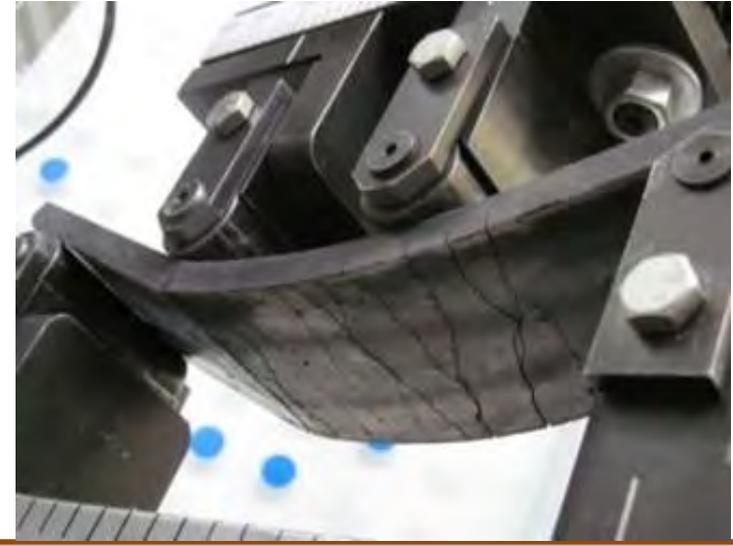




RC 2018 xvii Reunión
del **CONCRETO**

El evento del Cemento, el Concreto y los Prefabricados



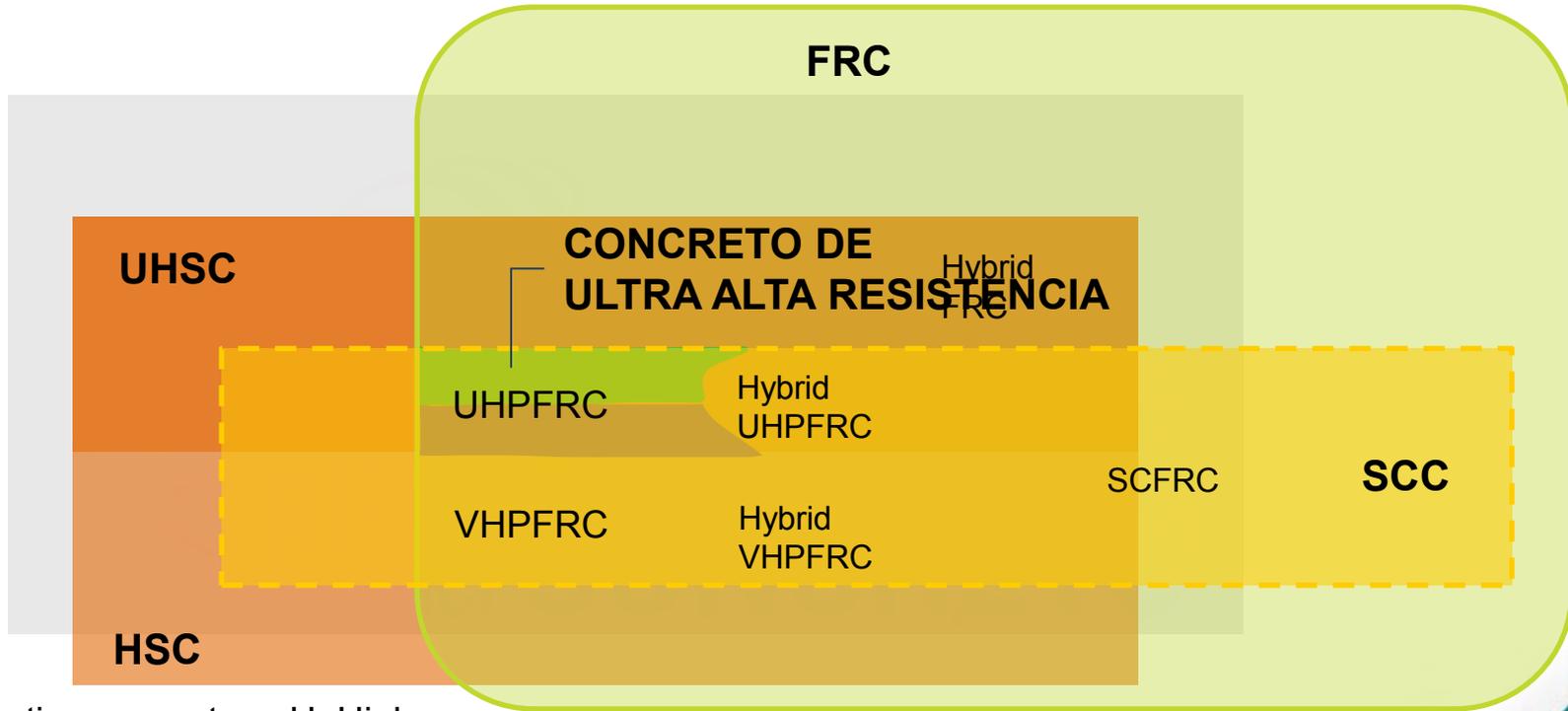
RETANDO A LA INGENIERÍA CON CONCRETOS AVANZADOS

***Ing Wilmar Echeverri Patino
Director I+D Argos
Colombia***

Contenido

1. Definición de los **Concretos Avanzados**.
2. Como está compuesto el **Concreto Avanzado**.
3. Historia y aplicaciones de **Concreto Avanzado**.
4. Aplicaciones en Colombia.

1. Definiciones concretos Avanzados.



SIGLAS:

SCC: Self-compacting concrete
 FRC: Fiber reinforced concrete
 P: Performance

H: High
 VH: Very High
 UH: Ultra high

Serna R et al, 2012

1. Definiciones concretos Avanzados

UHPC – UHPFRC

ACI 239

Un concreto con un desempeño y **combinaciones especiales** que no puede ser logrado con materiales y **combinaciones convencionales**, colocación y curados convencionales.

FHWA

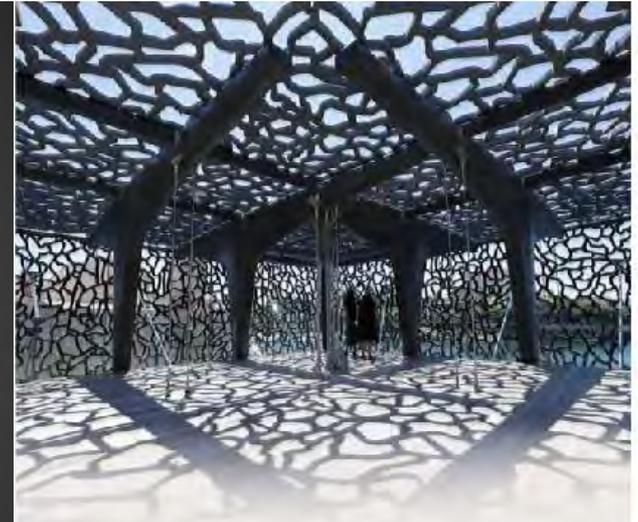
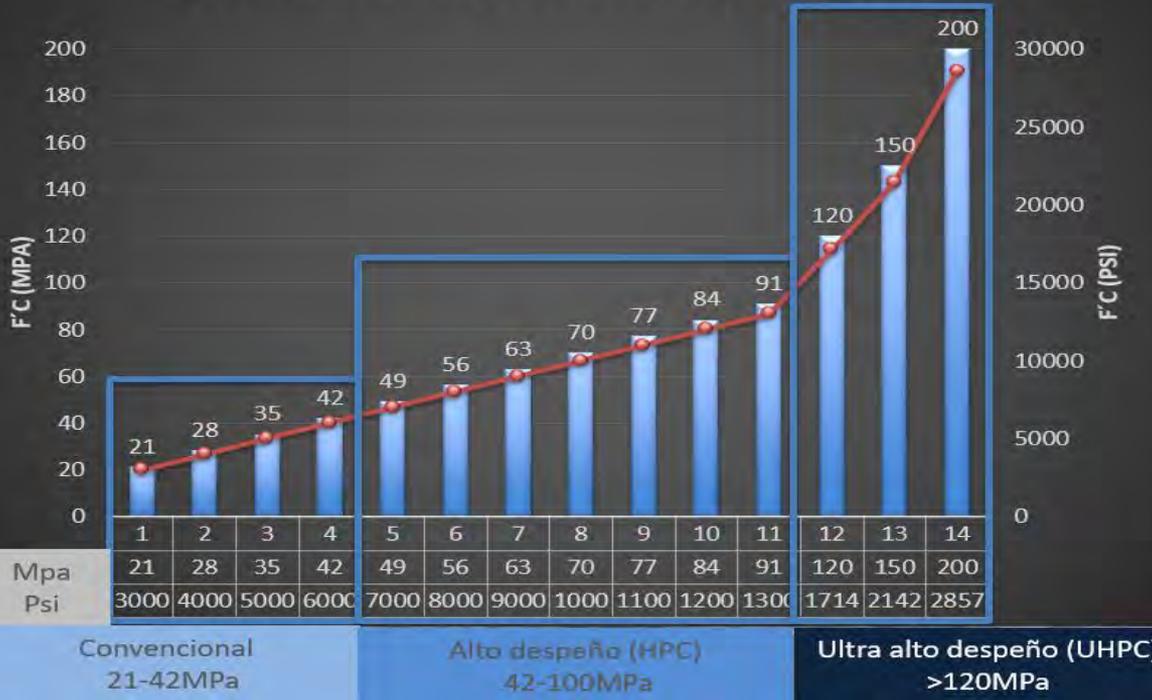
Un tipo especial de compuesto cementicio que posee mayores **resistencias mecánicas a Compresión , flexión y tracción** , útil para ser usado en obras de infraestructura.

Namman R

Se define como un tipo de concreto reforzado con fibras que posee un comportamiento en la deformación después de la primera fisura, además posee la cualidad de ser dúctil, tiene resistencias compresión mayores a **120 MPa y tracción mayores a 7 Mpa**.

