
Requerimientos  
funcionales

Diseño

Requerimientos  
mecánicos

Ajuste de  
dosificación

Condiciones de  
contorno



# Procedimientos de diseño

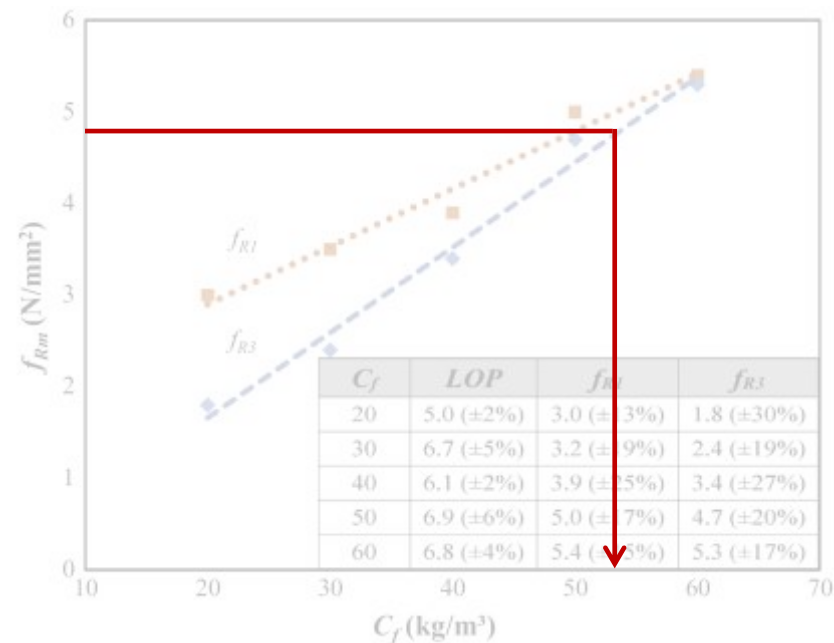
Requerimientos  
funcionales

Condiciones de  
contorno

Diseño

Requerimientos  
mecánicos

Ajuste de  
dosificación



# Dosificación y fabricación

- La adición de fibras al hormigón conduce a una pérdida de la trabajabilidad
- En la producción del concreto las fibras se podrían considerar como un árido de bajo coeficiente de forma.

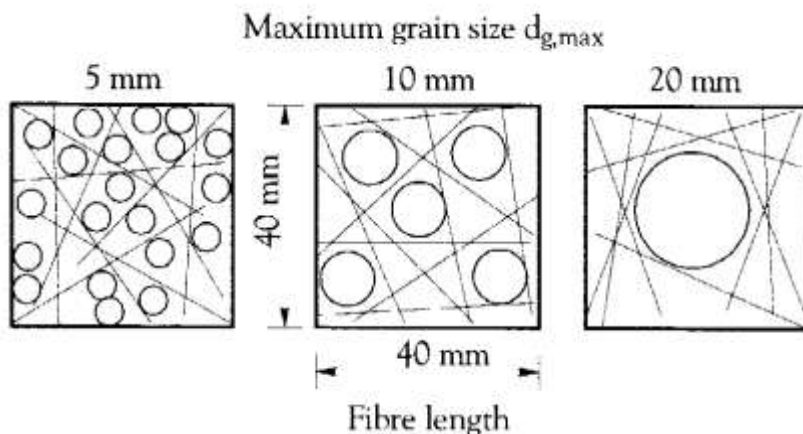




# Dosificación y fabricación

- **Criterios a considerar en la dosificación**

1. Árido influye en la dispersión fibra y cohesión (se limita el tamaño máximo de árido –preferiblemente rodados y mayor contenido de finos para garantizar compacidad-).



## Limitaciones:

- ✓ 2/3 de la longitud de la fibra
- ✓ 1/5 del lado menor del elemento
- ✓ 3/4 de la distancia libre entre barras de armado

# Dosificación y fabricación

- **Criterios a considerar en la dosificación**
  2. Contenido de cemento (los HRF requieren de un % de pasta de cemento en volumen mayor que un H. Convencional)
  3. Relación  $a/c$  influye en la porosidad (resistencia y durabilidad)
  4. El uso de aditivos reductores de agua (superplastificantes) contribuye a compensar la pérdida de trabajabilidad.
  5. El uso de adiciones (puzolanas naturales, cenizas volantes y humo de sílice) mejoran la impermeabilidad y la cohesión.

# Dosificación y fabricación

- **¿Cómo se produce el HRF?**

En la fabricación del HRF las fibras se pueden añadir con los áridos o al final, después de haber añadido el resto de componentes. Esto también dependerá del tipo de amasadora (automática o manual).



