

# I SILAMCAA

I SIMPÓSIO LATINO AMERICANO SOBRE CONCRETO AUTOADENSÁVEL

08 a 10/10 de 2012 - Maceió/AL



## ***Mucilago de nopal como reductor de la retracción en concreto auto-compactante***

***A. Durán-Herrera, Ricardo De-León,***  
***C. A. Juárez y P. Valdez***

***Facultad de Ingeniería Civil***

***Universidad Autónoma de Nuevo León***

***San Nicolás de Los Garza, Nuevo León, México***



***Maceió/AL, Brasil, octubre 10 de 2012***



## Mitigación de la retracción; beneficios:

- Reduce el potencial de agrietamientos/microagrietamientos
- Mejora la apariencia
- Mejora la impermeabilidad
- Mejora la durabilidad
- Reduce las pérdidas de presfuerzo
- Reduce el alabeo (curling)





# CARACTERÍSTICAS DEL MUCILAGO



## Beneficios como alimento:

- Contiene un alto grado de vitamina A, B, B2 y 17 aminoácidos esenciales para nuestro organismo.
- Por su alto contenido de aminoácidos, fibra y niacina brinda beneficios contra la obesidad, la diabetes y el colesterol.





# CARACTERÍSTICAS DEL MUCILAGO

## Producción en México



- País con mayor abundancia de especies. Puede considerarse como centro de origen y diversidad de esta especie.
- En excavaciones realizadas en Tehuacán, Puebla, México, existen evidencias fosilizadas en semillas, cáscaras de tuna y fibras de pencas de nopal, que fueron fechadas hace 7000 años [Pimienta 1990].
- Se producen 874,000 toneladas al año, con un rendimiento promedio de 67 ton/ha [IPN, 2006].

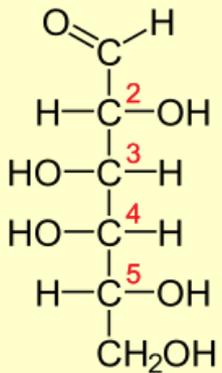




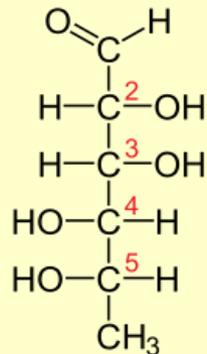
# EL MUCILAGO DE NOPAL



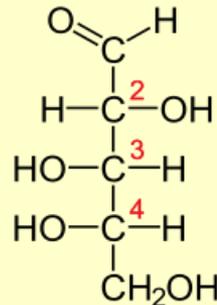
- El mucilago se presenta tanto en los cladodios como en la piel y pulpa de la fruta, aunque en muy diversas proporciones. El rendimiento en todos los casos es bajo: 0,5 % en la cáscara y 1,2 % en los cladodios [Sáenz y Sepúlveda, 1993].
- Es un carbohidrato complejo compuesto por monómeros tales como:



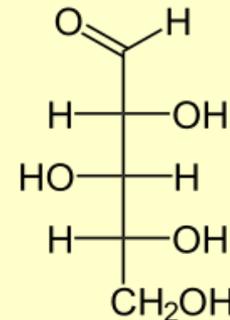
D-galactosa



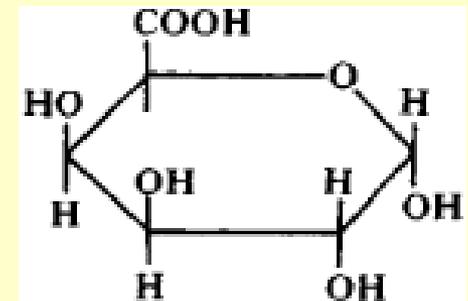
L-ramnosa



L-arabinosa



D-Xilosa



Acido galacturónico





# EL MUCILAGO DE NOPAL

<b>AÑO</b>	<b>AUTORES</b>	<b>CONTRIBUCIÓN</b>
1998	Chandra S., Eklund L. & Villarreal R. R.	El mucilago mejoró las características físicas de pastas y morteros, la permeabilidad disminuyó e incrementó la resistencia a compresión.
2003	Hernández J.B. y Serrano G.R	La adición de mucilago extraído por liofilización a morteros de yeso con arena de sílice mejoró la resistencia a la compresión.
2004	Torres Acosta A.A., Martínez M. & Celis C.	La adición de una mezcla de nopal y aloe-vera incrementó las propiedades anticorrosivas del acero en concreto reforzado.
2007	Torres-Acosta y Cano-Barrita	El mucilago obtenido por hervido de fragmentos macerados, mejoró la resistencia a la segregación en SCC sin demerito de las propiedades mecánicas.
2012	Ramírez-Arellanes S., Cano-Barrita P., Julián-Caballero F., y Gómez-Yañez C.	El mucilago obtenido por hervido de fragmentos macerados redujo la absorción capilar y los coeficientes de difusión de cloruros en compuestos con relaciones A/Cm de 0.3 y 0.45.





## RESISTENCIAS A COMPRESIÓN Y RELACIONES A/Cm CORRESPONDIENTES

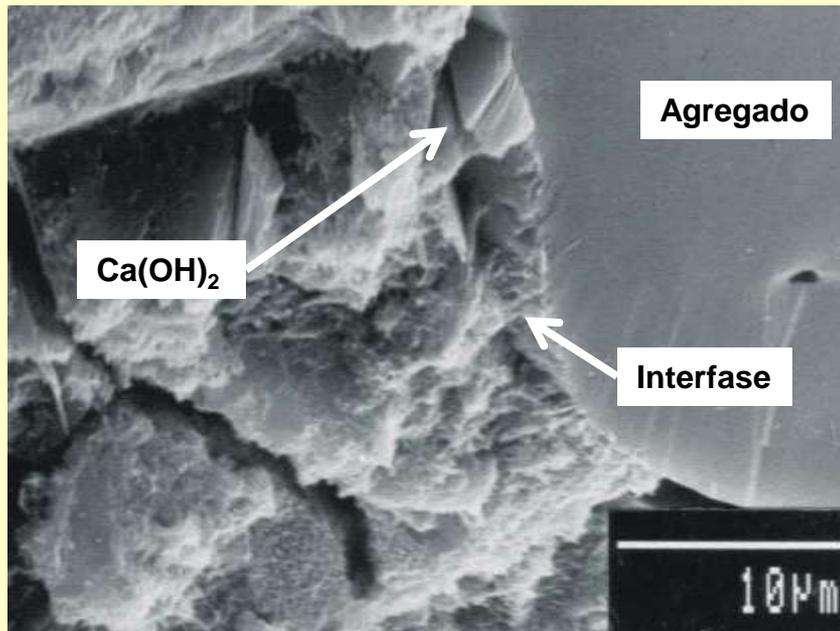
Concreto convencional		Concreto de Alto Comportamiento	
f'c	A/Cm	f'c	A/Cm
300 -150 kgf/cm <sup>2</sup>	≥ 0.60	≥ 600 kgf/cm <sup>2</sup>	≤ 0.40



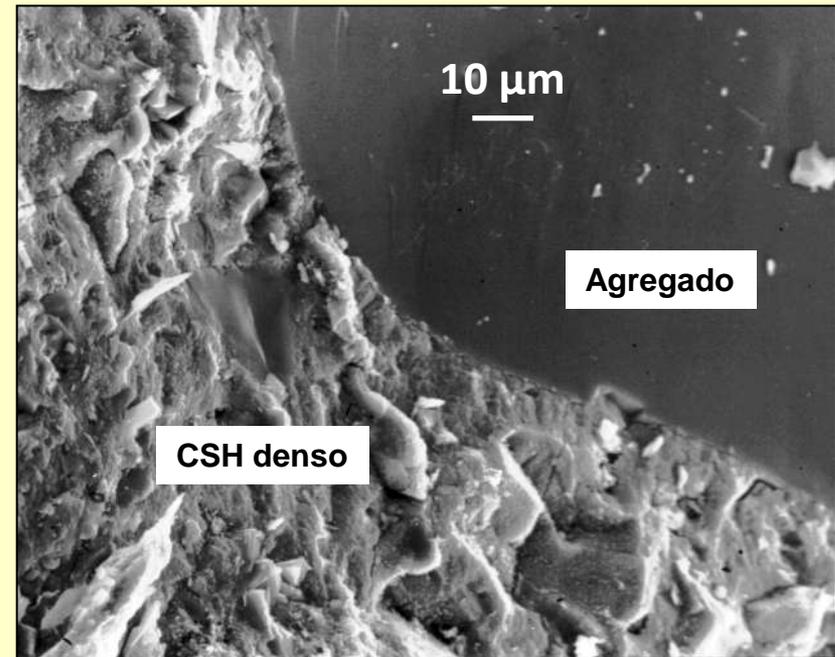


# HPC: Concreto de Alto Comportamiento

## Concreto convencional

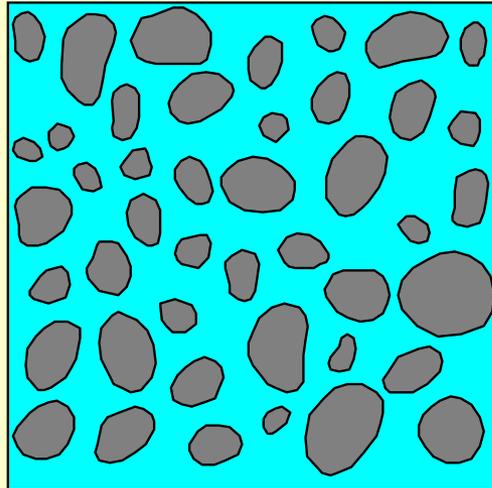


## Concreto de alto comportamiento

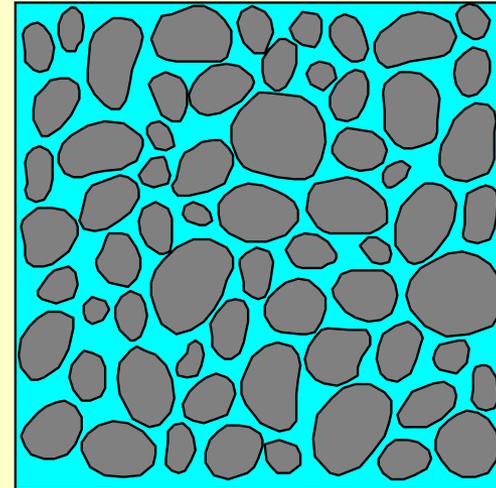




# CONCRETO DE ALTO COMPORTAMIENTO



$A/C_m = 0.60$



$A/C_m = 0.30$



**Granos anhidros  
del cemento**



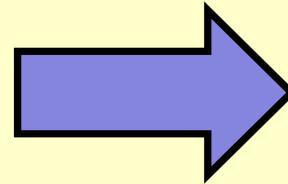
**Agua**





# CONCRETO ALTO COMPORTAMIENTO - SCC

- **$A/C_m \leq 0.5$**
- **Cemento**
- **Cementantes suplementarios**
- **Filer calcáreo**
- **Polvos de subproductos**



**Retracción**



<http://civilengineerlink.com/scc-compacting-concrete/>





## Etapas del Proceso de Construcción con Concreto

- 1. Diseño y producción del concreto**
- 2. Transporte**
- 3. Colocación**
- 4. Compactación**
- 5. Protección y curado**



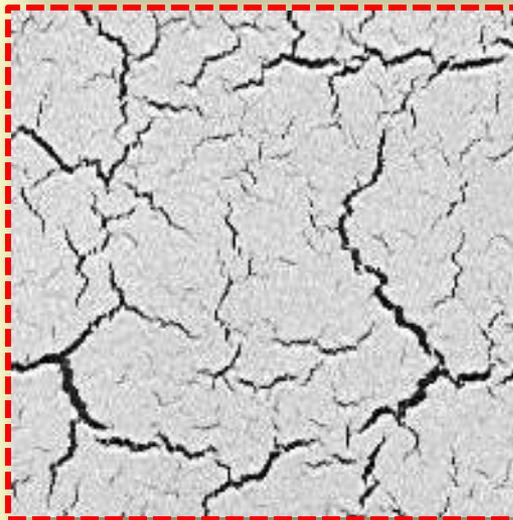
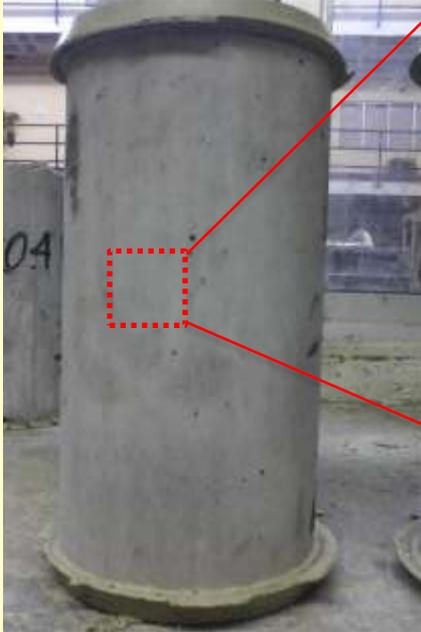