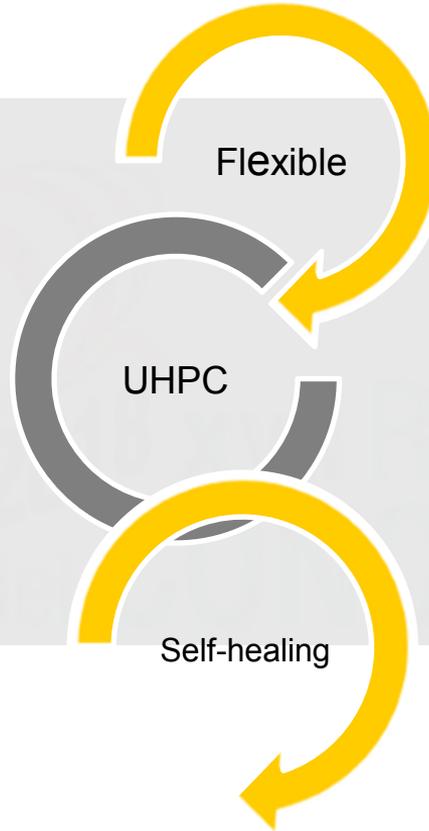
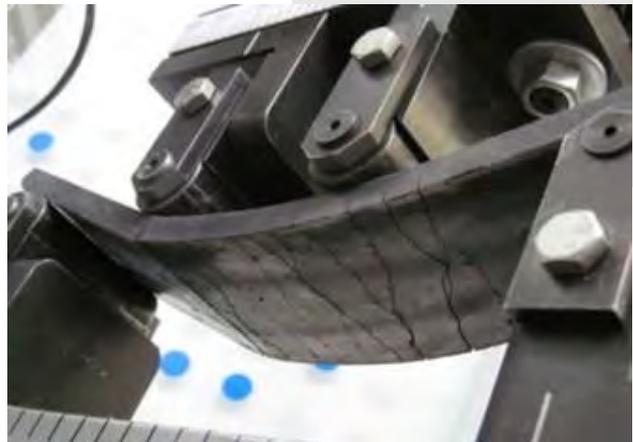
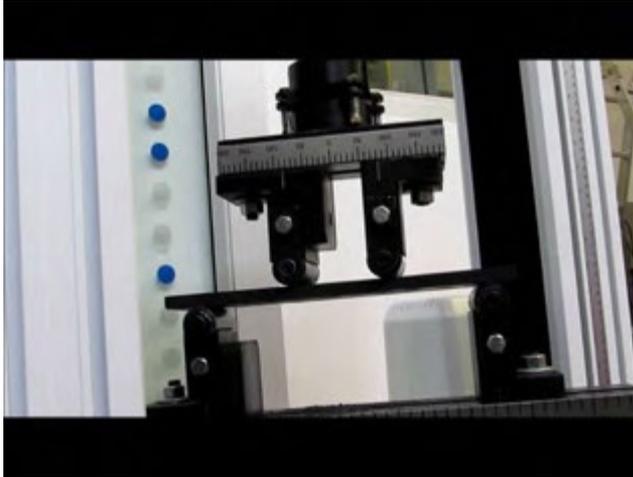
1. Definiciones concretos Avanzados – según la historia

Clasificación y resistencia concretos



El concreto de ultra alto desempeño es un material que se logra con la mezcla de componentes especiales para obtener características muy superiores a las de los concretos convencionales e incluso asemejándose a otros materiales como es el caso del acero.

1. Definiciones concretos Avanzados- según ARGOS.

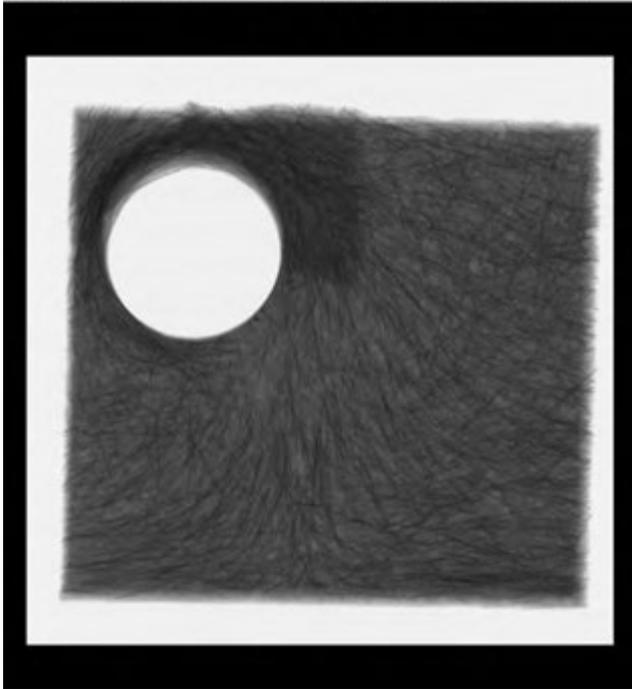


- Tenacidad/Ductilidad
- Micro-fisuración distribuida
- Deformación $\epsilon=3 - 5\%$.
- $f_t=4 - 5\text{MPa}$
- $f'_c: 30 - 40\text{MPa}$

- Compacidad
- Tenacidad/ductilidad
- Micro-fisuración distribuida
- Deformación $\epsilon=0,8 - 1\%$
- $f_t=7 - 10\text{MPa}$
- $f'_c \geq 150\text{MPa}$

- Auto reparación en estructuras de concreto
- Reducción en mantenimiento
- Aumento de la durabilidad
- Aumento del ciclo de vida

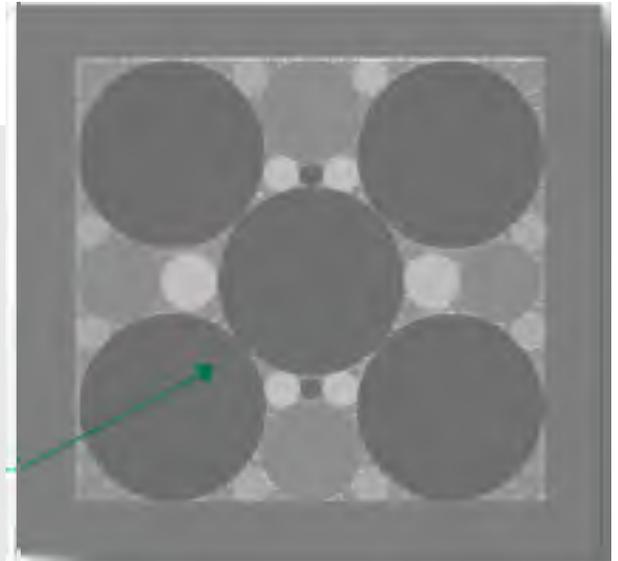
2.1 Componentes del Concreto Avanzado



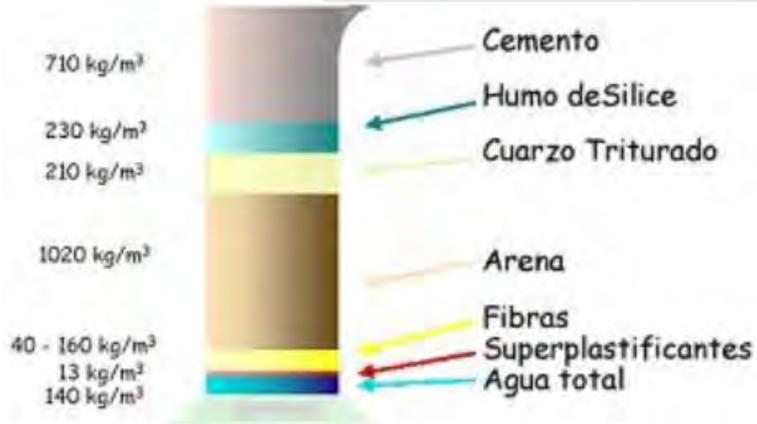
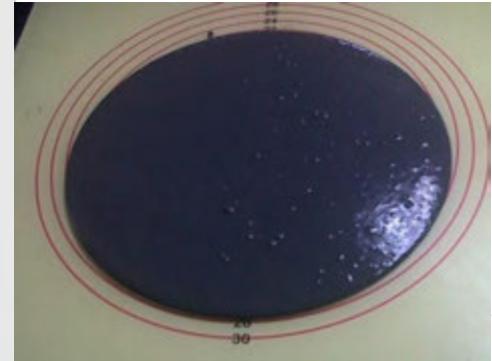
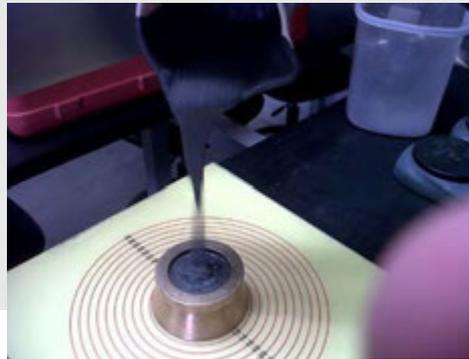
Tomografía – KTH Suecia



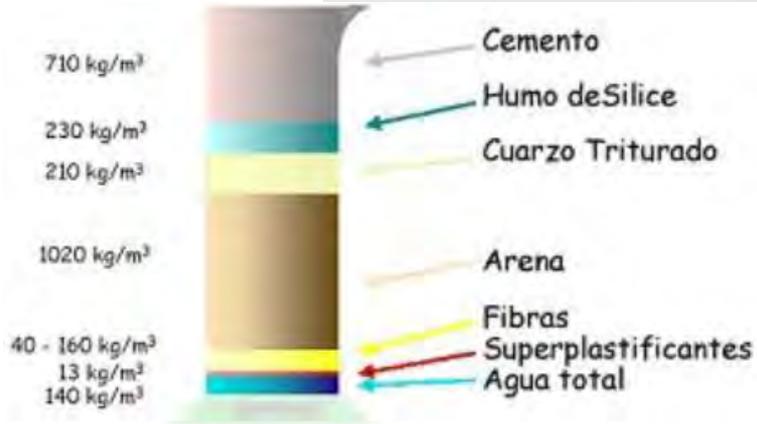
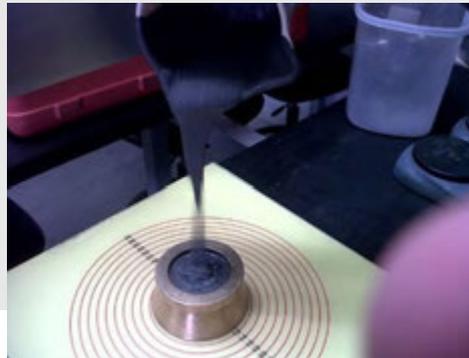
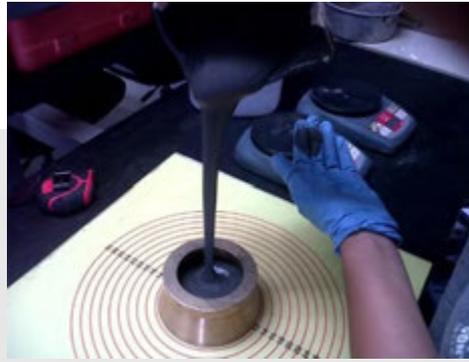
Compacidad