# Recepción y puesta en obra

- Control de calidad en recepción
- La puesta en obra puede ser mediante: cuba, bomba o proyección



- La puesta en obra del HRF no presenta dificultades frente a otros hormigones pero sí **influye en la orientación de las fibras**
- La **compactación debe ser externa** para evitar inducir orientaciones preferentes de la fibra

# Recepción y puesta en obra

- **Importancia planificación** en función del uso



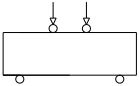
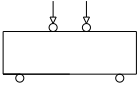
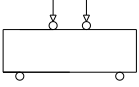
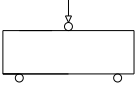
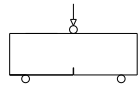
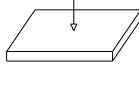
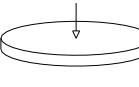

# Recepción y puesta en obra

- **Importancia planificación** en función del uso



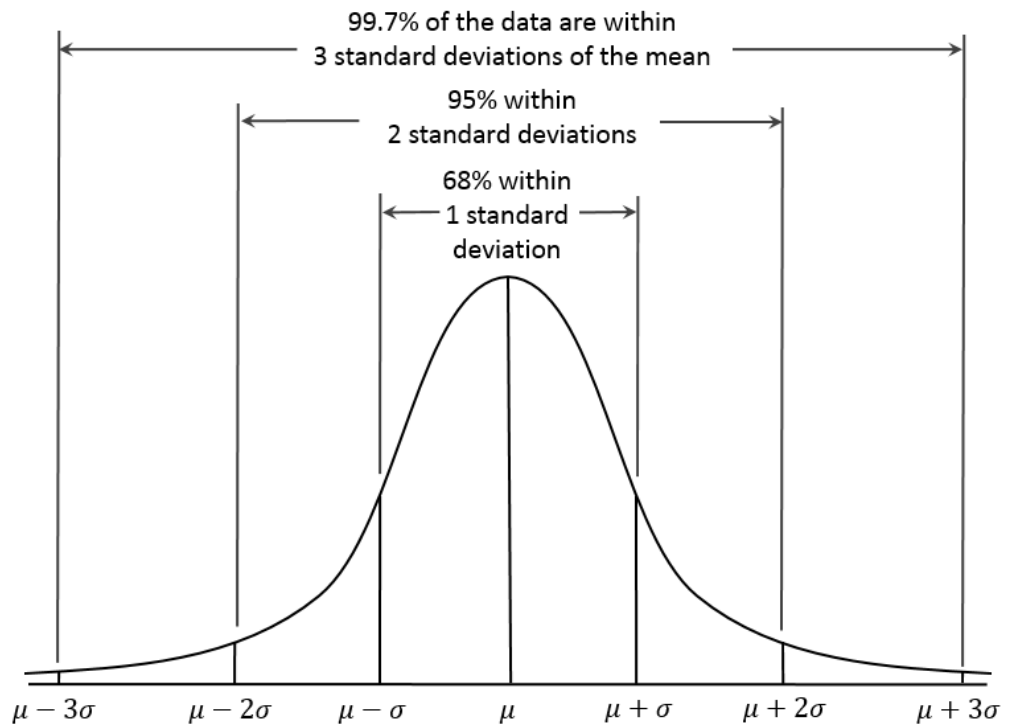


# Control de calidad

TEST	SCHEME	Volume (cm <sup>3</sup> )	Failure area (cm <sup>2</sup> )	Specific Failure area	CV (%)
4-point bending test (ASTM C-1018)		3.500	10x10 = 100	0,0286	15
4-point bending test (NBN B 15-238)		16.875	15x15 = 225	0,0133	12-20
4-point bending test (EFNARC)		5.156	7,5x12,5 = 93,8	0,0182	20
3-point bending test		5.156	7,5x12,5 = 93,8	0,0182	17
3-point bending test (RILEM)		12.375	15x12,5 = 187,5	0,0152	15-25
EFNARC Panel		36.000	8x(32,5x10) = 2.597,7	0,0722	9
Round determinate panel test		37.700	3x(40x7,5) = 900	0,0238	6-13
Double punching test (DPT) BCN		2.650	3x(7,5x15) = 337,5	0,1274	13