# Curado convencional

380 kgf/cm<sup>2</sup>

$f'_c = 350 \text{ kgf/cm}^2$

260 kgf/cm<sup>2</sup>



Curado en obra por siete días con humedad

Al aire todo el tiempo

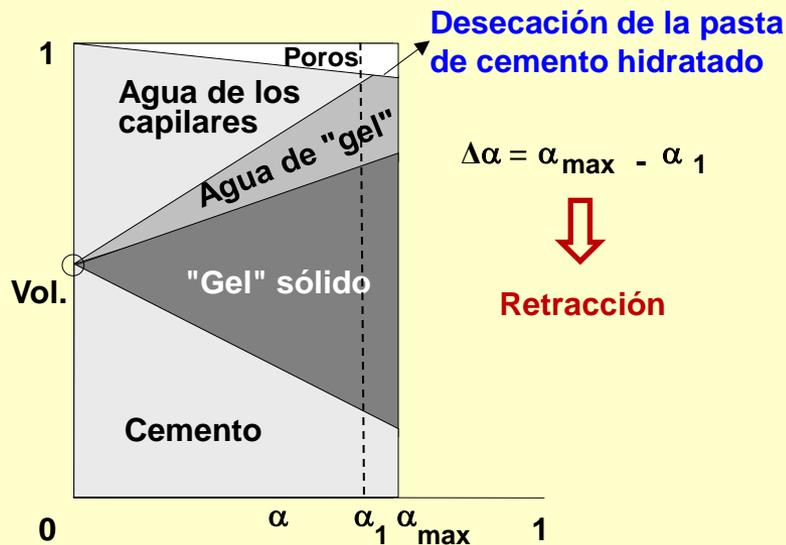




# Curado del CAC

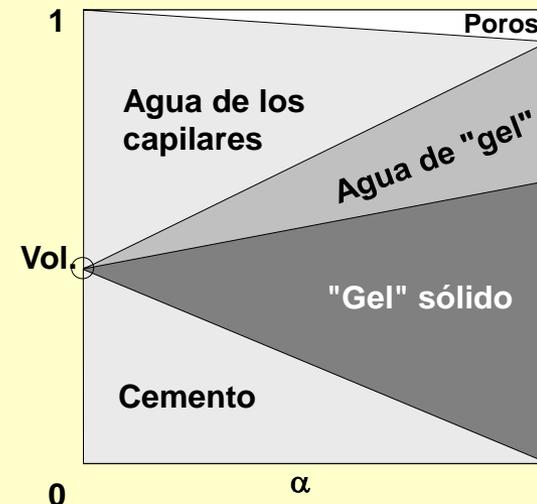
## Cambios volumétricos durante la hidratación

**A/C = 0,30**



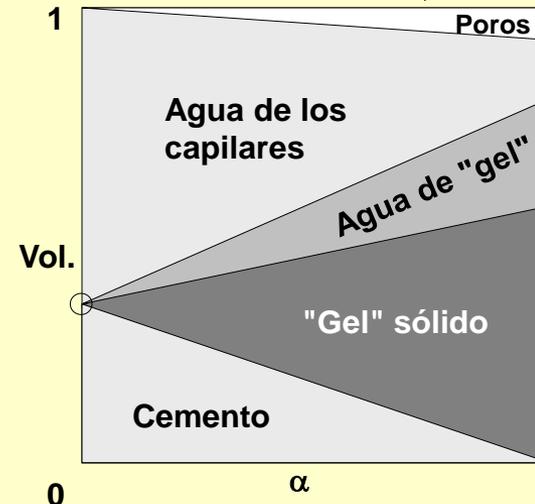
Representación esquemática de Jensen y Hansen de la reacción de hidratación sin una fuente de agua exterior

**A/C = 0,42**



No hay auto-deseccación

**A/C = 0,60**



No hay auto-deseccación

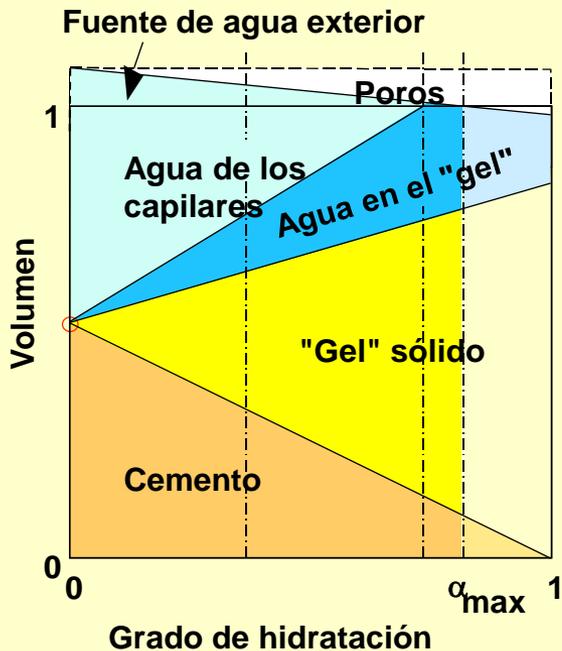




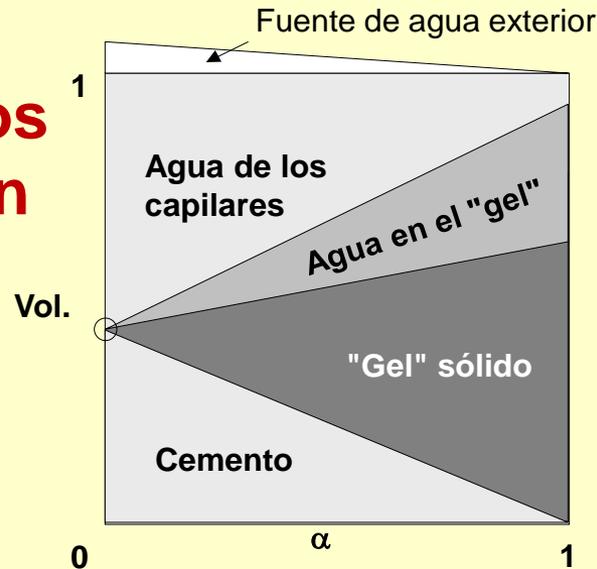
# Curado del CAC

## Cambios volumétricos durante la hidratación

$$A/C = 0,30$$

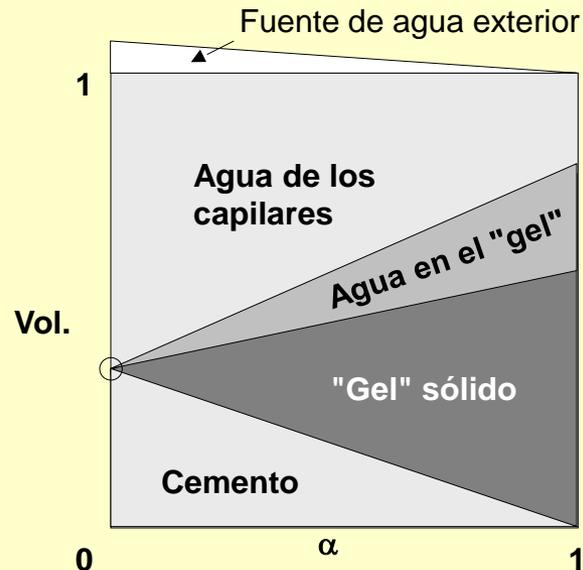


Representación esquemática de Jensen y Hansen de la reacción de hidratación en presencia de una fuente de agua exterior



$$A/C = 0,42$$

No hay auto desecación  
No hay porosidad  
No hay meniscos  
Poca agua capilar  
(volumen igual al de la retracción química)



$$A/C = 0,60$$

No hay auto desecación  
No hay porosidad  
No hay meniscos  
No hay retracción autógena  
Pero, mucha agua capilar





## **Retracción química:**

**Se refiere a la reducción en el volumen absoluto de sólidos y líquidos de la pasta, resultante de la hidratación del concreto.**

**Esto debido a que el volumen absoluto de los productos hidratados del cemento es menor que el volumen absoluto del cemento y el agua antes de la hidratación.**





## **Retracción autógena:**

**Es la reducción macroscópica del volumen (cambio dimensional visible) de la pasta de cemento, mortero o concreto, causada por la hidratación del cemento.**

**La retracción química conduce a la retracción autógena; la cual en presencia de agua de curado no puede ocurrir,**

**PERO...**





## Retracción autógena:

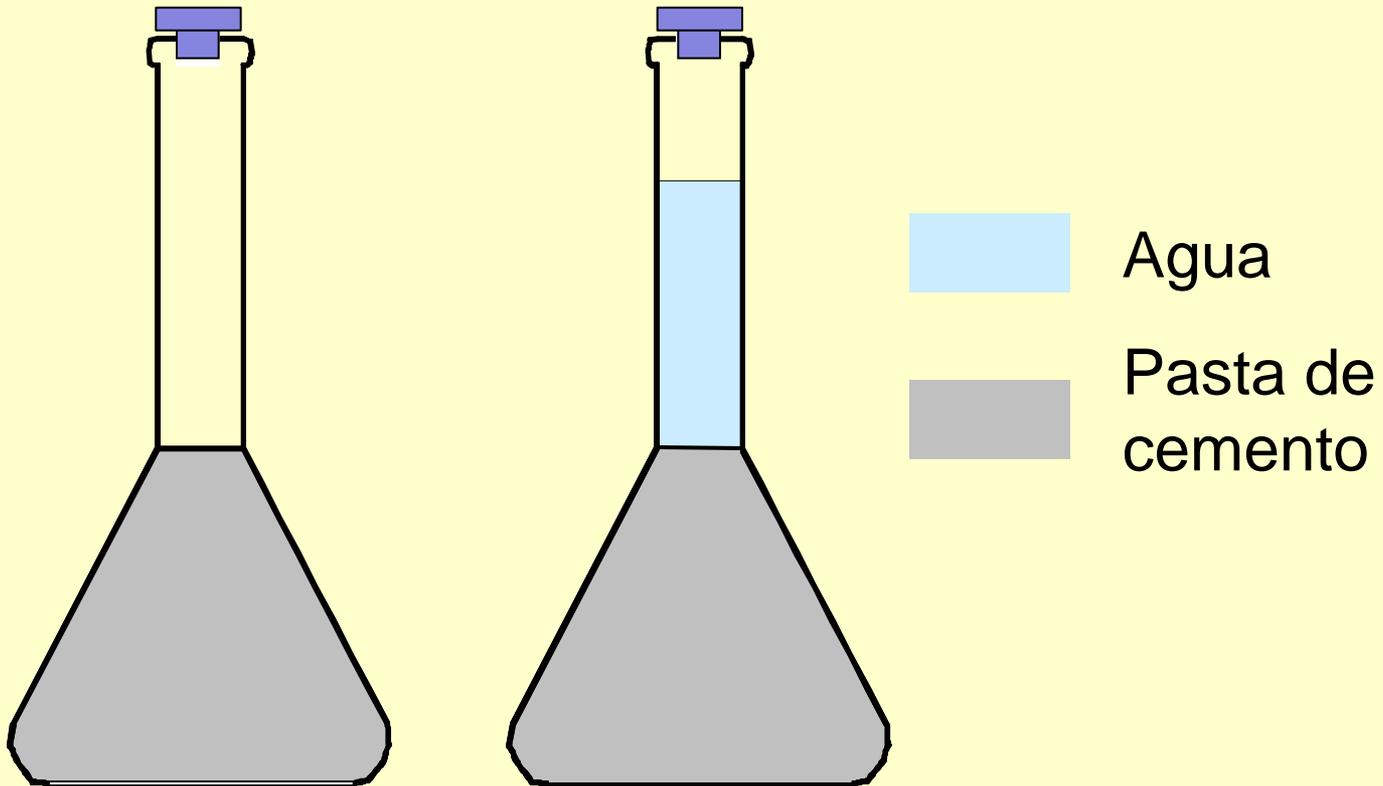
Quando el agua externa no está disponible, la hidratación del cemento consume el agua de los poros, resultando en una **AUTODESECACIÓN** de la pasta y en una reducción uniforme del volumen. (Copeland y Braga 1995)