2.2 Comportamiento en estado plástico.



2.2 Comportamiento en estado plástico.



2.3 Comportamiento en estado endurecido

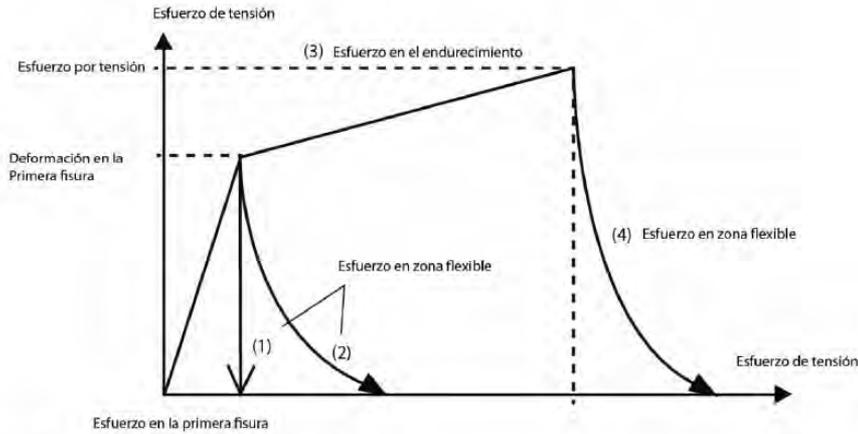
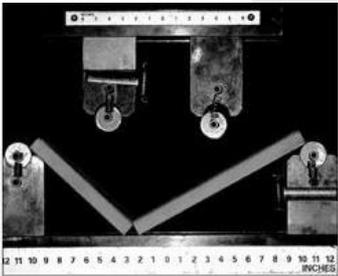
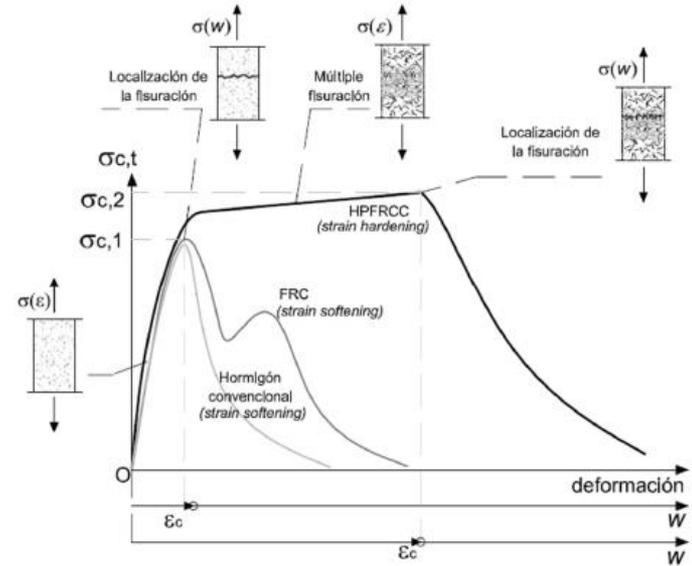


Figura 1. Strain Hardening y strain softening.

(Fuente: modificada de (Japan Society of Civil Engineers, 2008)).



Tres tipos de fallos a tracción..

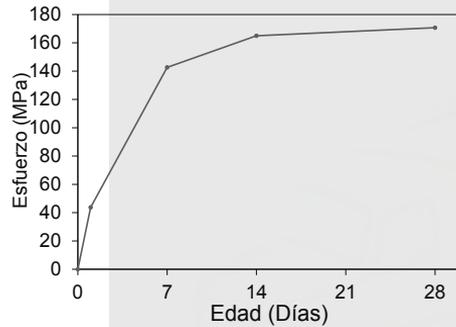
Fallos frágiles.

Cuasi frágiles

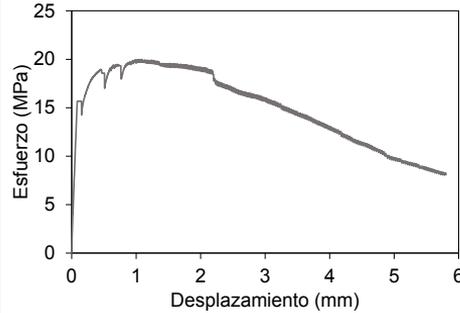
Endurecimiento por deformación.

2.3 Comportamiento en estado endurecido.

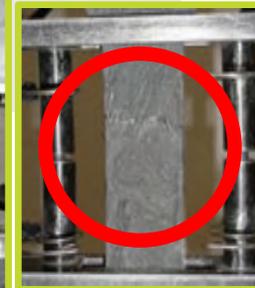
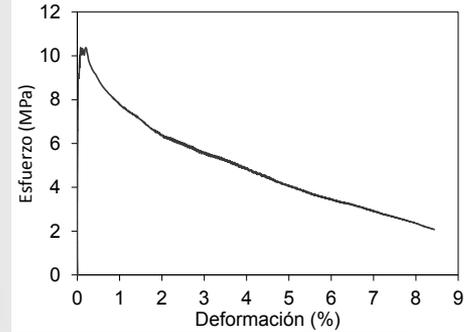
Resistencia a compresión



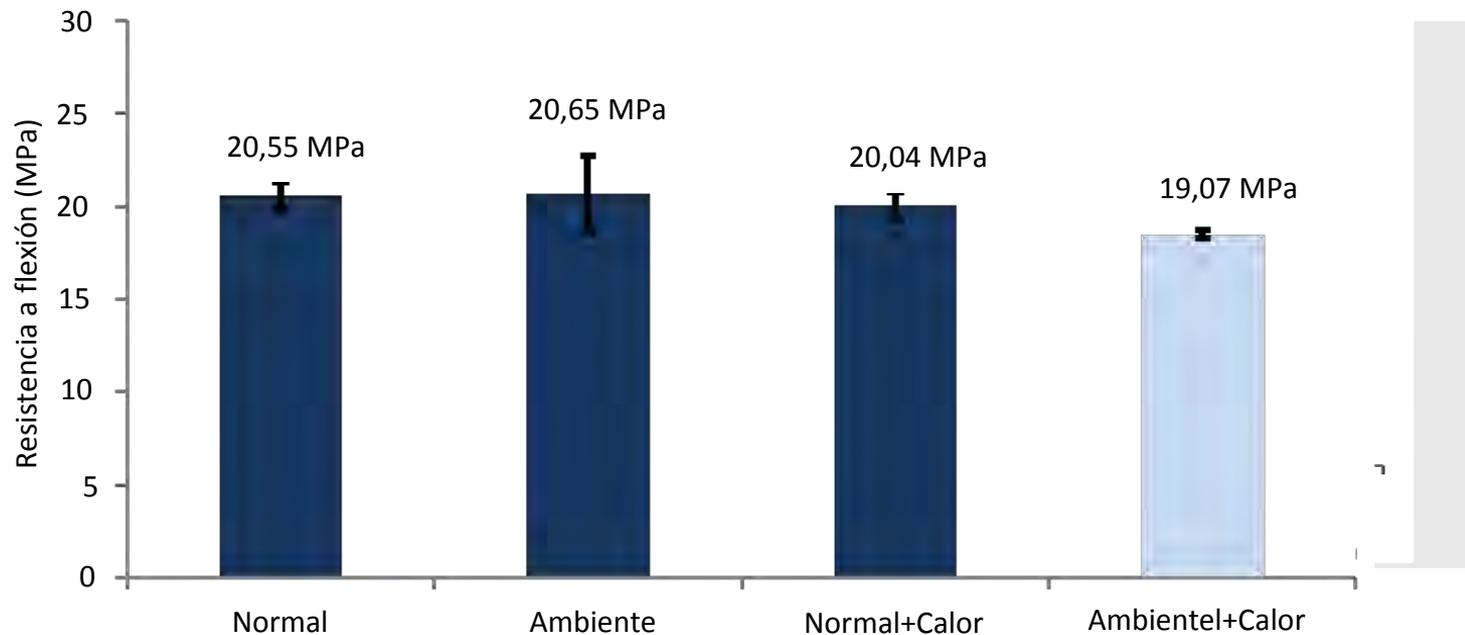
Resistencia a flexión



Resistencia a tracción

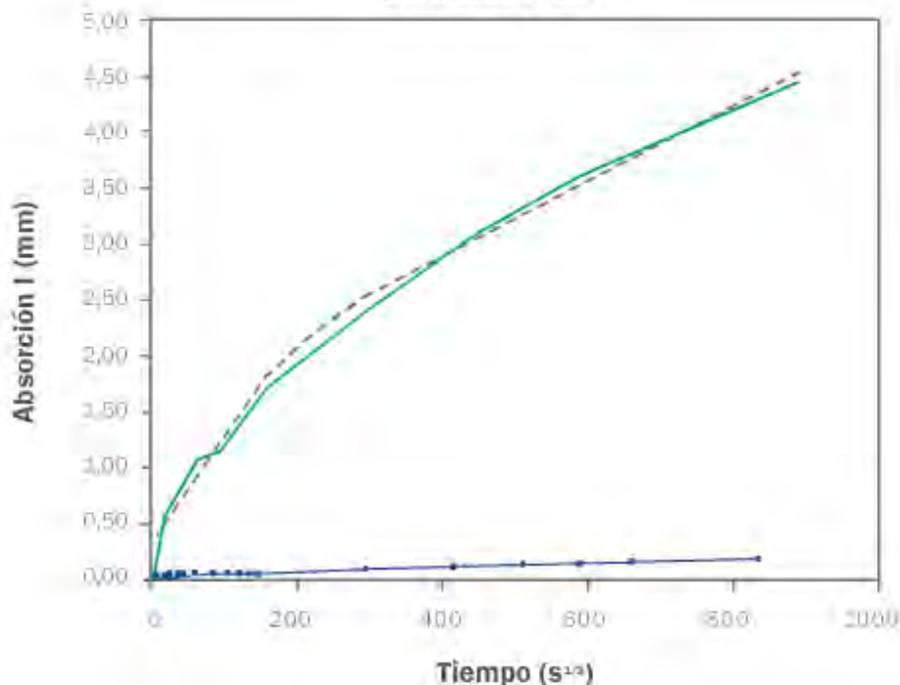


2.3 Comportamiento en estado endurecido



2.4 Durabilidad del concreto avanzado

Sortividad CUAD



 CUAD
 Concreto Convencional (CC)