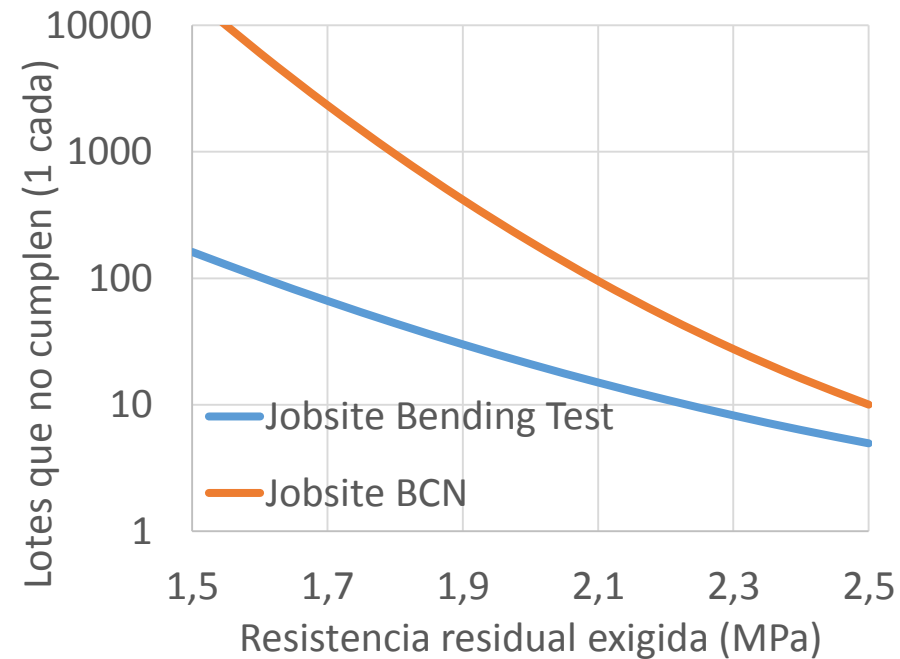
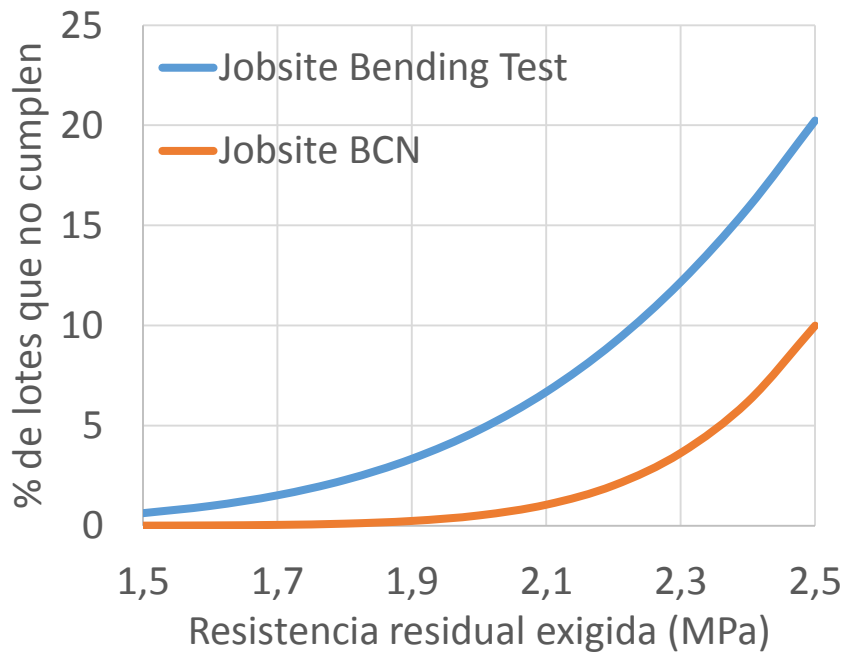
# Control de calidad

- Cual es la importancia de seleccionar un ensayo adecuado?
- Cómo puede afectar a la obra?



# Control de calidad

- 2 pavimentos identicos usando el mismo hormigón con  $f_r$  de 3 MPa:
  - 1 control de calidad con el ensayo de Viga (CV=20%)
  - 1 control de calidad con el ensayo BCN (CV=13%)

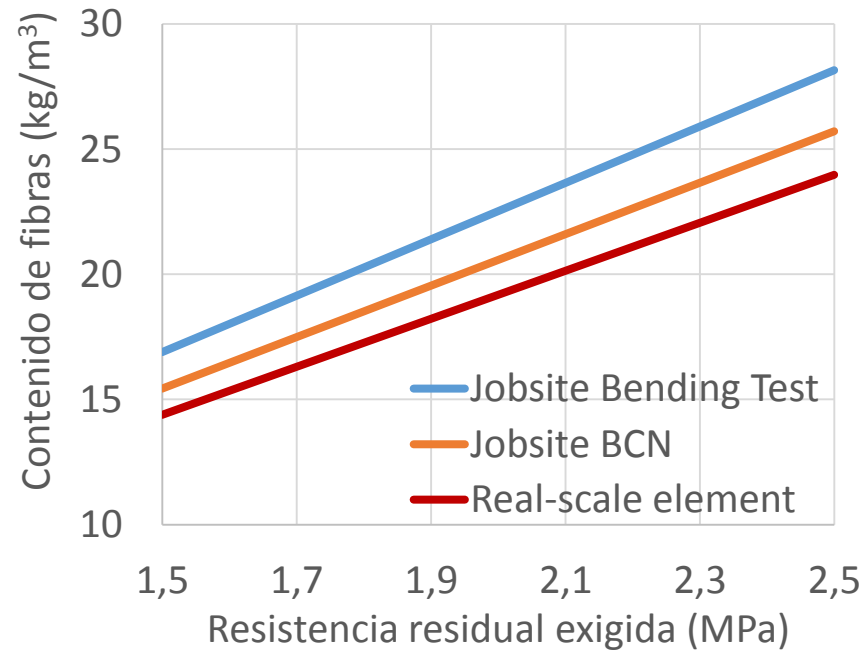


Conflictos con la propiedad

# Control de calidad

- 2 pavimentos identicos usando el mismo hormigón con  $f_r$  de 3 MPa:
  - 1 control de calidad con el ensayo de Viga (CV=20%)
  - 1 control de calidad con el ensayo BCN (CV=13%)