# Curado del CAC

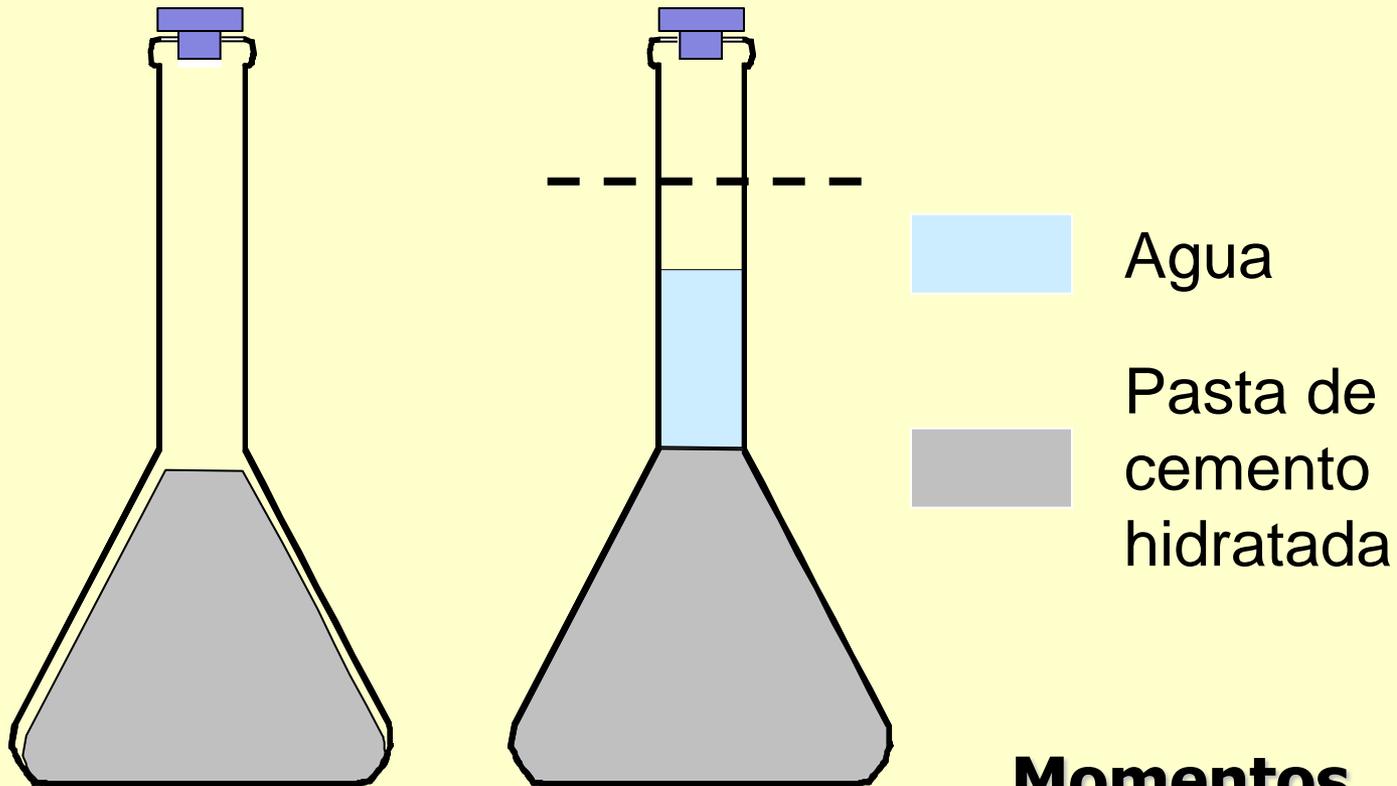
## Cambios volumétricos durante la hidratación





