

Influencia de la naturaleza  
mineralógica y  
carácter químico de los áridos sobre  
la zona interfacial con el cemento  
Portland

Eng. Dr. Alberto Delgado  
Quiñones



55<sup>o</sup> Congresso  
Brasileiro  
do Concreto

Centro de Eventos  
ExpoGramado  
Gramado – Rio Grande  
do Sul

# Índice de la presentación

- Introducción sobre la zona interfacial árido-pasta de cemento Portland
- Carácter químico *básico* de la pasta de cemento Portland
- Áridos de naturaleza mineralógica silícea y carácter químico *ácido*
  - Fundamento de su carácter químico *ácido*
  - Modelo microestructural árido silíceo-pasta de cemento Portland
- Áridos de naturaleza mineralógica calcárea y

# **Introducción sobre la zona interfacial árido-pasta de cemento Portland.-**

# Definiciones.-

## ① Interfase árido-pasta de cemento

Superficie de separación o de contacto entre el árido y la pasta de cemento.

Su extensión se expresa en unidades de superficie, su valor es aprox. el área superficial de los áridos.

## ② Zona de transición a la interfase (ZTI)

Región de la pasta de cemento hidratada que se extiende radialmente a partir de la interfase y cuyas propiedades son supuestamente diferentes a las del resto de la pasta de cemento.

## ① + ② = Zona interfacial árido-pasta de cemento

Incluye tanto a la interfase árido-pasta de cemento como a la zona de transición a la interfase.

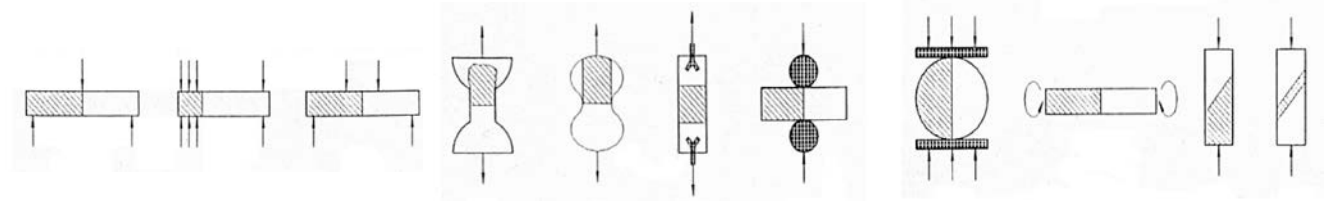


# Muestras compuestas vs. muestras reales

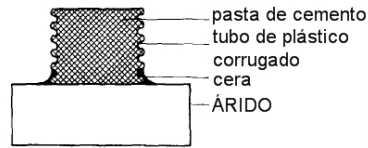
# vs. muestras reales

①

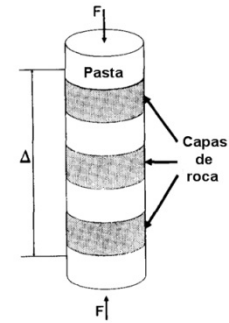
K.M. Alexander y cols. (1968)



Zimbelmann (1985)

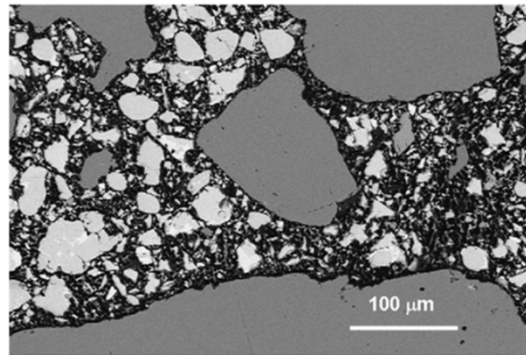


M.G. Alexander (1993)

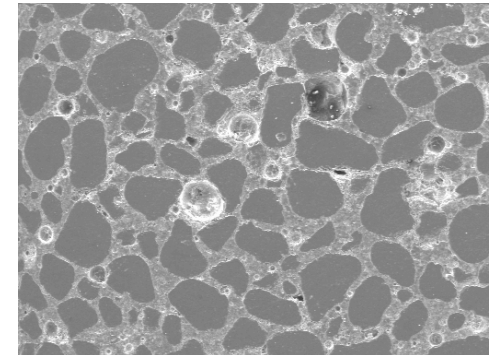


②

Diamond y col. (2008)