$$f_r = 0.118 \cdot (\text{Contenido de fibras})$$

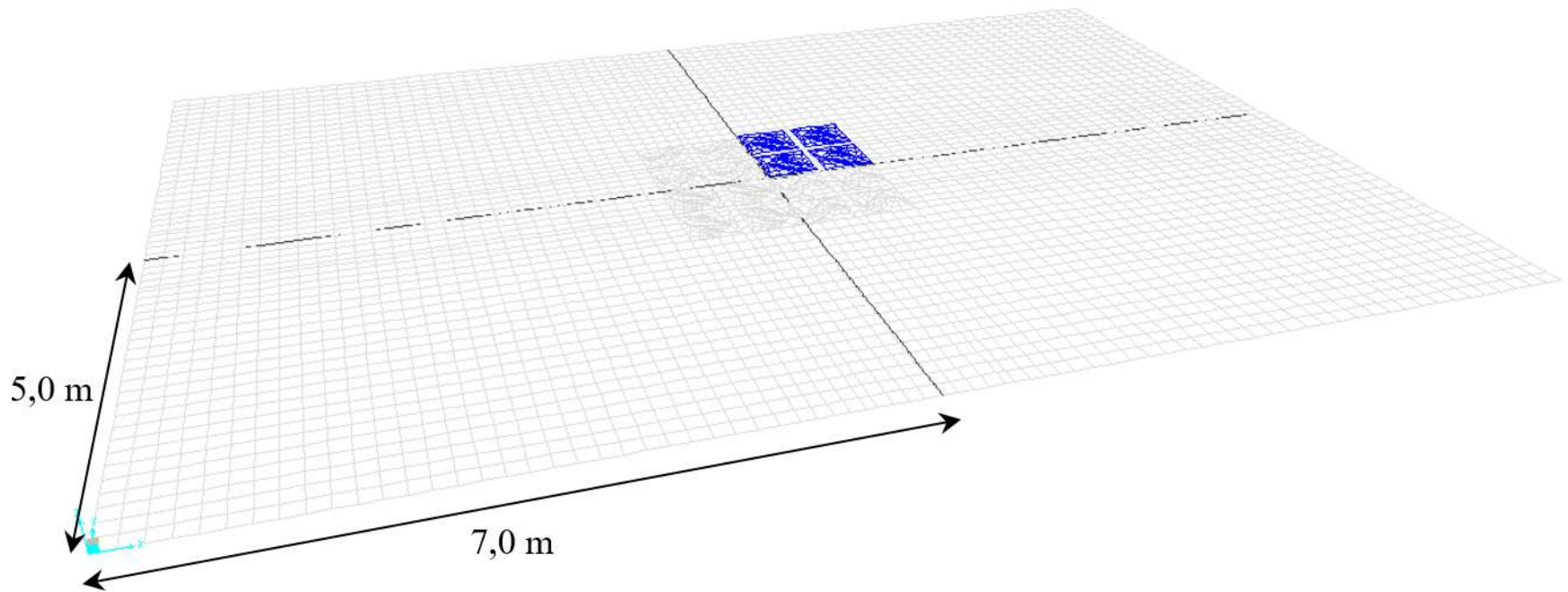


9% ↓ consumo de fibras

# Caso tipo

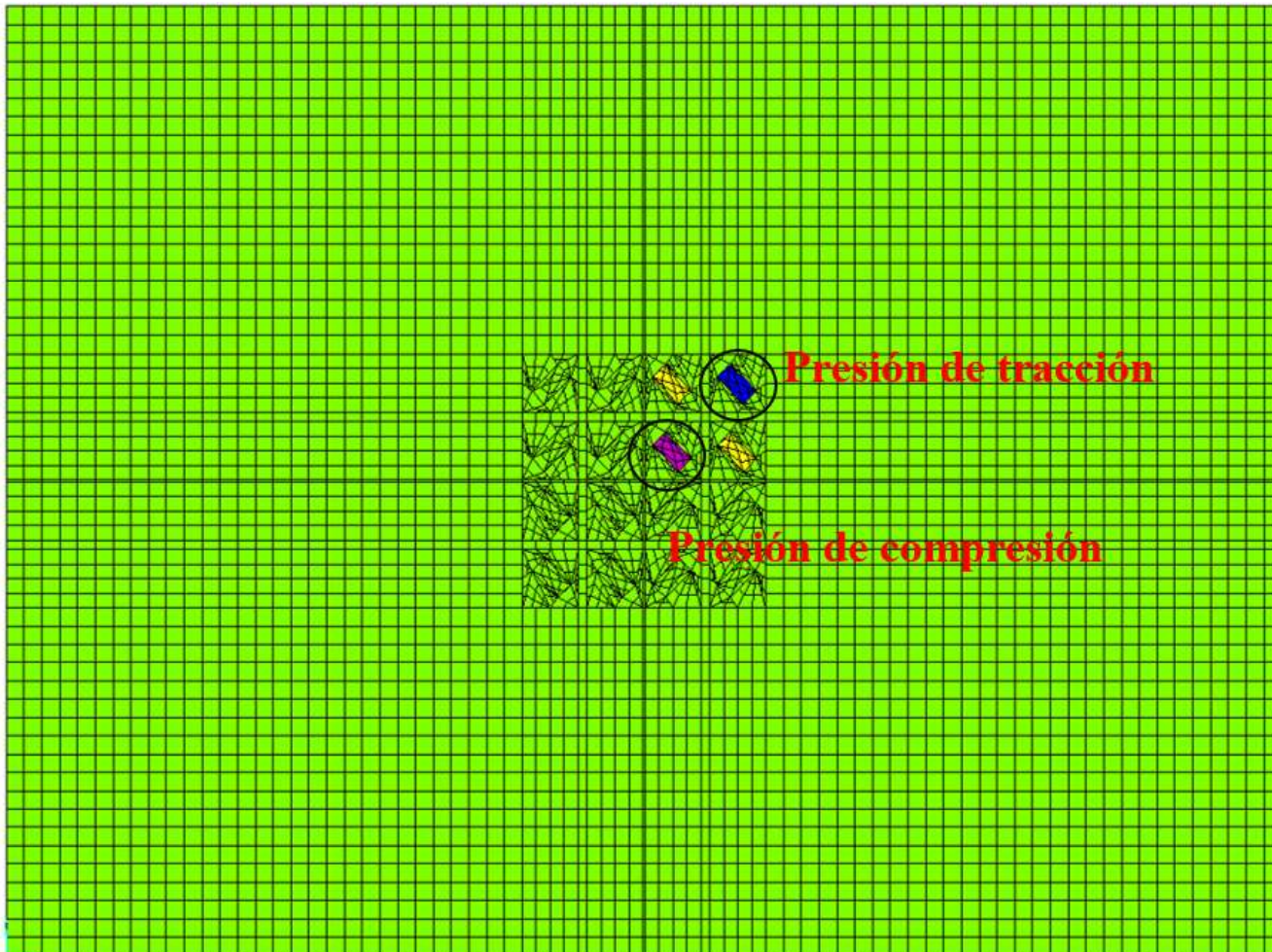
- Diseño de pavimento industrial en planta de fabricación de coches: 85.000 m<sup>2</sup>
- Diseño en estado límite de servicio según ACI 360-06
- Cargas de gran magnitud debido a la presencia de robots
- Libertad de posición de los Robots
- Solución original con doble mallazo (no viable por aspectos de tiempo)