# Curado del CAC

## Cambios volumétricos durante la hidratación



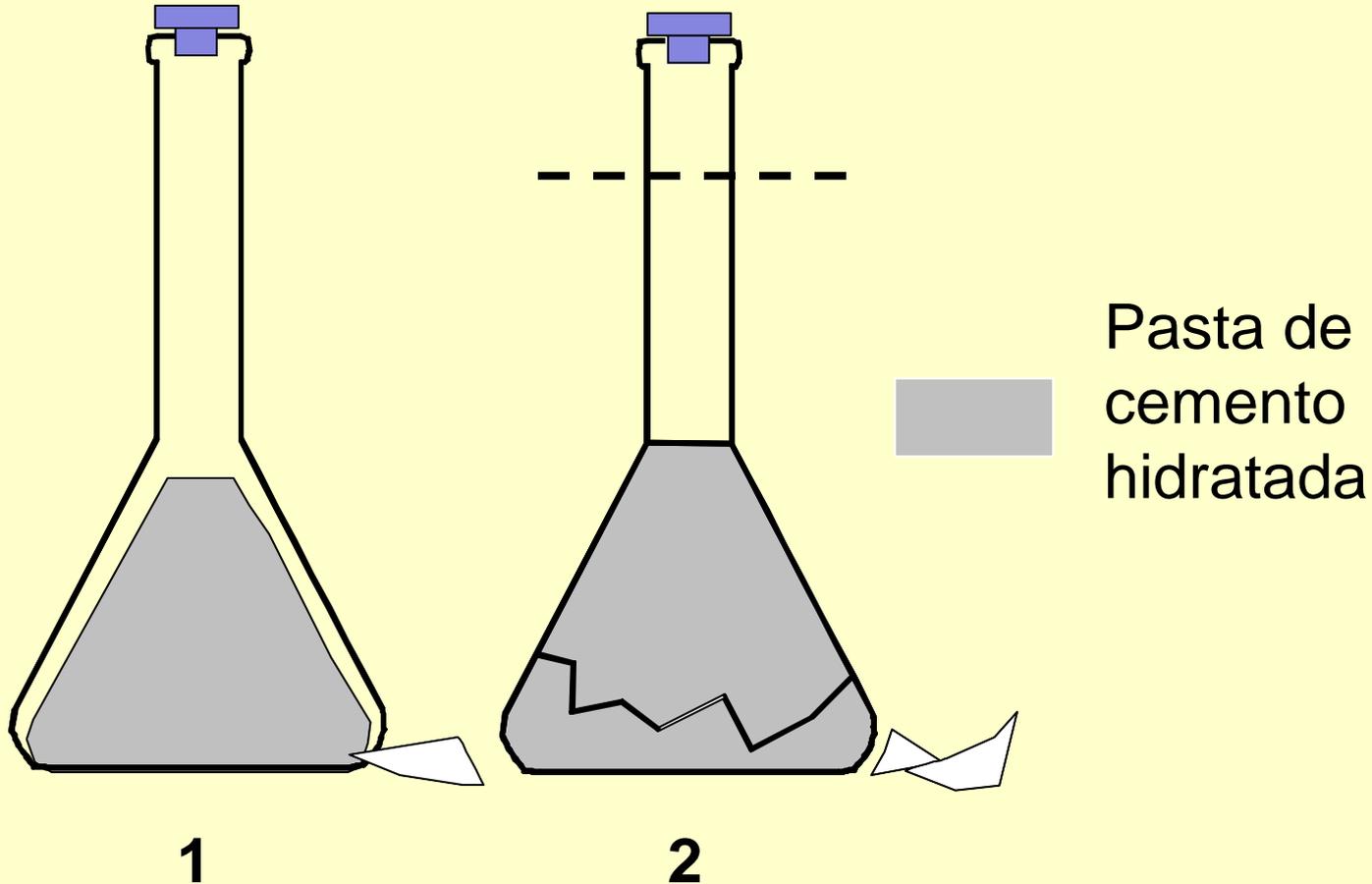
**Momentos después**





# Curado del CAC

## Cambios volumétricos durante la hidratación

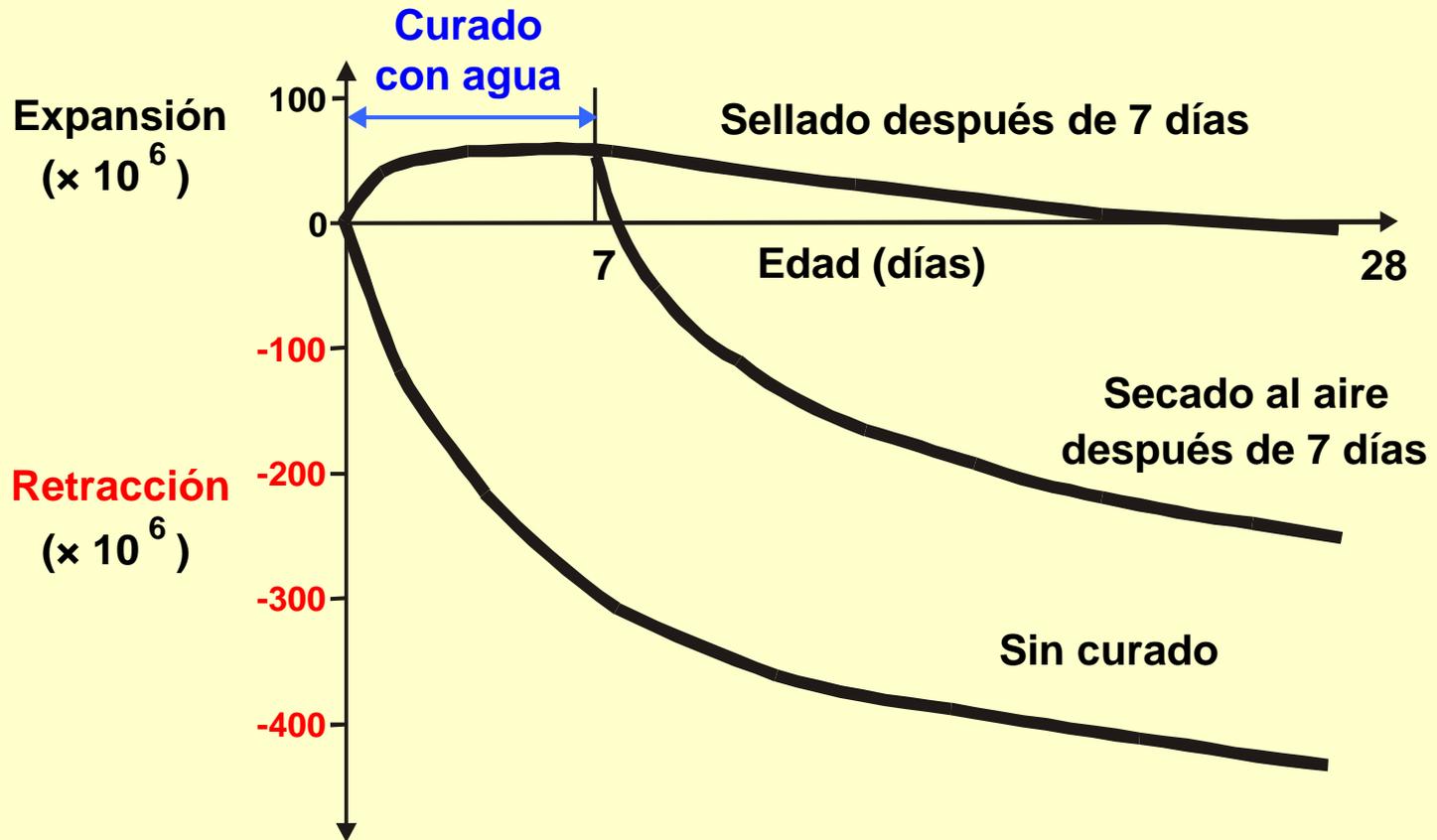


Más tarde





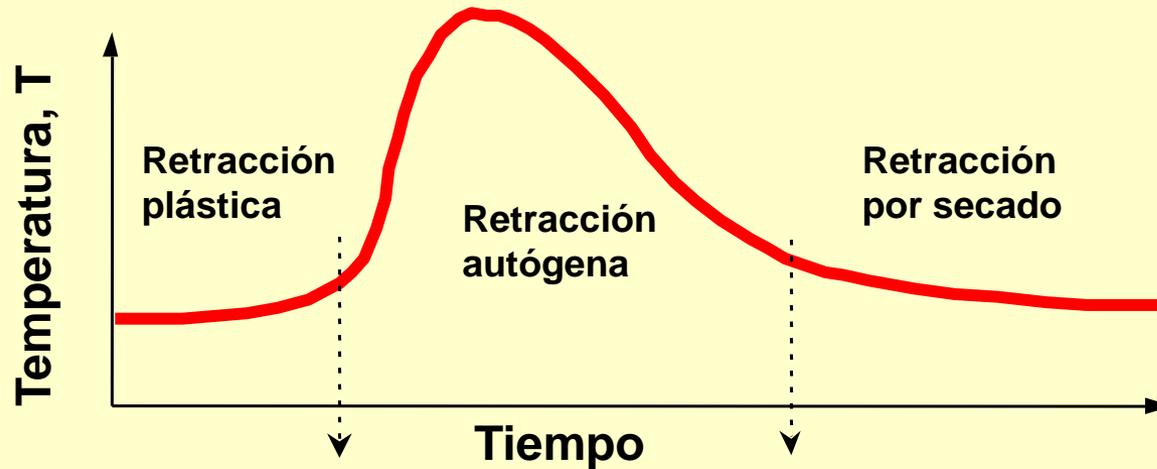
# Curado del CAC



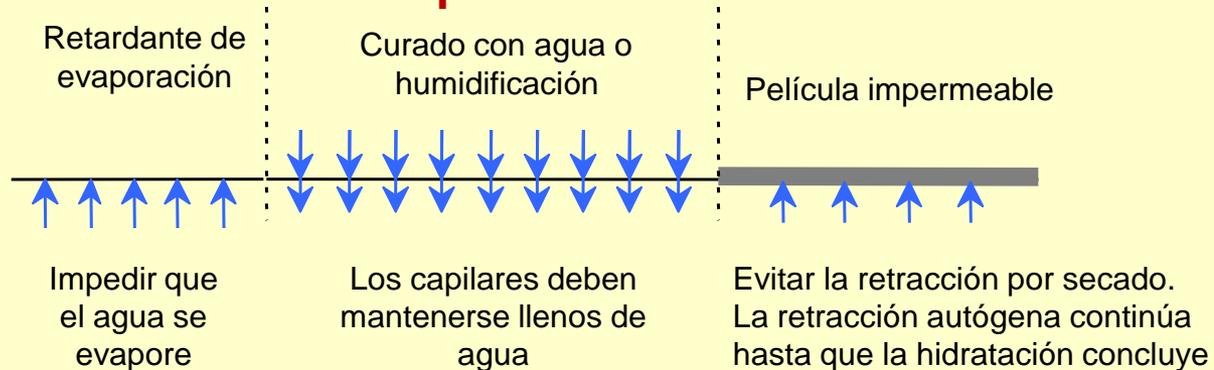


# Curado del CAC

No es posible despreciar la retracción autógena en un concreto de alto desempeño



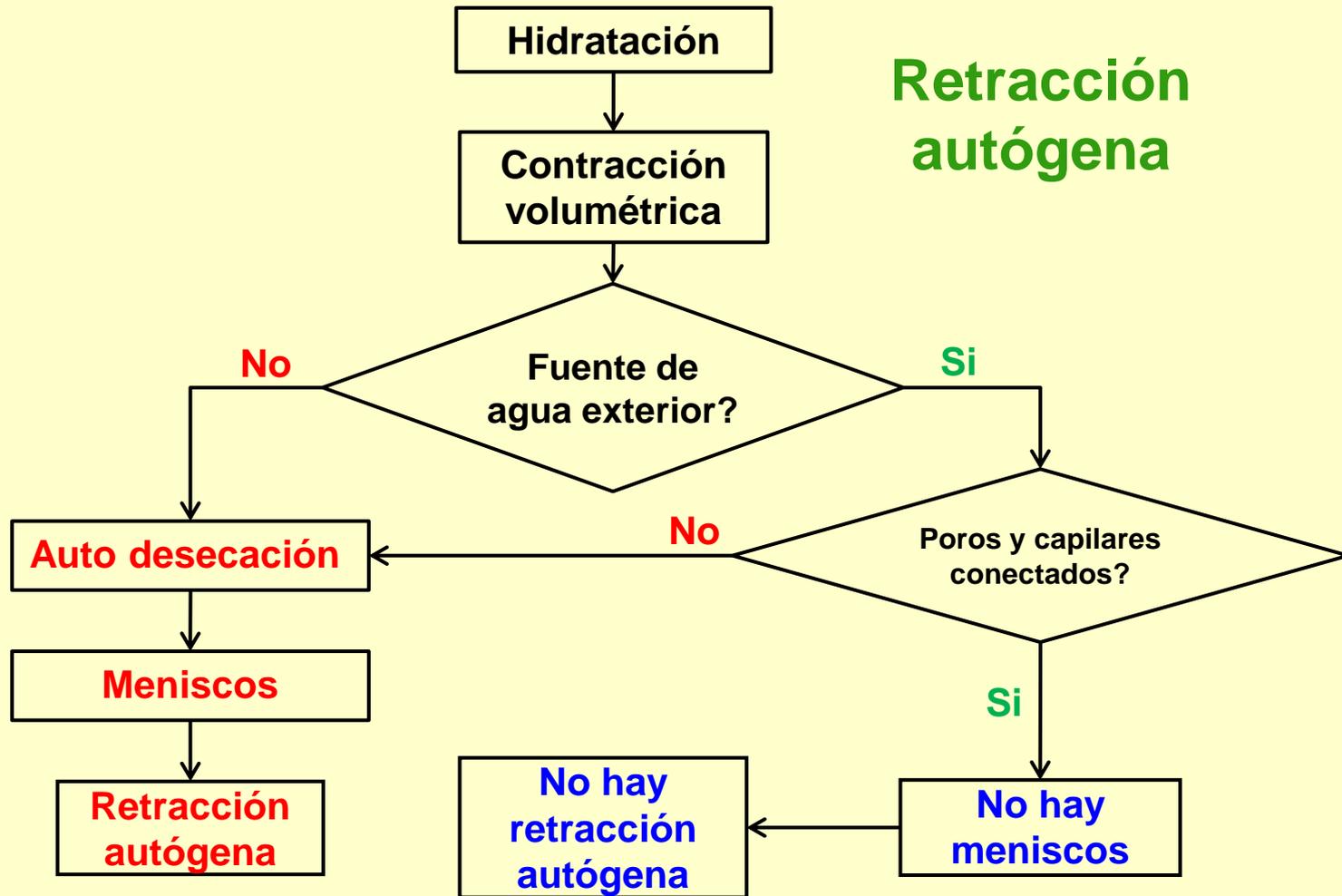
## Curado del concreto para minimizar su retracción





# Curado del CAC

## Cambios volumétricos durante la hidratación





# Curado del CAC

## Agrietamiento por retracción plástica



**En su mayoría, los concretos de alto comportamiento no sangran y por tanto son más susceptibles a este tipo de agrietamientos.**





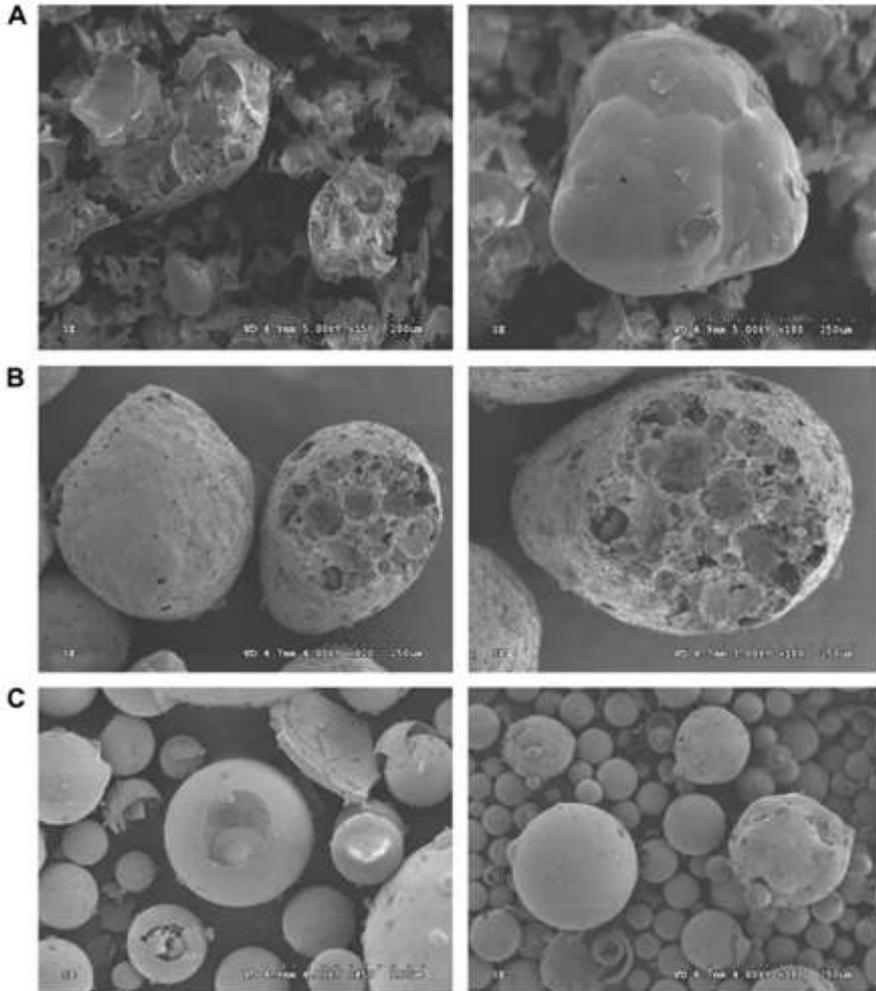
# CURADO INTERNO

# “CONVENCIONAL”





# CURADO INTERNO CONVENCIONAL



Materiales puzolánicos ligeros utilizados en morteros: Evaluación de su influencia en la densidad, resistencia mecánica y absorción de agua, Marcos Lanzón Torres, P. A. García Ruiz, Cement and Concrete Composites 2009.



Polímeros superabsorbentes



Pizarra expandida





# CURADO INTERNO CONVENCIONAL

**Agregado ligero sinterizado a partir de lodos de drenaje.**

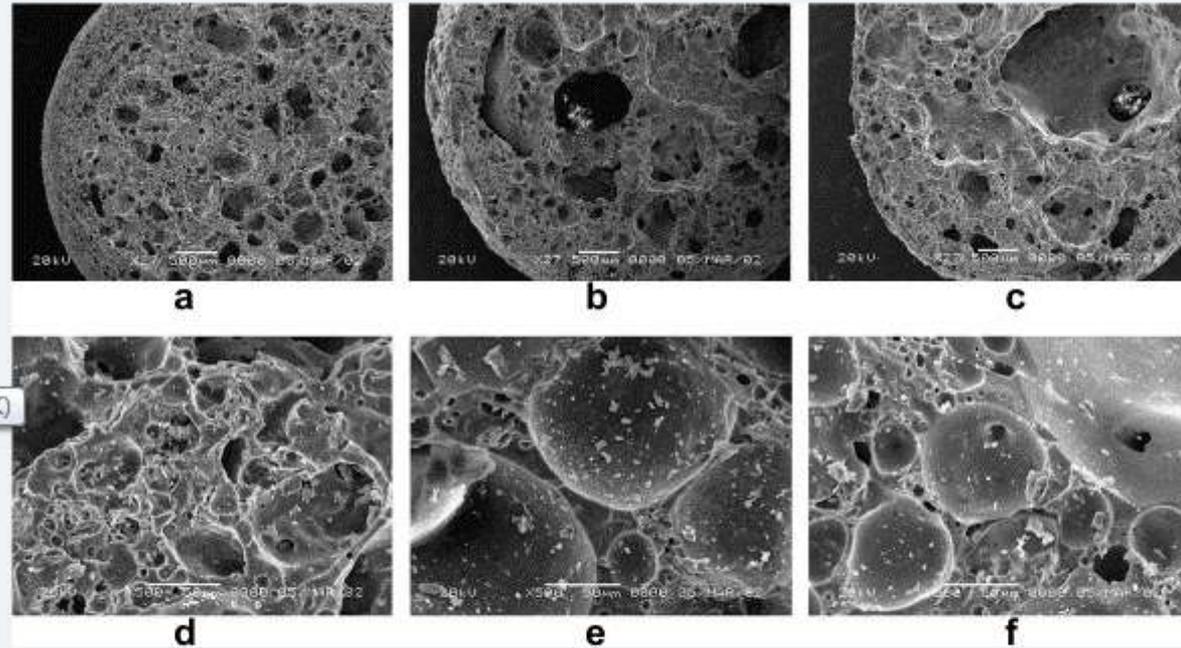


Fig. 5. Microstructures of lightweight aggregate with various clay–sewage sludge ratios: (a) Clay:sewage sludge = 100:100

Desarrollo y ensayo de agregados ligeros usando lodos de drenaje para concretos no estructurales, K.J.Mun, Construction and Building Materials 2007.