Tasa de absorción CUAD:

$$2 * 10^{-4} \text{ mm/s}^{1/2}$$

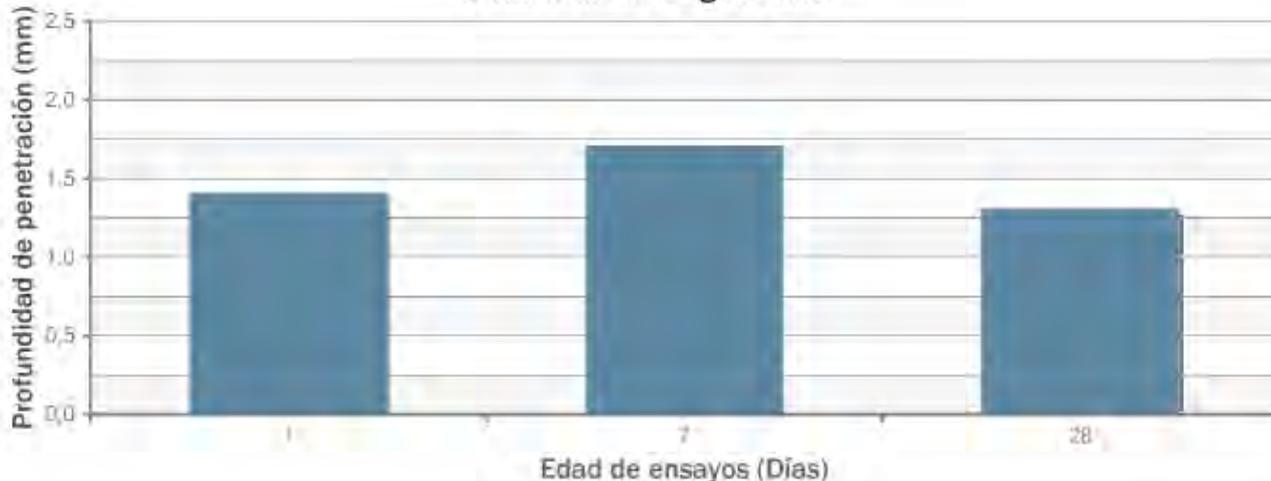
Tasa de absorción CC:

$$3,3 * 10^{-3} \text{ mm/s}^{1/2}$$

La absorción del CUAD es **17 veces menor** que la del **concreto convencional**. En otras palabras, la tasa de absorción **del CUAD corresponde al 6%** de la del **concreto convencional**.

2.4 Durabilidad del concreto avanzado

Permeabilidad al agua CUAD



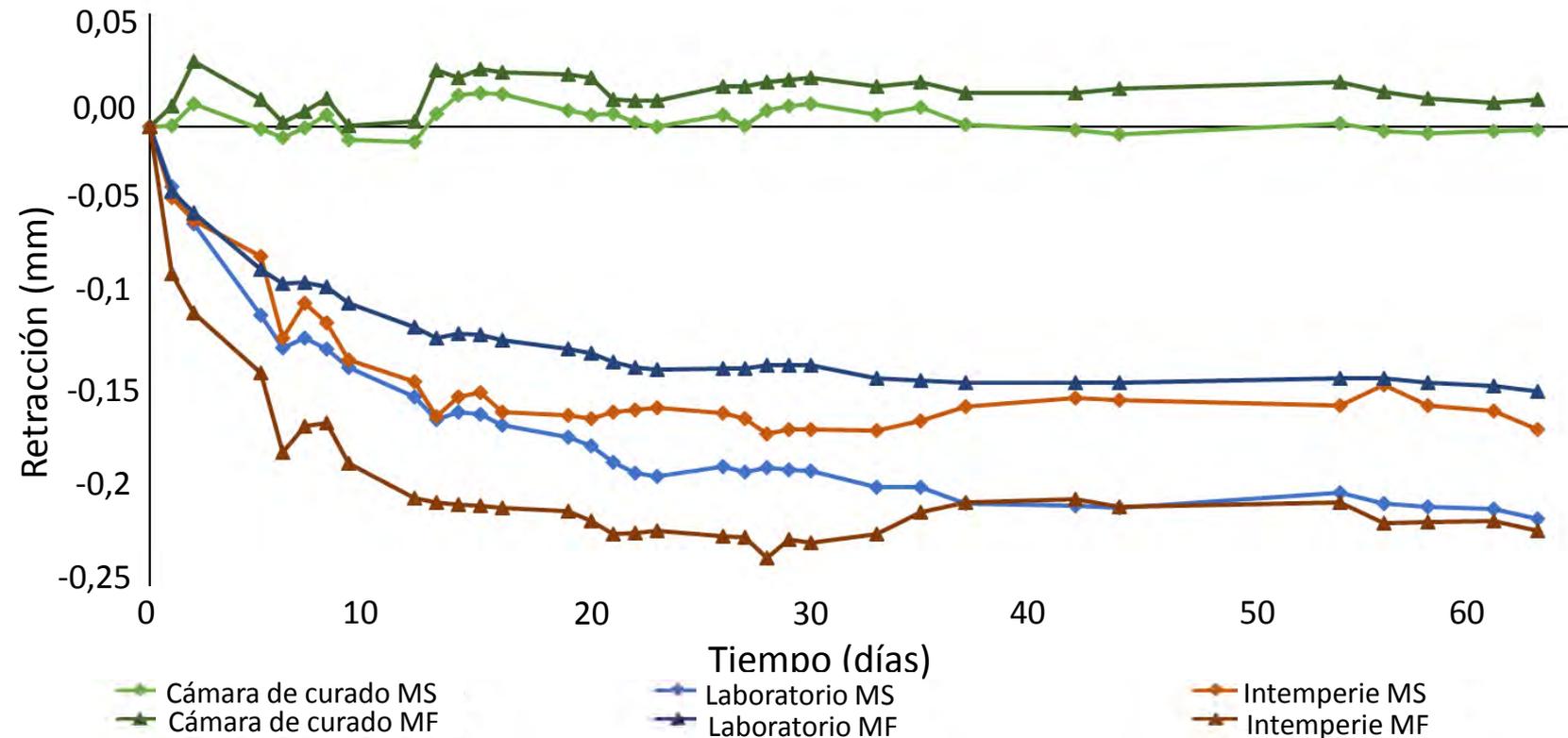
Resultados prueba de permeabilidad

- Profundidad de penetración: 1,2 a 1,7 mm, valores dentro del rango que la norma considera para Concretos de Baja permeabilidad (<30 mm).

Clasificación de permeabilidad en concretos (NTC 722)

Profundidad de Penetración	mm
BAJA	< 30
MEDIA	30 a 60
ALTA	> 60

2.4 Durabilidad del concreto avanzado



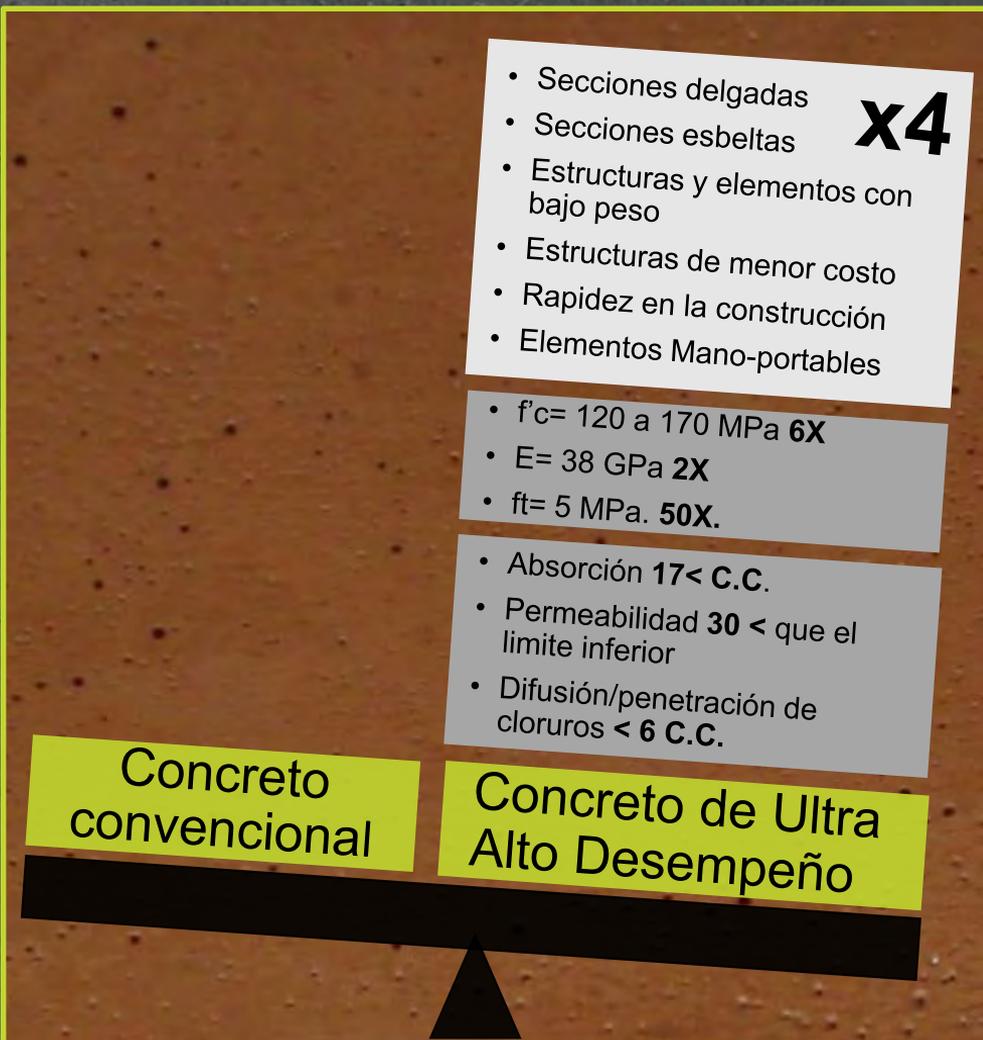
Retracción por secado

Concepto

El **concreto de ultra alto desempeño** (CUAD) es un material de **alta tecnología** que tiene características muy superiores a las de los **concretos convencionales**, esto le permite competir con otros materiales como el acero.