# Caso tipo

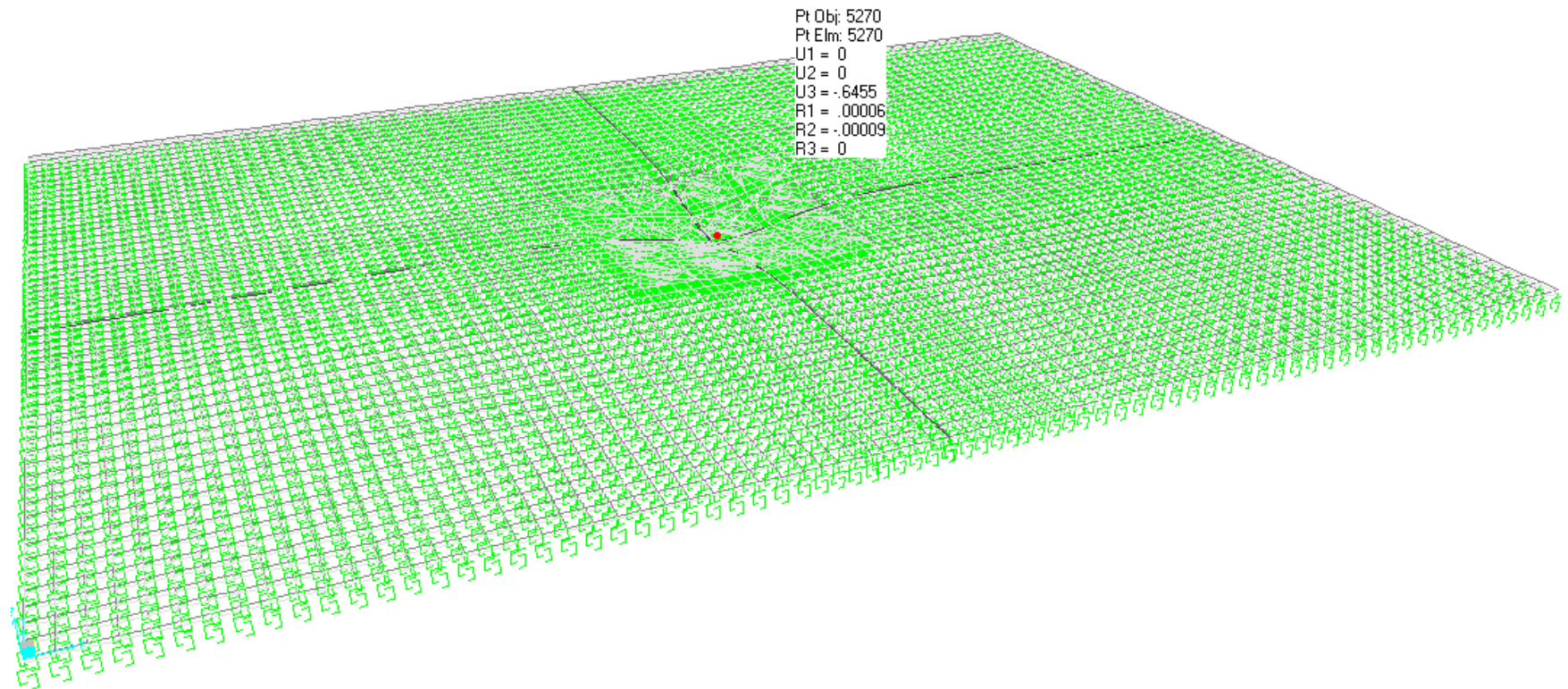




# Caso tipo

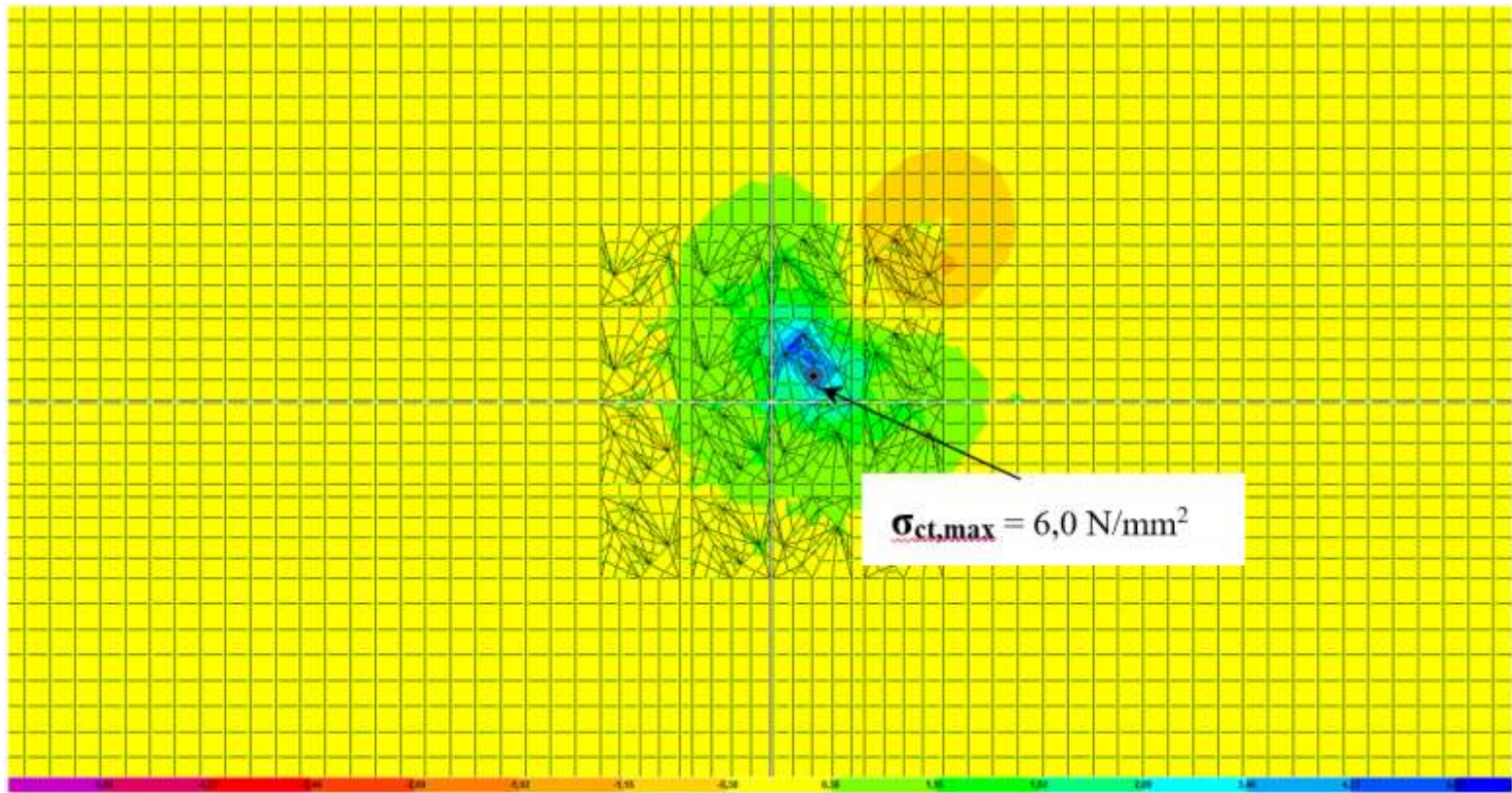


# Caso tipo

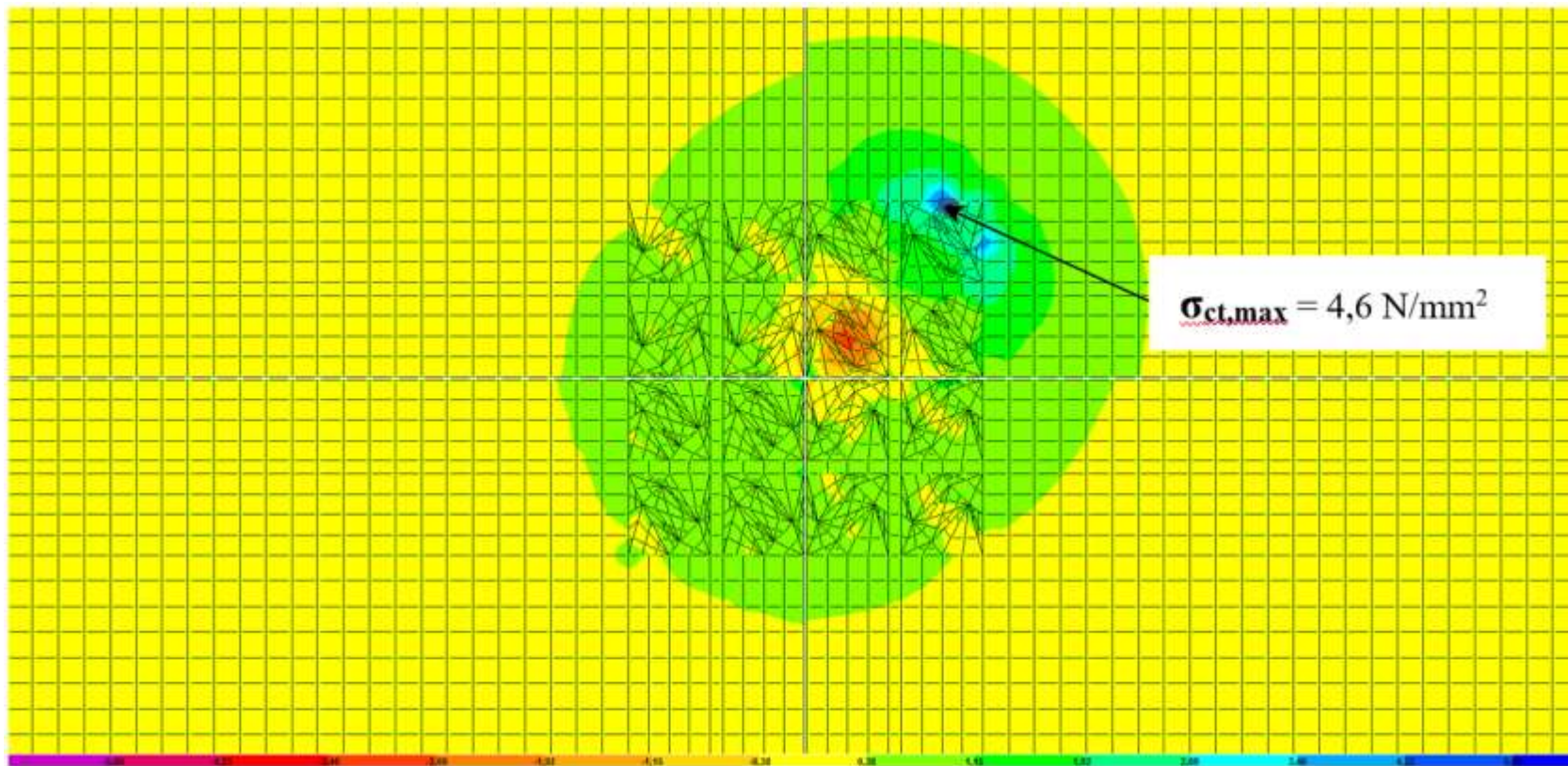