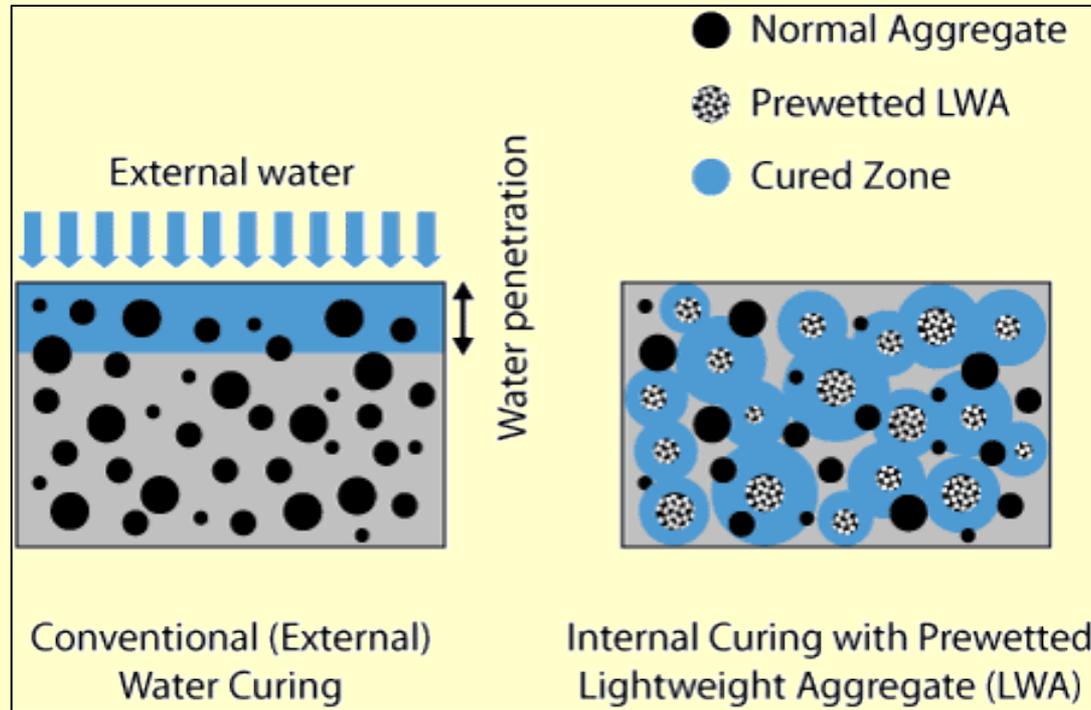
sewage sludge = 100:10

**Arcilla expandida**





# CURADO INTERNO CONVENCIONAL



Curado Interno Vs Curado Externo

Bentz & Snyder, [1999]

Jensen & Hansen (T.C. Powers), [2001]





Designation: C1761/C1761M – 12

## Standard Specification for Lightweight Aggregate for Internal Curing of Concrete<sup>1</sup>

### 1. Scope

1.1 This specification covers lightweight aggregate intended to provide water for internal curing of concrete. It includes test methods for determining the absorption and desorption properties of lightweight aggregate.





# CURADO INTERNO CONVENCIONAL



Designation: C1761/C1761M – 12

**Nota 1:** El curado interno representa una fuente adicional de agua para mantener la hidratación y reducir sustancialmente la retracción autógena y la autodesecación que pueden contribuir de manera significativa en el desarrollo de agrietamientos a edades tempranas. El Apéndice X1, proporciona una guía para calcular la cantidad de agregado ligero necesaria para el curado interno.





# CURADO INTERNO

# “MEJORADO”





# CURADO INTERNO MEJORADO

**Mecanismos de reducción de agrietamiento reconocidos por Sant et al [2009]:**

- **Incrementar el volumen de poros que dictan la respuesta al agrietamiento.**
- **Al disminuir la tensión superficial de la solución del poro se reduce el desarrollo de la presión en el poro.**
- **Añadir SRA puede dar como resultado un período de expansión, que inicia poco después del fraguado y aporta un beneficio considerable en la mitigación del agrietamiento, incluso en períodos extensos.**





# CURADO INTERNO MEJORADO

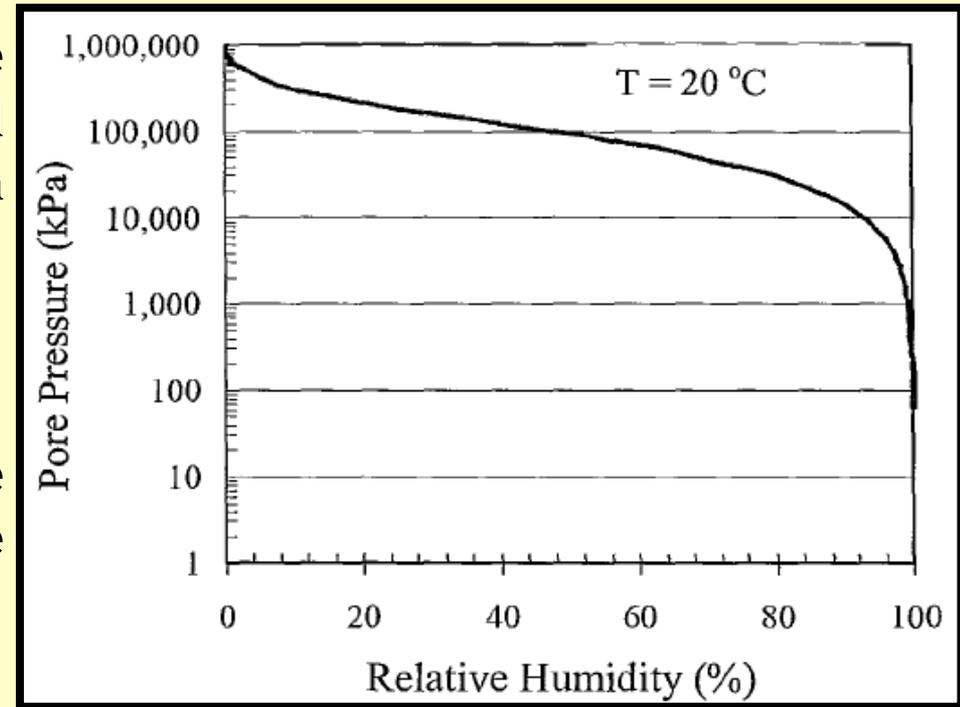
La pérdida de agua interna induce presión negativa y agrietamiento. El fenómeno se explica con la fórmula de Kelvin :

$$\ln \varphi = - \frac{2\sigma M}{\rho R T r} \quad \text{Eq.1.}$$

La presión de succión o del poro se obtiene mediante la fórmula de Laplace :

$$s = \frac{2\sigma}{r} \quad \text{Eq.2.}$$

$$\ln \varphi = - \frac{sM}{\rho R T} \quad \text{Eq.3.}$$



Humedad Relativa vs. Presión del poro basada en las fórmulas de Laplace y Kelvin [Holt, 2001]





# RESULTADOS EXPERIMENTALES





## Materialles:

- **Cemento CPO 40 (NMX C 414)**
- **Agregado de caliza triturada (T máx. 9mm)**
- **Aditivo SF, Glenium 3030NS**
- **Aditivo SRA, BASF Masterlife 20**





## Relevancia de la investigación

Mucilago de nopal en solución acuosa

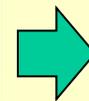
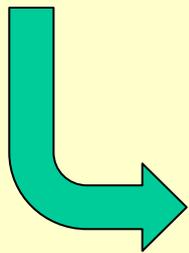
**Vs**

- SCC convencional
- SCC con curado interno convencional con agua
- SCC con curado interno mejorado con SRA





# HPC: Concreto de Alto Comportamiento



- Aumento de consistencia
- Aumento de trabajabilidad

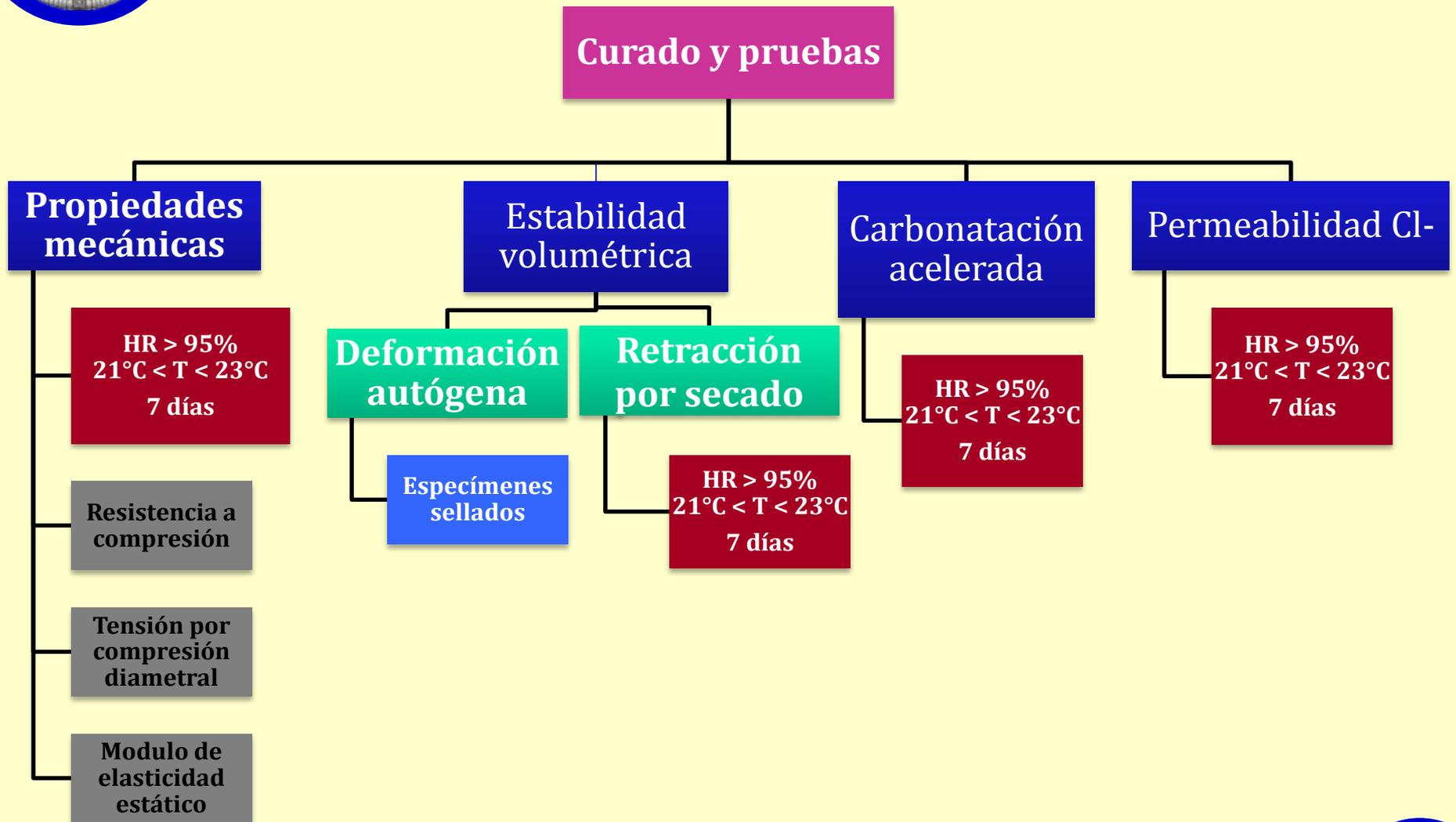


**Mantenimiento de la rel. A/Cm**





# EL MUCILAGO DE NOPAL





# EL MUCILAGO DE NOPAL

## Identificación de mezclas

<i><b>R</b></i>	<i><b>Referencia</b></i>
<i><b>IC</b></i>	<i><b>Curado interno convencional</b></i>
<i><b>ICNA</b></i>	<i><b>Curado interno mejorado con mucilago</b></i>
<i><b>IC-MNA</b></i>	<i><b>Curado interno convencional con agua + mucilago en la mezcla</b></i>
<i><b>IC-SR</b></i>	<i><b>Curado interno mejorado con SRA</b></i>
<i><b>IC-MSR</b></i>	<i><b>Curado interno convencional con agua + mucilago en la mezcla</b></i>