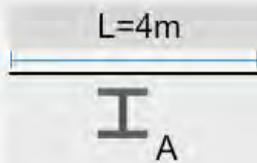
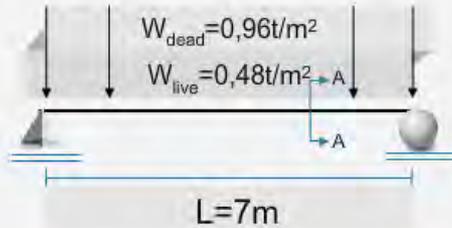
Su **comportamiento** es sobresaliente en aspectos como:

- Resistencia a compresión
- Resistencia a flexión
- Resistencia a tracción
- Durabilidad



2.4 Comportamiento estructural en Concreto avanzado

Condición de Análisis



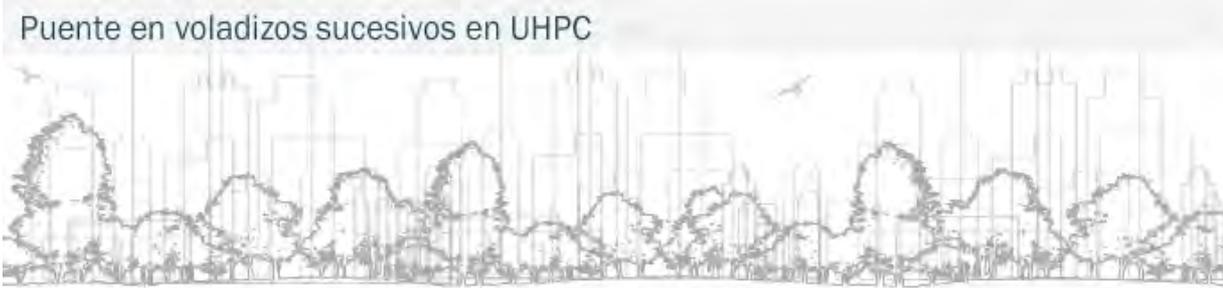
Detalle de la Sección



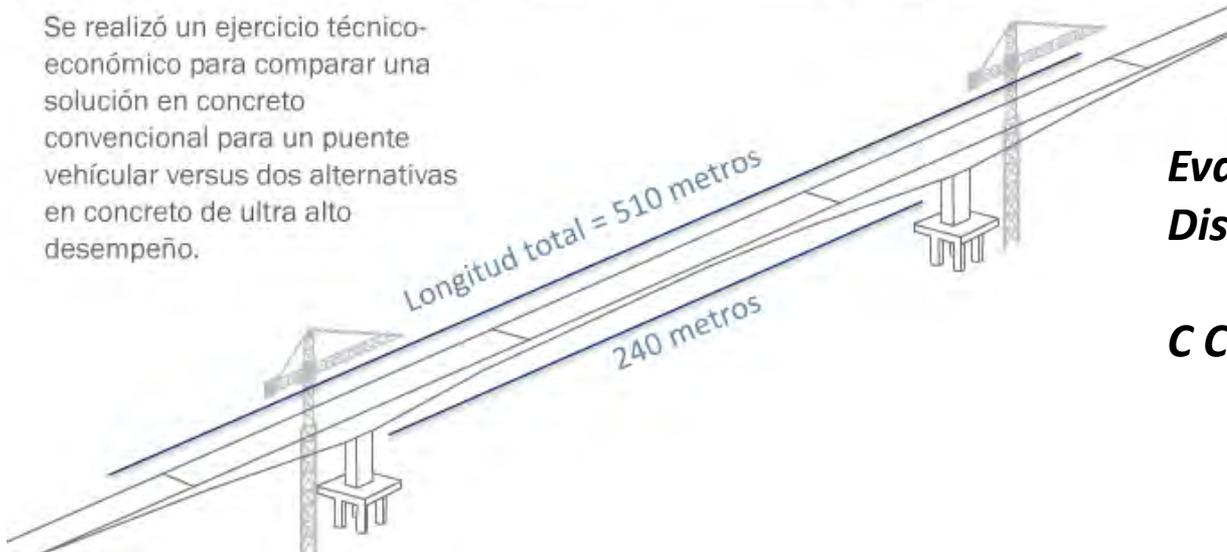
Cargas idénticas para comparar
Acero vs UHPC

2.4 Comportamiento estructural en Concreto avanzado

Puente en voladizos sucesivos en UHPC



Se realizó un ejercicio técnico-económico para comparar una solución en concreto convencional para un puente vehicular versus dos alternativas en concreto de ultra alto desempeño.



**Evaluación de puente
Diseñado**

C Convencional Vs Avanzado

2.4 Comportamiento estructural en Concreto avanzado

Dovela Inicial



Volumen 102,40 m³

Dovela Final



Volumen 36,24 m³

C convencional Vs C Avanzado postensado.

Dovela Inicial



Volumen 48,16 m³

Dovela Final



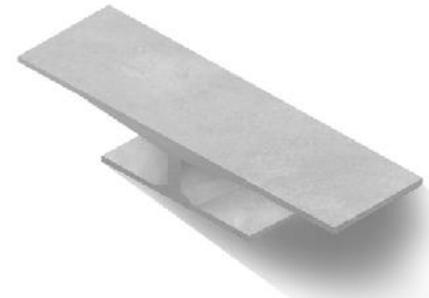
Volumen 30,24 m³

Dovela Inicial



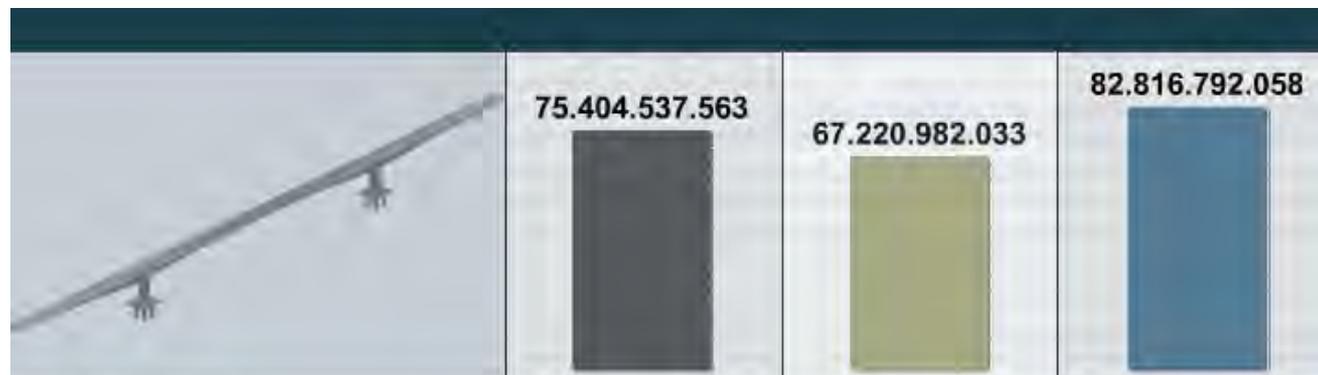
Volumen 44,63 m³

Dovela Final



Volumen 31,19 m³

2.4 Comportamiento estructural en Concreto avanzado



Tipo de Concreto	Concreto Conv.	CUAD 1	CUAD 2
Volumen Superestructura (m ³)	7.698,30	4.985,86	4.525,73
Volumen Subestructura (m ³)	4.137,63	2.073,20	2.073,20
Volumen Total concreto (m ³)	11.835,93	7.059,05	6.598,93
Peso (t)	28.406,23	19.765,35	18.476,99
Refuerzo no tensionado (Kg)	1.411.129	410.727	321.987
Refuerzo Tensionado (m)	1.242.762	897.629	1.284.334
Costo concreto COP	11.479.147.381	23.250.191.177	20.864.314.872
Costo total COP	75.404.537.563	67.220.982.033	82.816.792.058
Ahorro en Peso de la estructura	0,00%	30,42%	34,95%
Ahorro o Sobrecosto	0,00%	10,85%	-9,83%



3. Historia y aplicaciones de *Concreto avanzado*.



Planta Nuclear Cattenom – Francia : UHPC en vigas de soporte 1987.

3. Historia y aplicaciones de *Concreto avanzado*.



Puente Sheerbrooke – Canada : UHPC en las diagonales y tablero 30 mm - 1997

3. Historia y aplicaciones de *Concreto avanzado*.



Cubierta peaje Millau Francia : UHPC en formas delgadas 2004.

3. Historia y aplicaciones de *Concreto avanzado*.



Puente, Volkemort , Austria : Arcos prefabricados UHPC 60 mm 2011

3. Historia y aplicaciones de *Concreto avanzado*.

Puentes Peatonales



Sakata Mirai (Japón)

- Dovelas aligeradas
- Espesor 8 cm en losa superior
- Postensionamiento no adherido

3. Historia y aplicaciones de *Concreto avanzado*.

Puentes Peatonales



La Paz (Corea del Sur)

- Vigas en arco, luz 120 m
- Espesor 3 cm en losa superior

3. Historia y aplicaciones de *Concreto avanzado*.

Puentes Peatonales

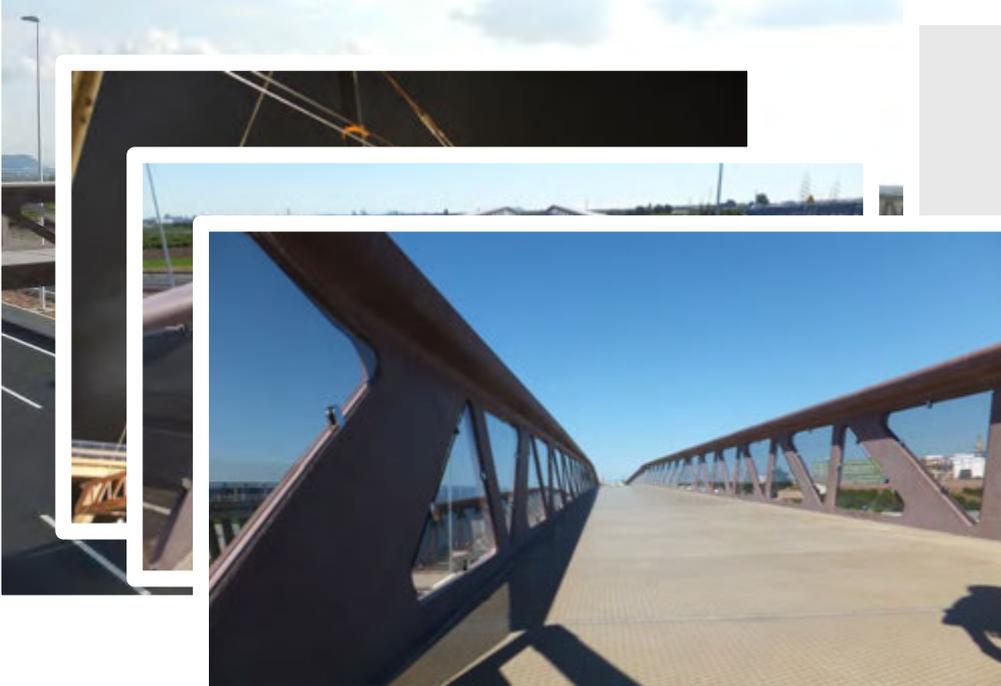


Barranco de las Ovejas (España)