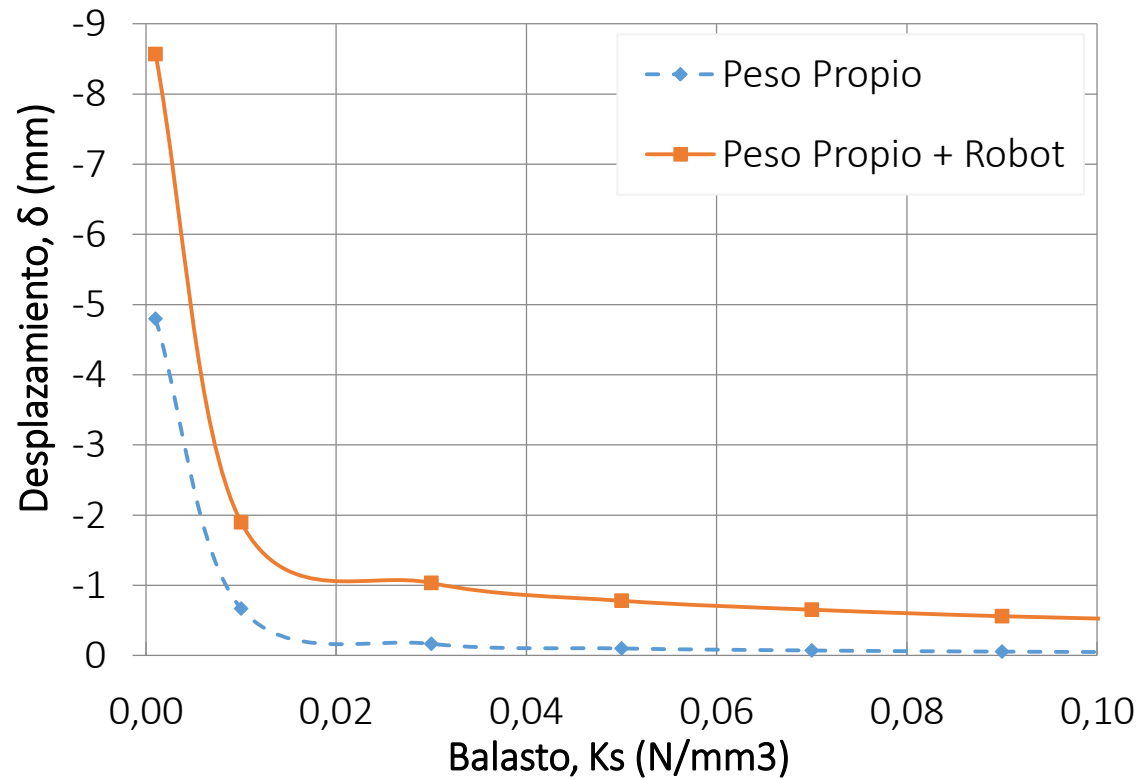
# Caso tipo



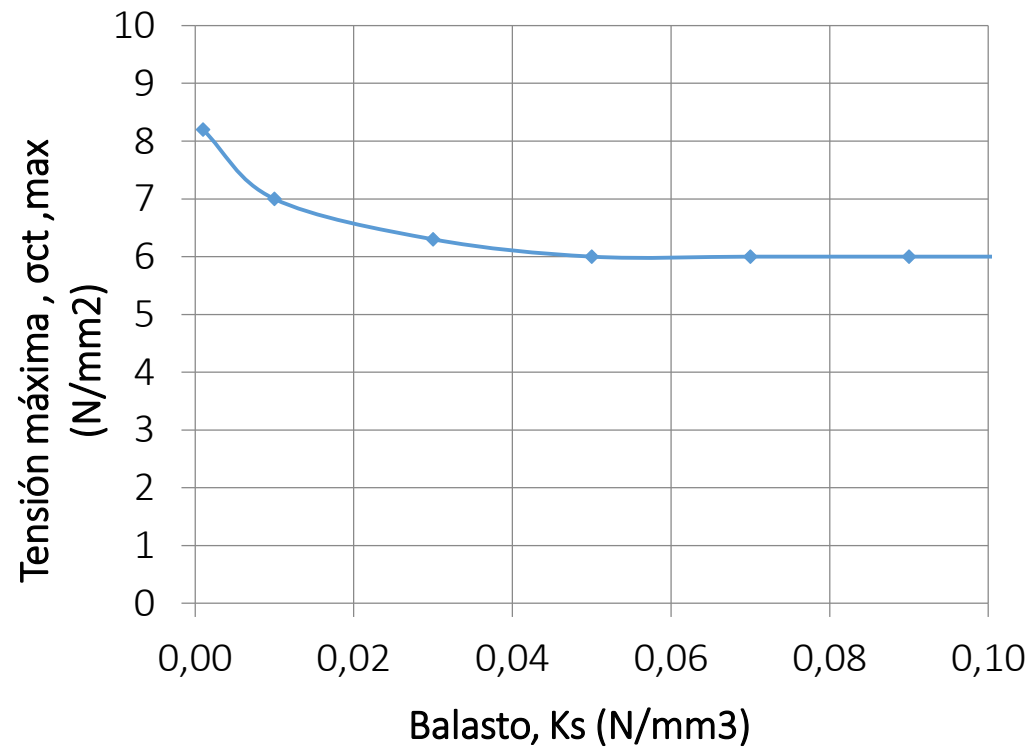
# Caso tipo



# Caso tipo



# Caso tipo





# Caso tipo



# Caso tipo



# Caso tipo





# Pavimentos de hormigón con fibras

AVANCES EN TECNOLOGÍA DEL HORMIGÓN

Montevideo, 27 de julio de 2016

Sergio H. Píalarissi Cavalaro