# EL MUCILAGO DE NOPAL

CARACTERÍSTICA DE TRABAJABILIDAD	MÉTODO DE PRUEBA	VALORES BUSCADOS
<b>Deformabilidad y taza de flujo</b> <b>(Habilidad de llenado, flujo no restringido)</b>	<b>Extensibilidad del revenimiento</b>	<b><math>680 \pm 20</math> mm</b>
	<b>T- 500</b>	<b>2 a 5 segundos</b>
<b>Habilidad de paso</b> <b>(habilidad de paso por aberturas estrechas, flujo confinado, flujo restringido, estabilidad dinámica)</b>	<b>Caja V</b> <b>(abertura 65 x 75 mm)</b>	<b>&lt; a 8 segundos</b>
	<b>Caja L, <math>h_1/h_2</math></b>	<b>&gt; 0.8</b>
	<b>Anillo J</b>	<b>&lt; 15 mm</b>
<b>Habilidad de llenado</b> <b>(habilidad de llenado + habilidad de paso, + deformabilidad restringida)</b>	<b>Caja L, <math>h_1/h_2</math></b>	<b>&gt; 0.8</b>
	<b>Anillo J</b>	<b>&gt; 0.8</b>
<b>Estabilidad estática</b> <b>(resistencia a la segregación, sangrado y asentamiento)</b>	<b>GTM estabilidad aparente</b>	<b><math>\leq 15</math> %</b>





# EL MUCILAGO DE NOPAL

## *Proceso de extracción del mucilago*

1.- Opuntia-Cactus (Nopal) en su medio natural

2.- Corte de cladodios en secciones de  $1 \times 1$  cm



3.- Hervido por 5 min. a  $\sim 94^{\circ}\text{C}$

4.- Solución acuosa con mucilago de nopal





# CURADO INTERNO MEJORADO

## Tensión superficial y viscosidad de cada solución a 23°C

Solución:	Agua potable	SR 1:1	NA 1:1	NA 1:3.5	NA 1:5
Densidad, g/cm <sup>3</sup>	0.9947	1.0129	0.9992	0.9986	0.9955
Viscosidad, cP	3.0	15.0	10.0	5.0	5.0
Tens. Sup., mN/m	68.49	30.60	49.24	47.64	49.95

**SR** = Solución acuosa SRA : Agua destilada en masa

**NA** = Solución acuosa Nopal : Agua destilada en masa





# EL MUCILAGO DE NOPAL

<i>Ingredientes</i>	<i>Mezcla</i>					
	<i>R</i>	<i>IC</i>	<i>ICSR</i>	<i>IC-MSR</i>	<i>IC-NA</i>	<i>IC-MNA</i>
<i>Extensión, mm</i>	<b>680</b>	<b>660</b>	<b>670</b>	<b>680</b>	<b>650</b>	<b>690</b>
<i>T500, s</i>	<b>2</b>	<b>2.3</b>	<b>2.6</b>	<b>2.5</b>	<b>2.8</b>	<b>2</b>
<i>Anillo J, mm</i>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>12</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>12</b>
<i>Embudo V, s</i>	<b>3.5</b>	<b>4.8</b>	<b>5.5</b>	<b>4.5</b>	<b>5.6</b>	<b>4.4</b>
<i>Caja L, H2/H1</i>	<b>0.85</b>	<b>0.87</b>	<b>0.88</b>	<b>0.86</b>	<b>0.85</b>	<b>0.90</b>
<i>Segregación estática, %</i>	<b>4.8</b>	<b>4.4</b>	<b>4.1</b>	<b>4.7</b>	<b>4.5</b>	<b>5.1</b>





# EL MUCILAGO DE NOPAL

## Proporciones en kg/m<sup>3</sup>, materiales secos

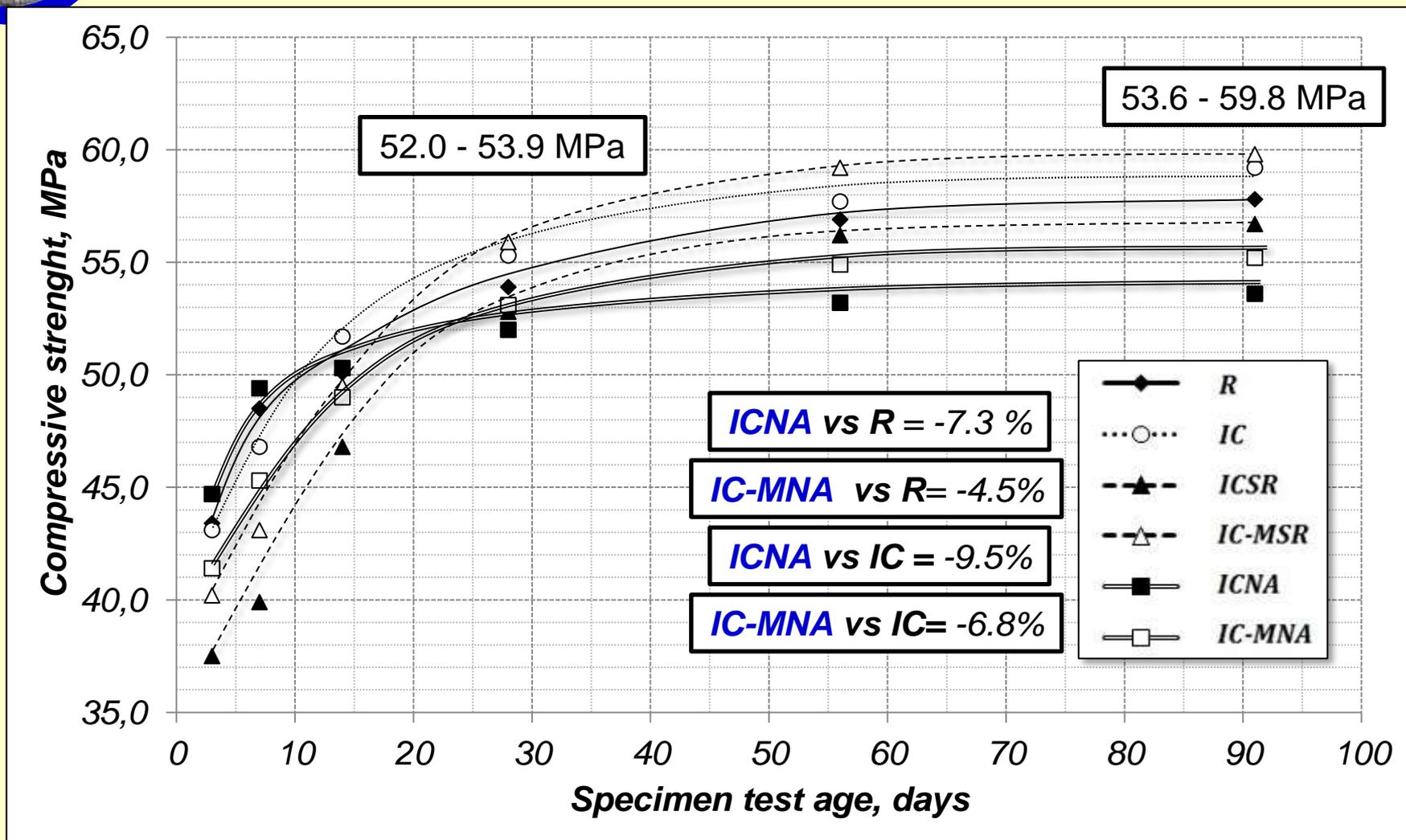
Ingredientes	Mezcla					
	R	IC	ICSR	IC-MSR	IC-NA	IC-MNA
Agua	213	213	213	187	213	187
Cemento	544	544	544	544	544	544
Arena de caliza	900	720	720	720	720	720
Grava de caliza	600	600	600	600	600	600
Arena ligera	---	83.14	83.14	83.14	83.14	83.14
HRWR	7.36	7.36	7.36	7.36	7.36	7.36
Solución SRA-agua (SR)	---	---	---	26	---	---
Solución Nopal-aguar (NA)	---	---	---	---	---	26