- Cerchas postensadas
- Espesor 3 cm en losa de circulación
- Transporte y montaje en un día

3. Historia y aplicaciones de *Concreto avanzado*.

Puentes Peatonales



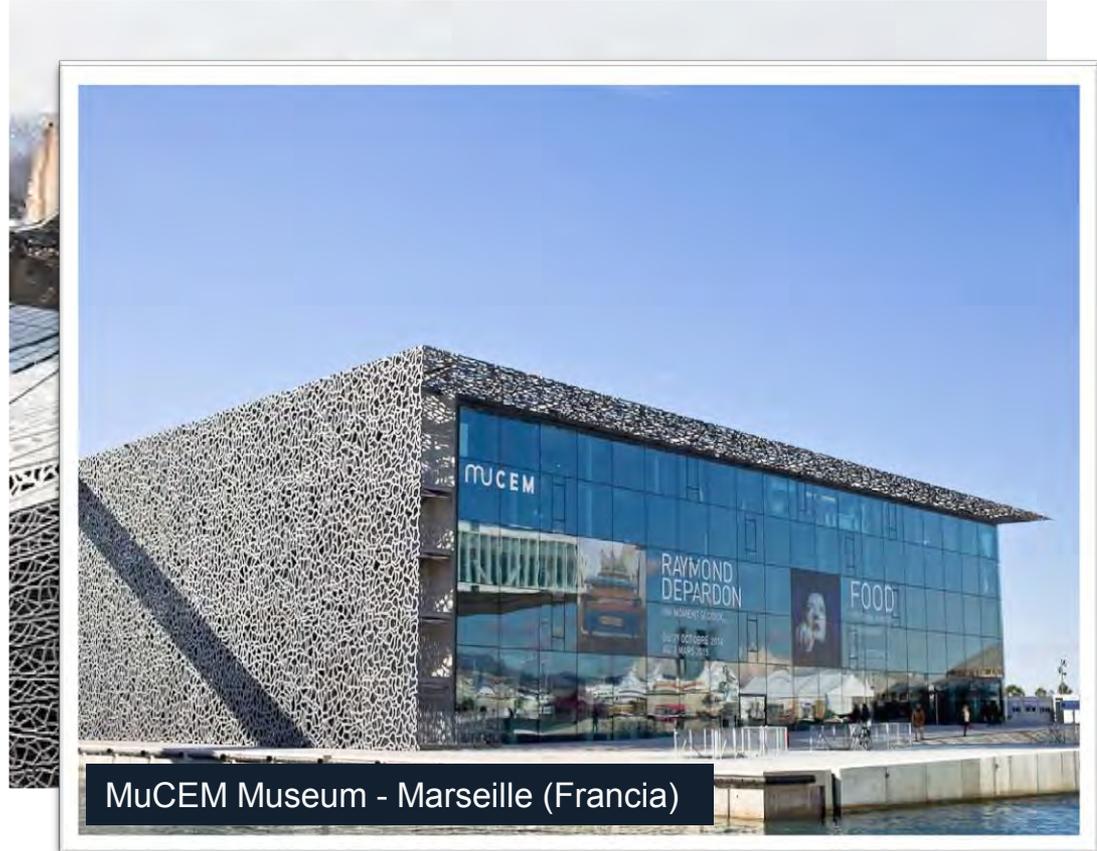
Autovía V21 (España)

- Cerchas postensadas
- Espesor 3 cm en losa de circulación
- Rápido montaje y puesta en servicio

3. Historia y aplicaciones de *Concreto avanzado*.

Concreto Avanzado
Aplicaciones

Fachadas



MuCEM Museum - Marseille (Francia)

3. Historia y aplicaciones de *Concreto avanzado*.

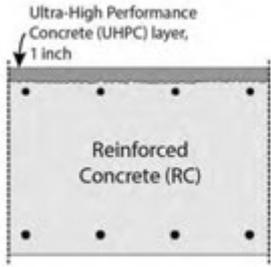


Usos especiales del Concreto Avanzado

- Losas
- Pantallas
- Columnas
- Protecciones

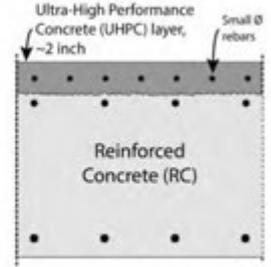
Rehabilitación en tablero de puentes

Restorative UHPC-Layer



More durable and cost effective than any other overlay material. A solution to waterproof and restore the riding surface of your bridge deck for years to come.

Structural UHPC-Layer



Award-winning engineering solution for accelerated bridge rehabilitation using UHPC to restore the structural capacity of concrete deck bridges.



CHILLON VIADUCTS, SWITZERLAND
 Chillon, VD, Switzerland

2014 - 2015



VALTSCHIEL BRIDGE, SWITZERLAND
 Donat, GR, Switzerland

2013

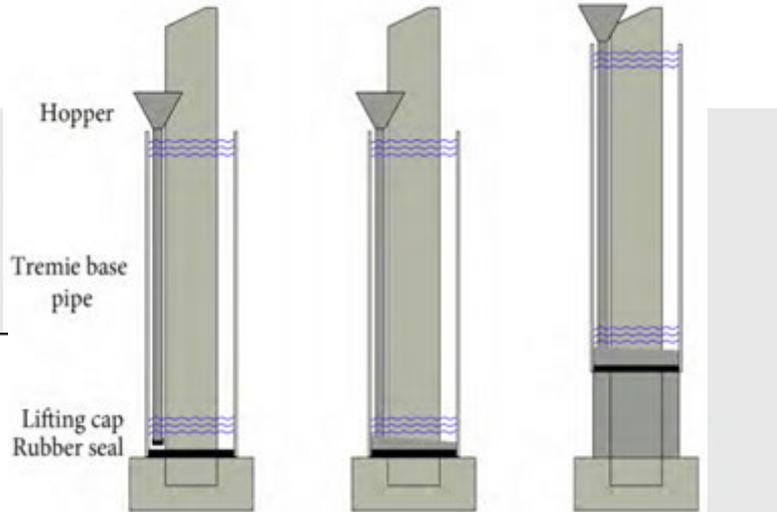


Rehabilitación en tablero de puentes



Aplicaciones con máquina (Viaducto Chillon)

Reparación en el muelle de Venterminales S.A. en Puerto Cabello, Venezuela.



Rehabilitación de pantallas

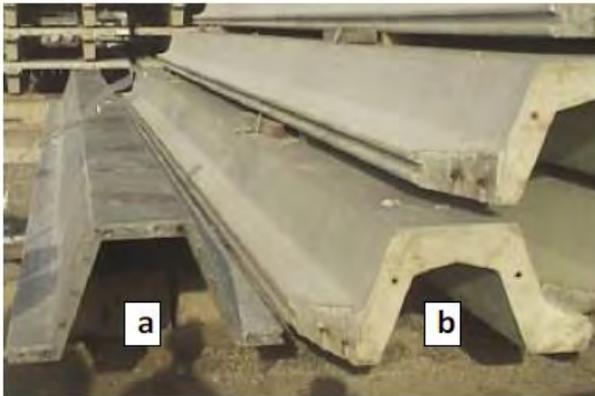


CN Rail Bridge Pier Jacketing, Montreal, QC

Aplicaciones en Tablestacados .



. Prestressing strands and formwork used for production of SCFRC sheet piles (Walraven 2007)



Comparison of a) SCFRC and b) conventional concrete sheet piles (Grünwald 2004)



(Walraven 2007, Walraven and Schumacher 2005)

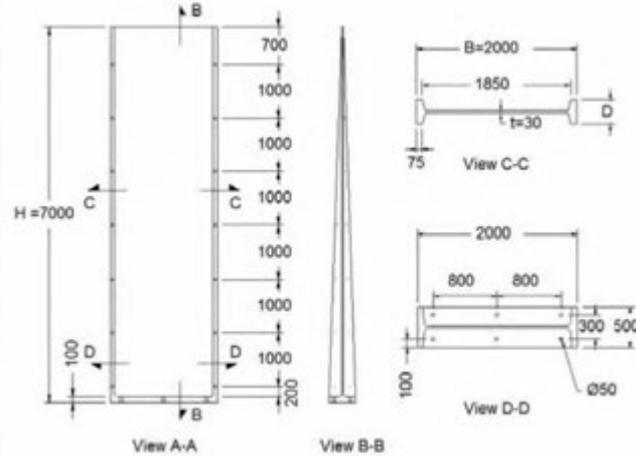
Caso de éxito (Malaysia)



MUROS, PUENTES Y DISEÑOS
ESPECIALES.



Ultra-light weight wall panel (security solution)



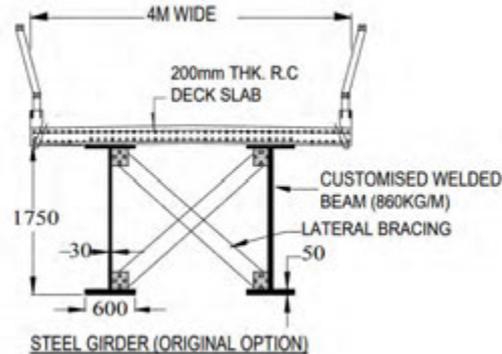
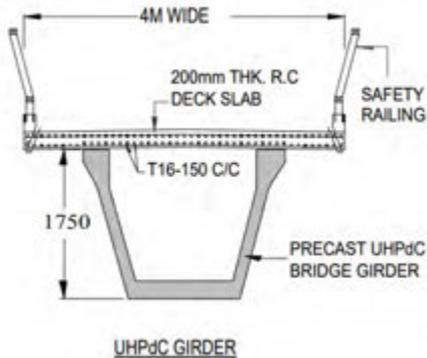
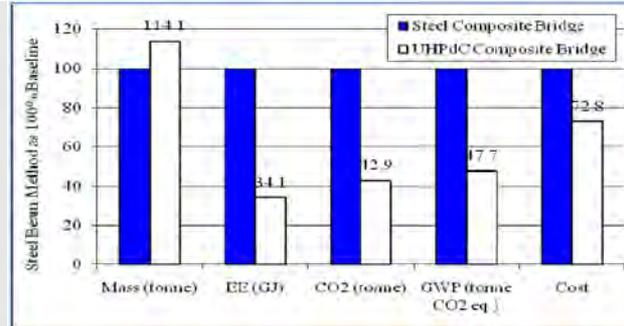
(a)

CANTILEVER RETAINING WALL (GEOTECHNICAL SOLUTION))



Dura - Malaysia

50 M KAMPUNG LINSUM BRIDGE (MEDIUM TRAFFIC BRIDGE), (Menores costos económicos y ambientales)



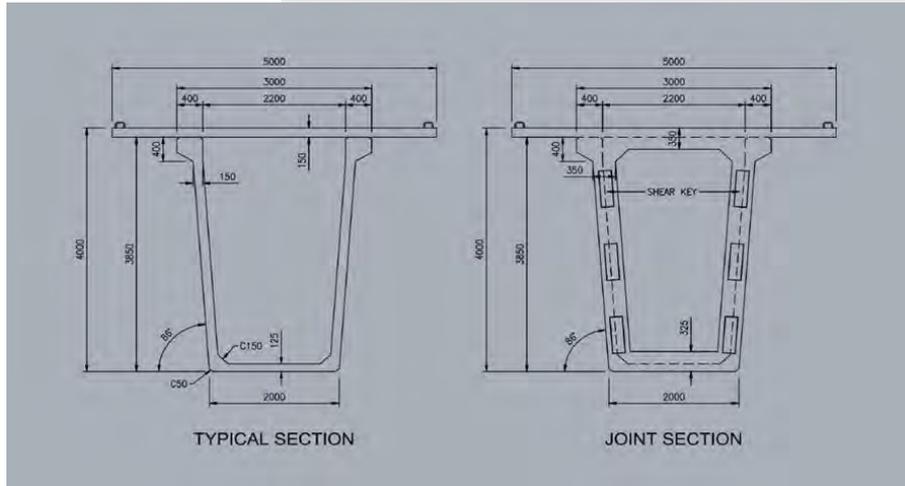
Vigas prefabricadas para puentes carreteros puente de un vano de 100m



- Puente sobre el Rio Perak (Malasia)
 - ✓ 1 luz de 100.0m
 - ✓ Ancho de tablero de 5.0m
 - ✓ Viga artesa en UHPC
 - ✓ $f_{ck} = 160\text{MPa}$



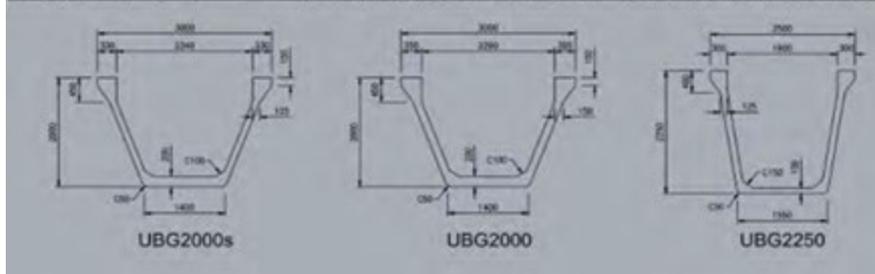
Vigas tipo cajón rango entre 80 y 100m



VIGAS TIPO CAJÓN RANGO ENTRE 80 Y 100m
Puente sobre el Rio Perak 1 Vano L=100m

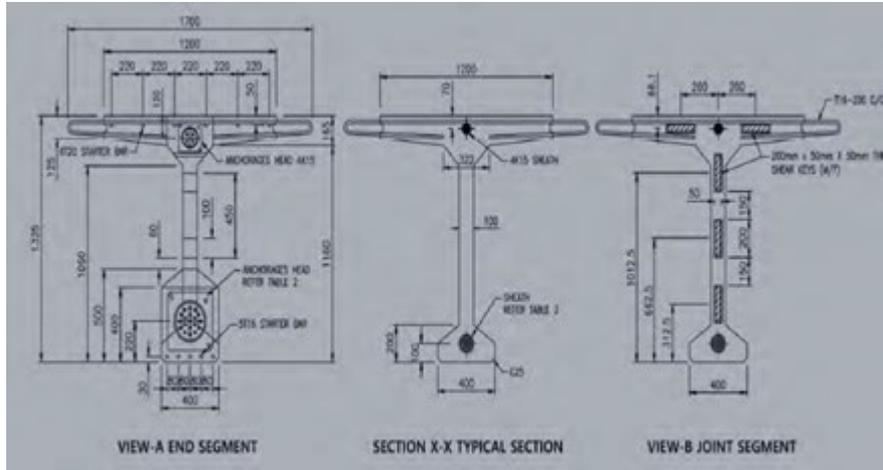
Vigas tipo artesa rango uso 20-120m

	Units	UBG1250	UBG1500	UBG1750	UBG2000s	UBG2000	UBG2250	UBG2500	UBG3000	UBG3850	UBG5000	
Nominal Length	L	m	20-36	24-48	26-52	40-55	40-55	45-60	55-65	60-80	80-100	100-120
Self-Weight	G _s	kN/m	14.0	19.6	22.0	22.0	24.2	21.5	23.4	28.2	43	52
Sectional Area	A	x 10 ³ mm ²	592.7	830.4	926.5	925.5	1015.5	870.9	947.9	1113.8	1664.5	2010.1
Neutral Axis Depth	y _{top}	mm	788	934	1029	1175	1150	1261	1408	1714	2118	2711
	y _{bot}	mm	462	566	721	825	850	989	1092	1286	1732	2289
Moment of Inertia	I _{xx}	x 10 ⁷ mm ⁴	106.7	212.7	341.3	468.8	499.3	541.3	726	1222.9	3009.7	5905.4
	Z _{top}	x 10 ⁷ mm ³	135.5	227.6	331.6	399.1	434.1	429.3	515.8	713.4	1420.8	2178.5
	Z _{bot}	x 10 ⁷ mm ³	230.8	375.8	473.5	567.9	587.6	547.3	664.6	95.1	1738.1	2579.6
Web Thickness	t _w	mm	2 x 100	2 x 150	2 x 150	2 x 125	2 x 150	2 x 125	2 x 125	2 x 125	2 x 150	2 x 150
Girder Depth	D	mm	1250	1500	1750	2000	2000	2250	2500	3000	3850	5000



VIGAS TIPO ARTESA RANGO ENTRE 20 Y 120m
Puente sobre Kuala Selangor 1 Vano L=36,0m

Vigas tipo tee rango uso 10-40m



VIGAS TIPO Tee RANGO ENTRE 10-40m
Reemplazo Box Culvert Sungai 1 Vanos L=20,0m

Vigas tipo (doble tee) rango entre 10-40m

VIGAS TIPO (Doble Tee) RANGO ENTRE 10-40m

Puente Crossing Sungai 1 Vanos $L=32,0m$ (Puente integral)



VIGAS TIPO (Doble Tee) RANGO ENTRE 10-40m

Puente Crossing Tasek Raban 3 Vanos $L=30,0m$

Vigas tipo (u) rango entre 10-30m

VIGAS TIPO (U) RANGO ENTRE 10-30m

Puente Flood Zone of Cameron Highland Ipoh L=30m (Rápido montaje)

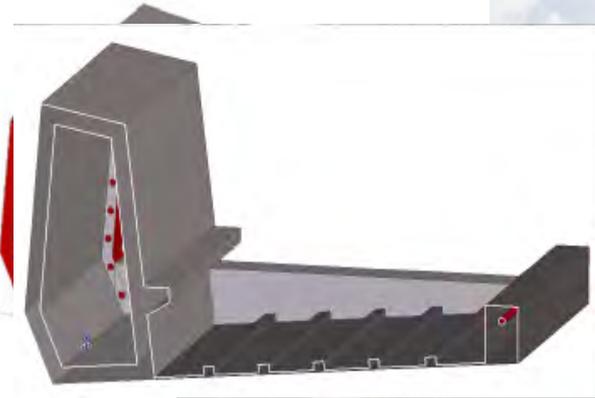


4. Aplicaciones de avanzado en Colombia.



4.1 Puente peatonal universidad Eafit - Medellín.

Longitud: 110 ml /
Luz principal: 43 m



4.1 Puente peatonal universidad Eafit - Medellín.

Costo de alternativa en acero

\$ 3.388.238.800

Costo de alternativa en CUAD:

\$ 2.267.000.000

Porcentaje de ahorro con CUAD:

33%



DISEÑO

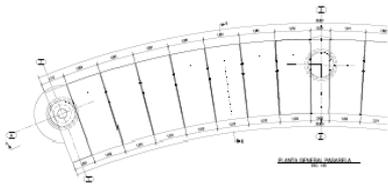
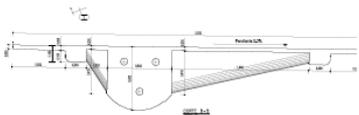
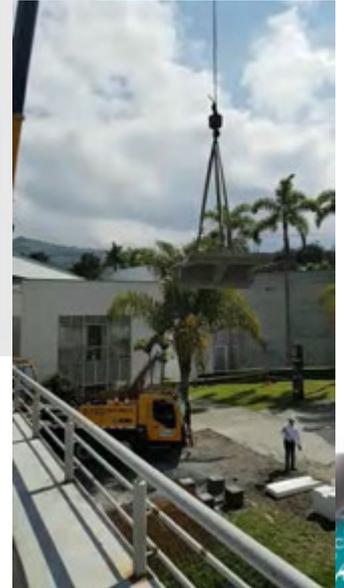


RAPIDEZ

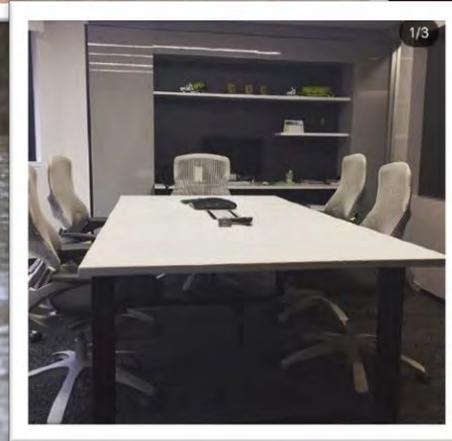
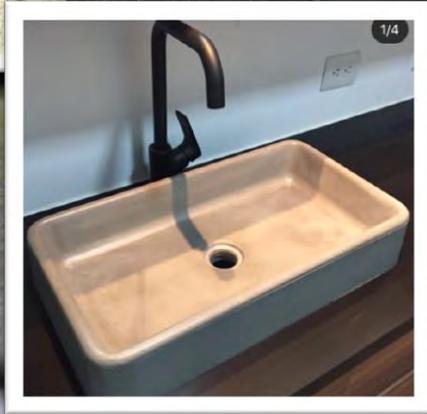
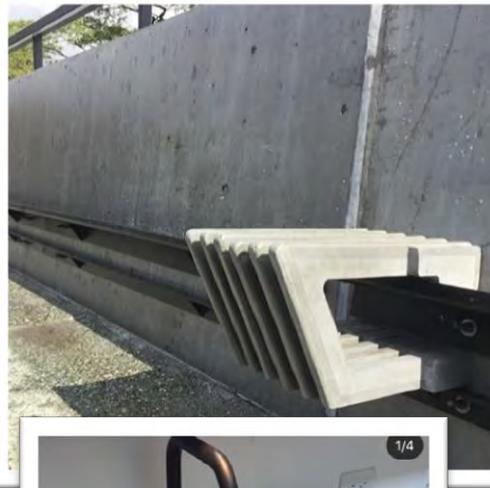