**A/C = 0.40; ASR = BASF Masterlife 20**





# CURADO INTERNO MEJORADO

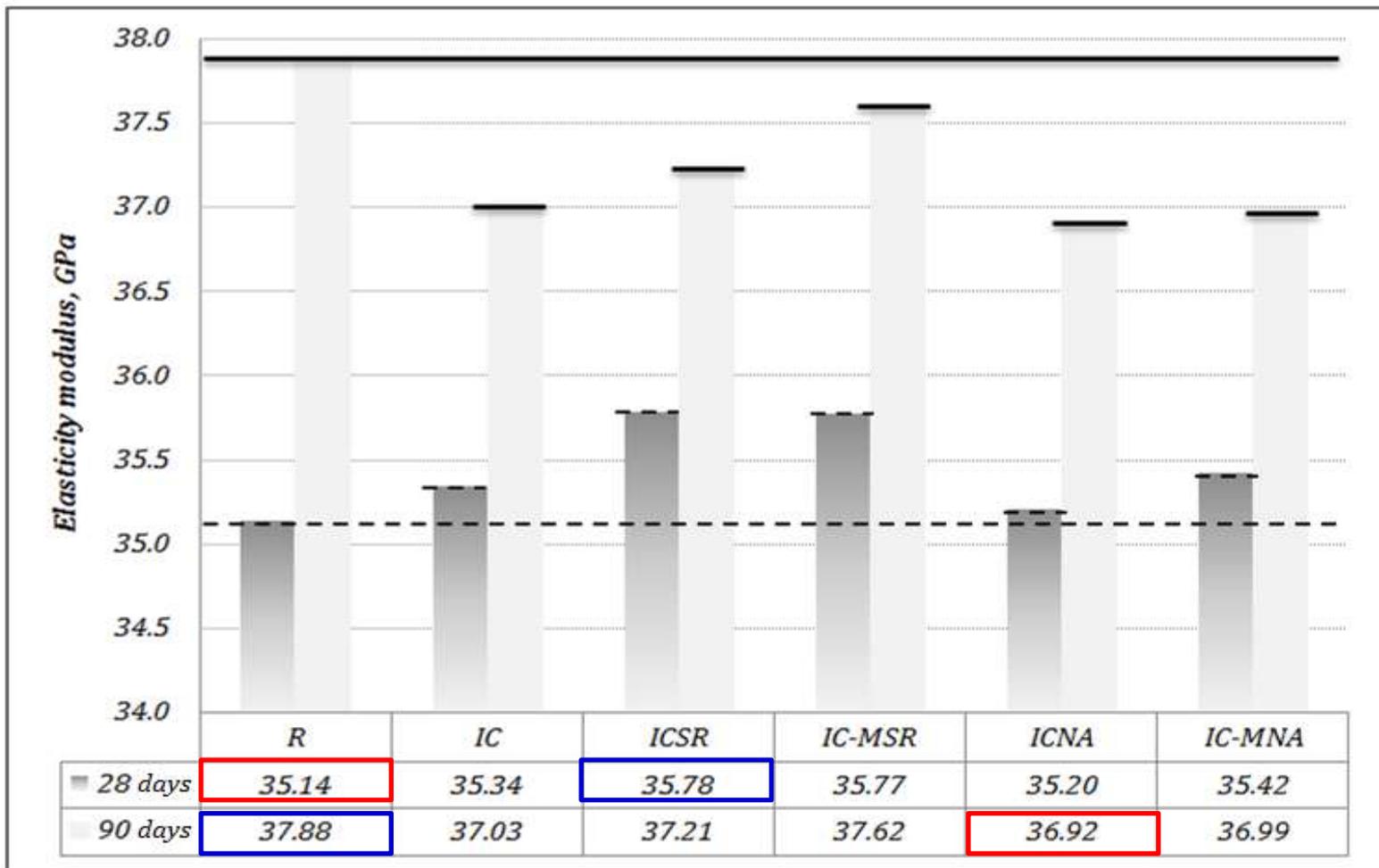


Resistencia a la compresión





# CURADO INTERNO MEJORADO



*Módulo de elasticidad estático.*





# CURADO INTERNO MEJORADO

- Tubos corrugados

Fabricación de especímenes

- Sellado sin intercambio de humedad con el ambiente

Curado

- HR = 50 %
- T = 23 ° C

Condiciones ambientales



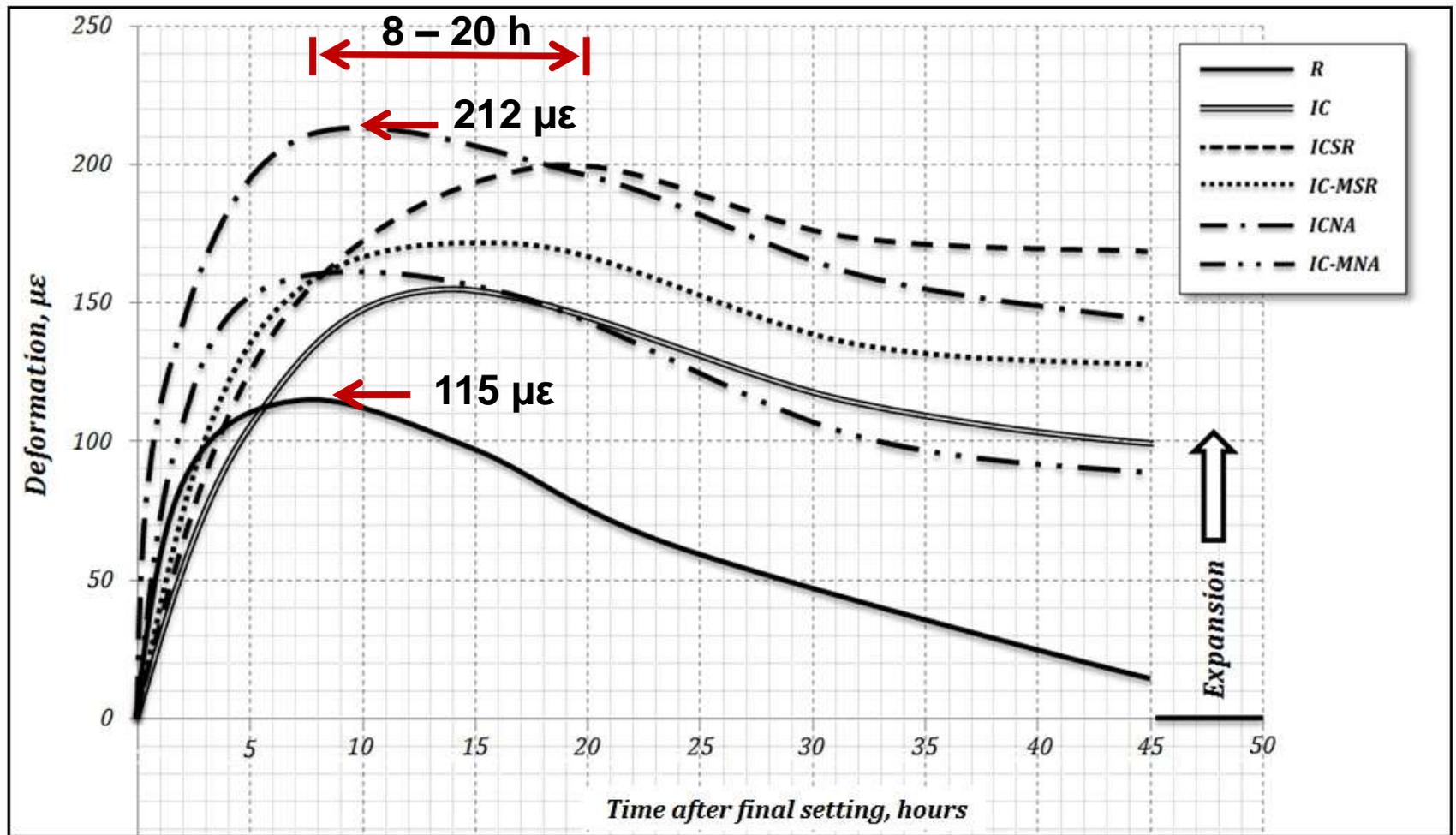
**Deformación**  
**Autógena**

ASTM C1698 - 09 Standard Test Method for Autogenous Strain of Cement Paste and Mortar





# CURADO INTERNO MEJORADO



Deformación autógena en la fracción de mortero.





# CURADO INTERNO MEJORADO

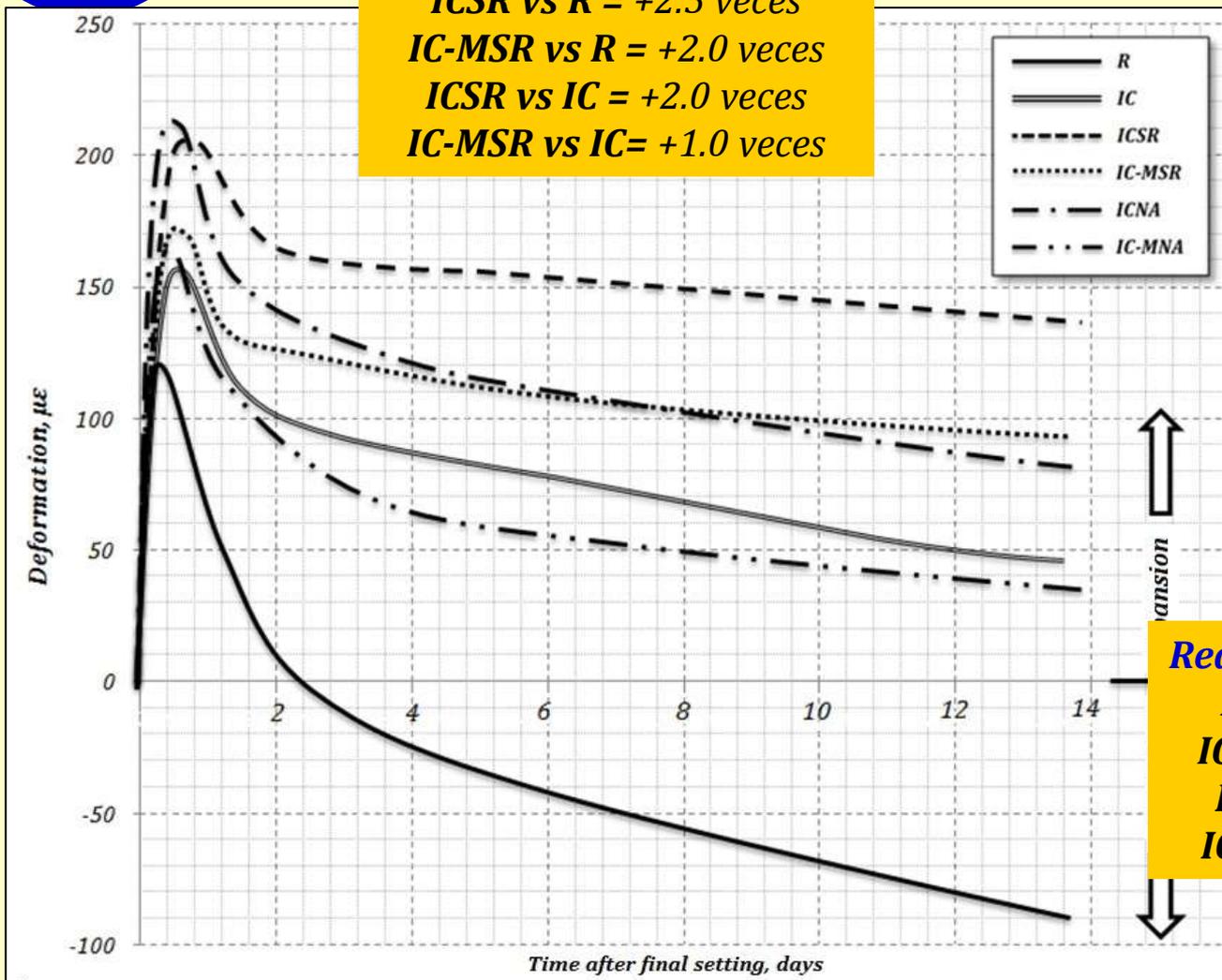
## Reducción atribuible al SR

ICSR vs R = +2.5 veces

IC-MSR vs R = +2.0 veces

ICSR vs IC = +2.0 veces

IC-MSR vs IC = +1.0 veces



## Reducción atribuible al NA

ICNA vs R = +1.9 veces

IC-MNA vs R = +1.4 veces

ICNA vs IC = +0.8 veces

IC-MNA vs IC = -0.2 veces

Fracción del mortero SCC – Deformación autógena hasta los 14 días





# CURADO INTERNO MEJORADO

*Tiempo estimado para cero deformación,  
Para una retracción lineal entre 6 y 12 días de edad*

<i>Mezcla</i>	<i><math>m_{6-12}</math>, <math>\mu\epsilon/\text{día}</math></i>	<i>Tiempo para llegar a eje X, días</i>
<i>R</i>	<i>---</i>	<i>2</i>
<i>IC</i>	<i>-4.7</i>	<i>23</i>
<i>ICSR</i>	<i>-2.5</i>	<i>69 (2.0 veces*)</i>
<i>IC-MSR</i>	<i>-1.8</i>	<i>65 (1.8 veces*)</i>
<i>ICNA</i>	<i>-4.0</i>	<i>34 (50 %*)</i>
<i>IC-MNA</i>	<i>-2.8</i>	<i>26 (30 %*)</i>

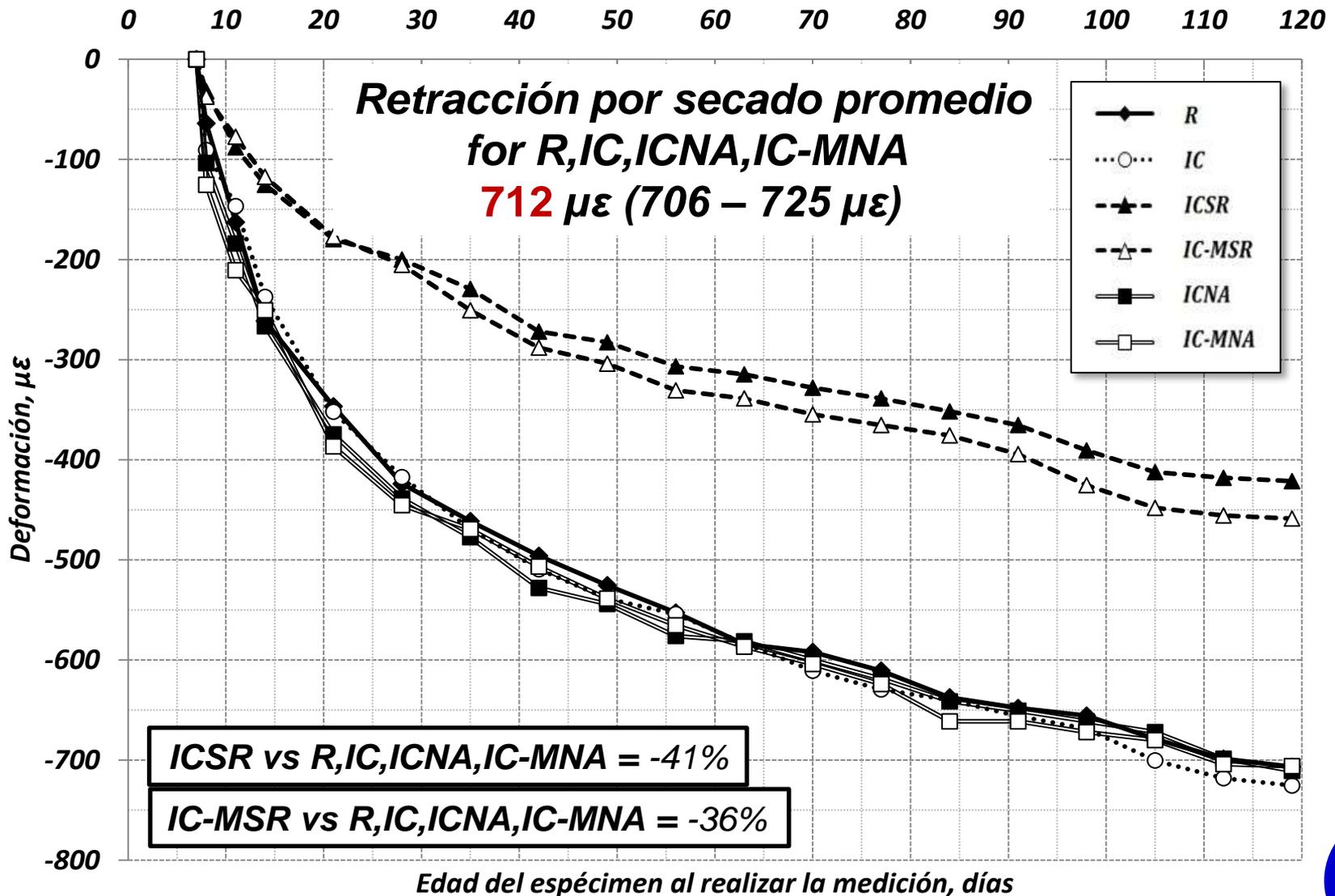
\* Período de tiempo para alcanzar la longitud original Vs IC





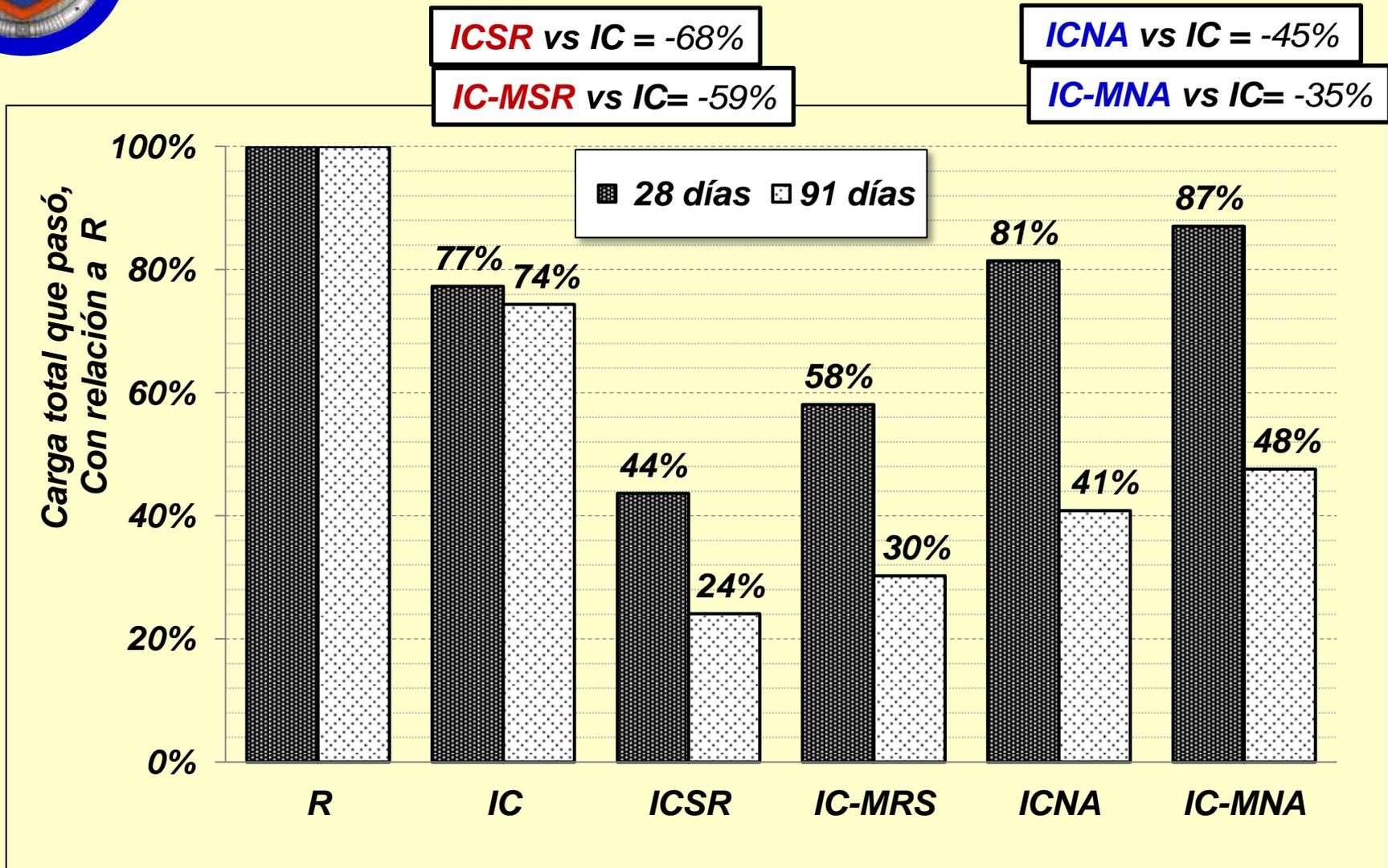
# CURADO INTERNO MEJORADO

## Retracción por secado





# CURADO INTERNO MEJORADO

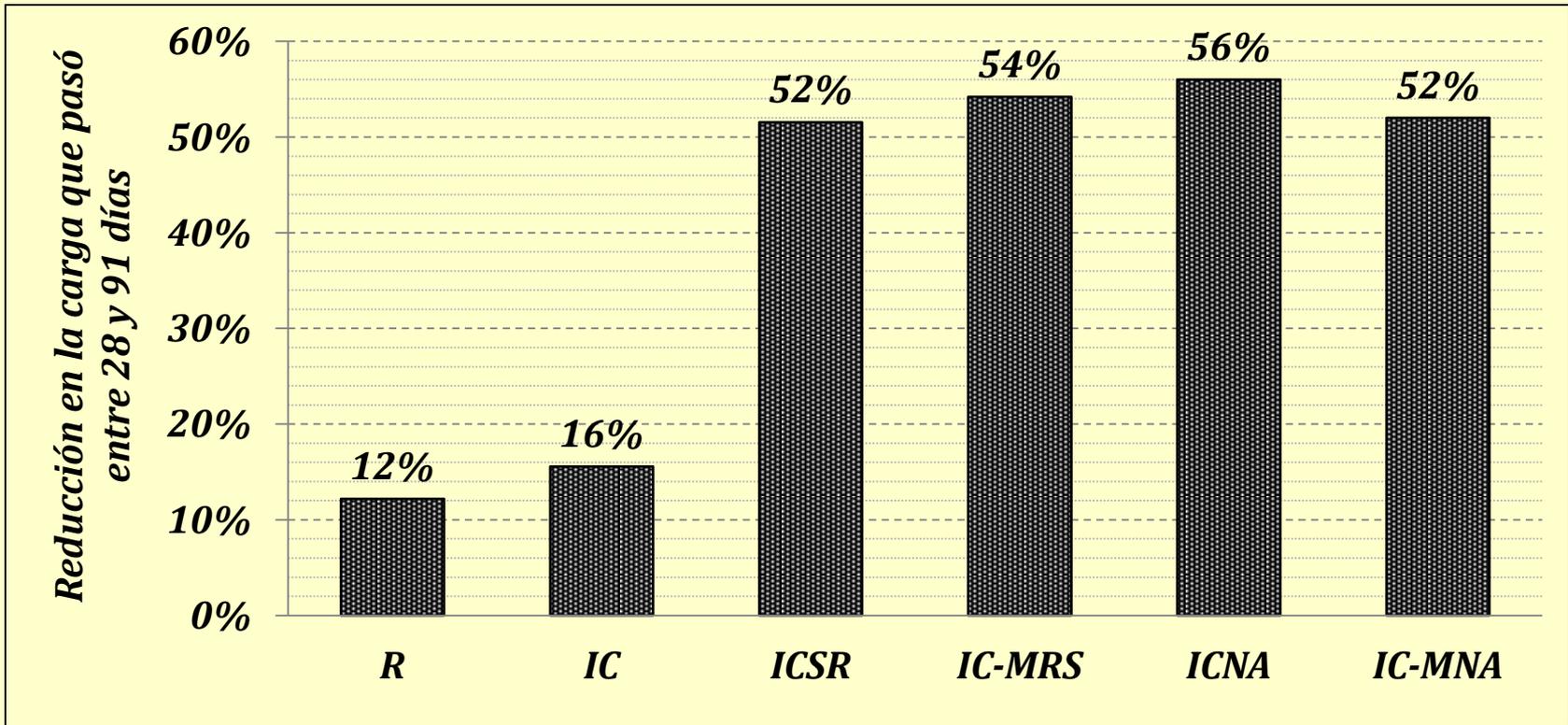


**Prueba rápida de permeabilidad al ion cloruro**





# CURADO INTERNO MEJORADO

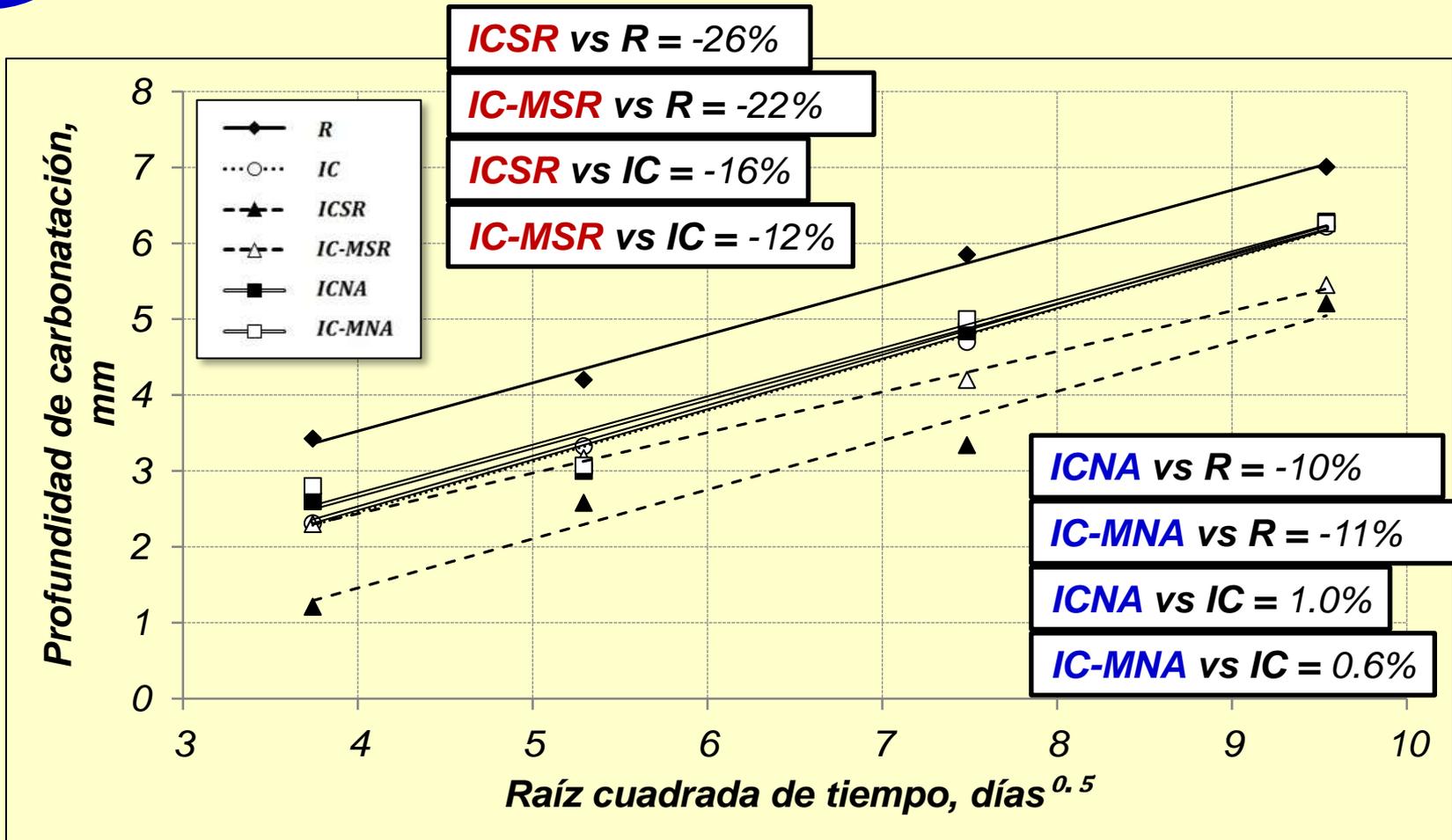


*Reducción entre 28 y 91 días*





# CURADO INTERNO MEJORADO



Carbonatación acelerada

Comparaciones a una edad de 91 días





# CONCLUSIONES

## Curado interno mejorado:

- Los aditivos SRA y NA no afectaron al  $f_c$  o al E
- Los concretos con SRA y NA presentaron mayores expansiones autógenas que la referencia, conduciendo a reducciones significativas del agrietamiento autógeno.
- Las soluciones de curado interno mejoradas con SRA o NA fueron mas efectivas para mitigar la deformación autógena.
- La reducción de la tensión superficial de la solución SRA para el curado interno a valores de 30 mN/m, resultaron ser una forma efectiva para mitigar la contracción autógena y por secado.
- El aditivo SRA reduce significativamente la contracción por secado.
- Los aditivos SRA y NA reducen el efecto de las propiedades de transporte tales como permeabilidad al ion cloruro y la carbonatación. El beneficio fue mayor para los concretos con soluciones SRA.





# Muito obrigado

# Gracias

**Alejandro Durán Herrera**  
**Facultad de Ingeniería Civil**  
**Universidad Autónoma de Nuevo León**  
**Monterrey, México**  
**[alejandro.duranhr@uanl.edu.mx](mailto:alejandro.duranhr@uanl.edu.mx)**