DURABILIDAD

4.2 Puente peatonal Universidad Nacional Manizales.



4.3 Urbanismo y piezas de arquitectura.



Mobiliario y Otros

4.3 Urbanismo y piezas de arquitectura.



Mobiliario y Otros – (Innovacrete)

4.3 Otros proyectos listos para construcción.



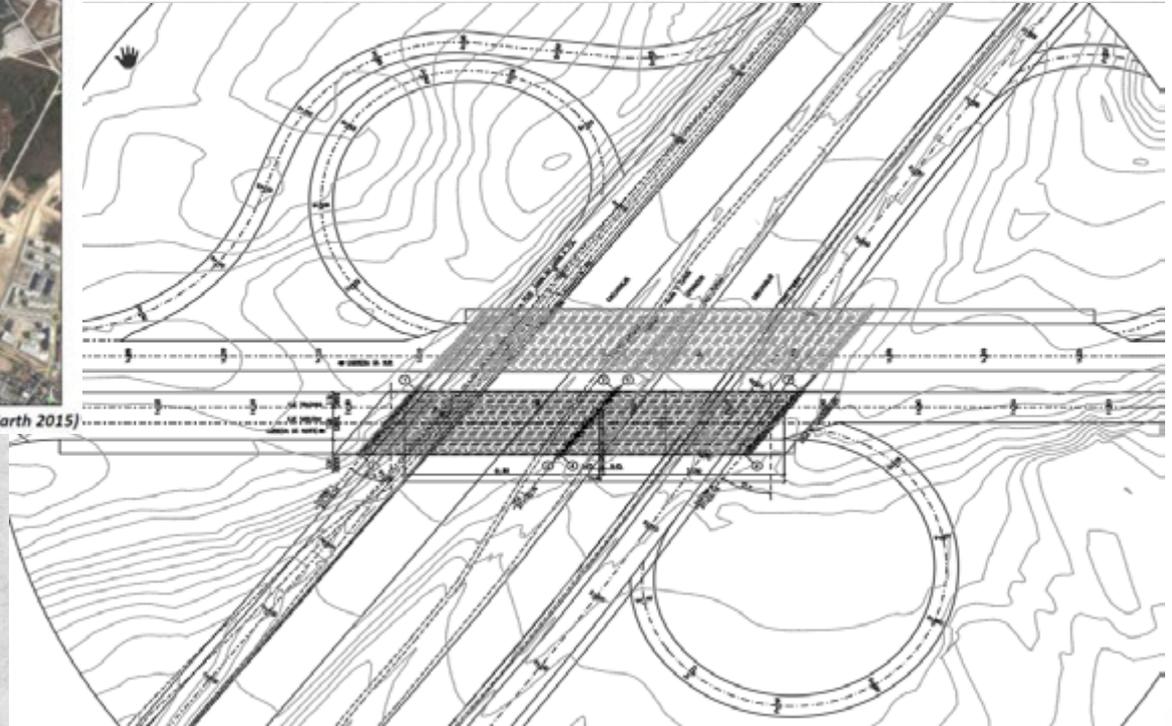
DISEÑO DE DETALLE INTERSECCIÓN KRA. 65 CON CIRCUNVALAR BARRANQUILLA

Fuente: Archivo ARGOS

4.3 Puente crra 65 Barranquilla.



Figura 2. 1 Localización general del Proyecto carrera 65. (Imagen Google Earth 2015)



4.3 Puente crra 65 Barranquilla.

ALZADO PUENTE NORTE

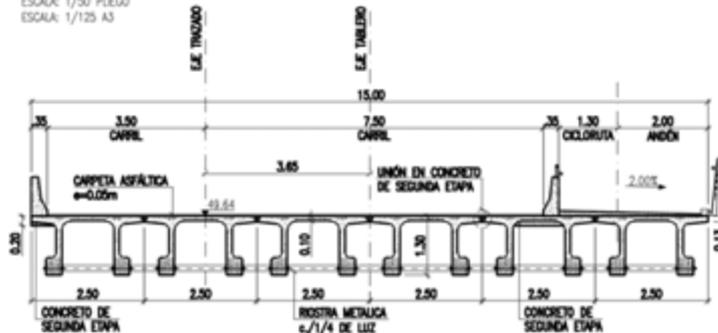
ESCALA: 1/250 PLEGO



SECCIÓN PUENTE NORTE EN ESTRIBO 1

ESCALA: 1/50 PLEGO

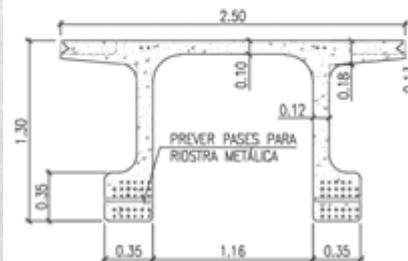
ESCALA: 1/125 A3



SECCIÓN VIGA PI EN VANO VIGA INTERIOR

ESCALA: 1/20 PLEGO

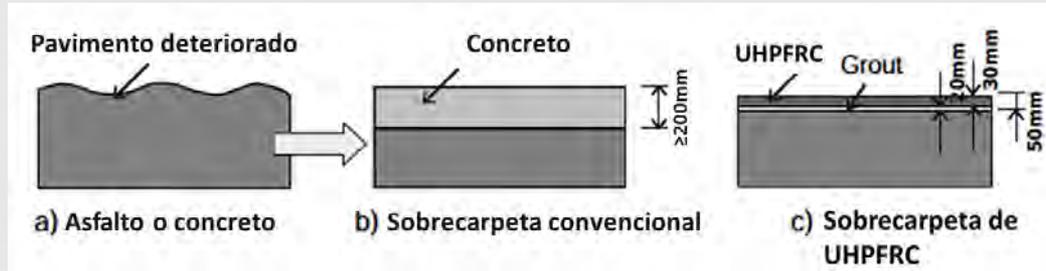
ESCALA: 1/50 A3



4.4 Mas desarrollos e investigación.

Pavimentos ultradelgados de C Avanzado

Sobrecarpetas ultradelgadas de UHPC: por definición tienen espesores inferiores a 100mm, llegando a valores de entre 30 y 50 mm.



Fuente: Obata et al (2008)



Pavimentos ultradelgados de C Avanzado

UHPC – Caracterización Mecánica

Resistencia a la compresión

Resistencia a flexión (curvas esfuerzo deformación)

Resistencia a cargas dinámicas (Fatiga)



Máquina para ensayo a compresión



Máquina para ensayo de resistencia a cargas dinámicas

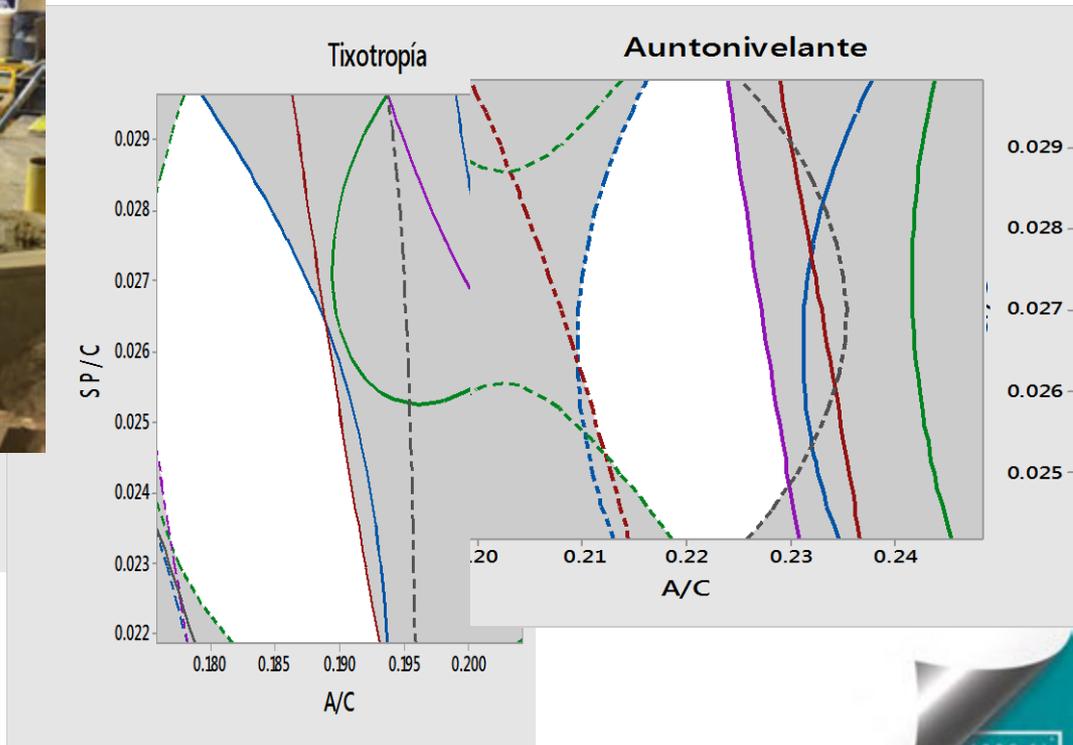
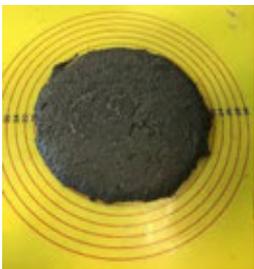


Máquina para ensayo de resistencia a flexión con carga estática

Pavimentos Ultradelgados de C Avanzado



4.5 Reología de Concretos Avanzados.



Alta resistencia

Durabilidad

Versatilidad

Alto nivel de diseño

Sostenibilidad

Pensar diferente

La innovación es en equipo !!!!