Micrografía a propia



# Muestras compuestas

# vs. muestras

reales

AFM

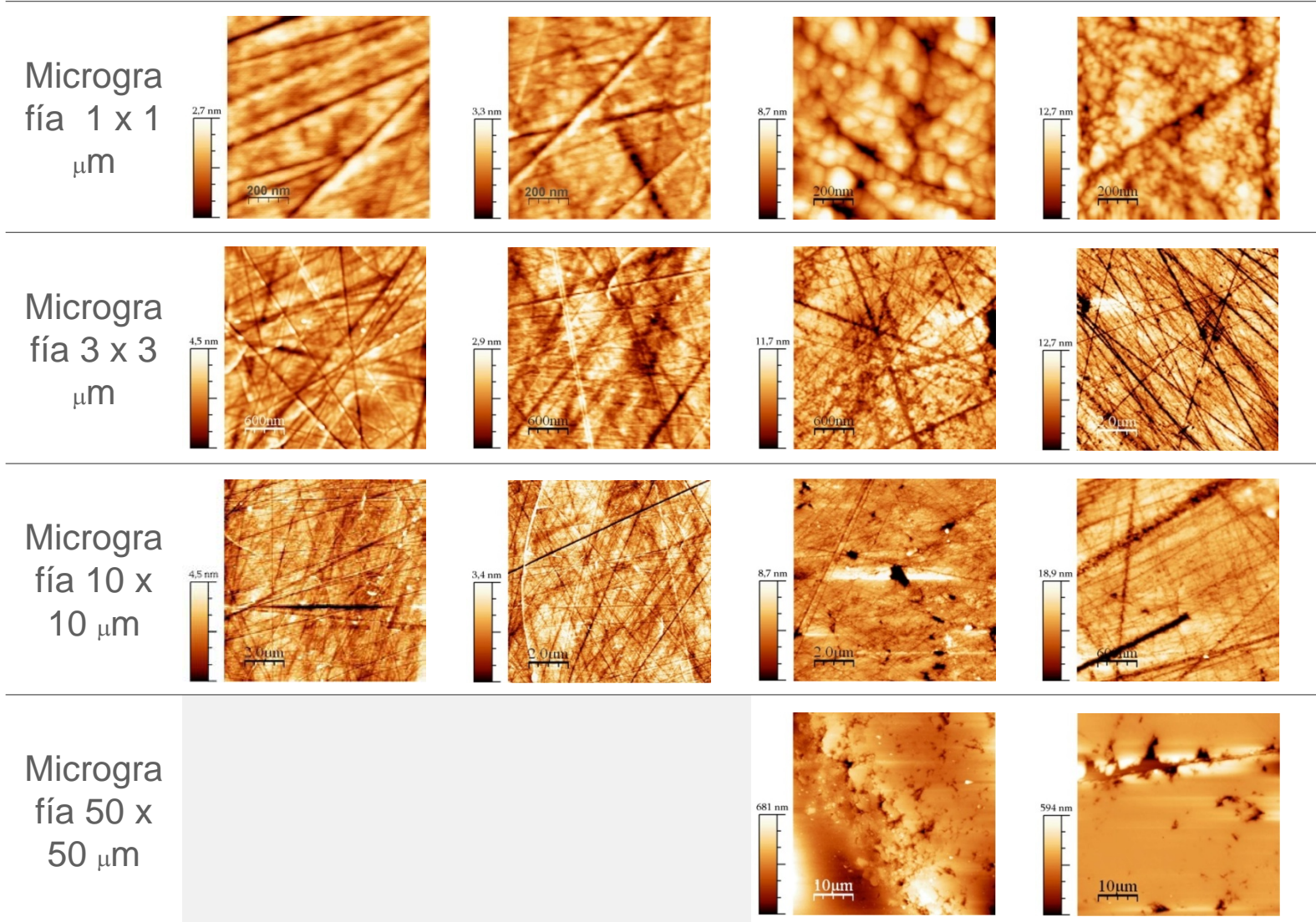
Silíceo O

Silíceo S

Calcáreo C

Calcáreo M

Resultados experimentales:  
Superficies pulidas de los áridos (= preparación metalográfica)



# Muestras compuestas reales

# vs. muestras

- 7 -

Micrografías AFM de 3x3  $\mu\text{m}$

Propiedad		Árido			
		Silíceo O	Silíceo S	Calcáreo C	Calcáreo M
Rugosidad, media aritmética / nm	$R_a$	0,54	0,46	1,67	2,07
Rugosidad, media cuadrática / nm	$R_q$	0,69	0,57	2,09	2,87
Valor máximo / nm	$R_p$	4,53	2,92	11,73	18,88
Altura promedio / nm	$A_p$	2,40	1,52	6,19	10,70

Micrografías AFM de

Propiedad		Árido 10x10 $\mu\text{m}$			
		Silíceo O	Silíceo S	Calcáreo C	Calcáreo M
Rugosidad, media aritmética / nm	$R_a$	0,58	0,52	2,49	1,81
Rugosidad, media cuadrática / nm	$R_q$	0,74	0,66	3,58	2,27
Valor máximo / nm	$R_p$	4,45	3,37	25,08	14,21
Altura promedio / nm	$A_p$	2,29	1,93	12,83	5,30

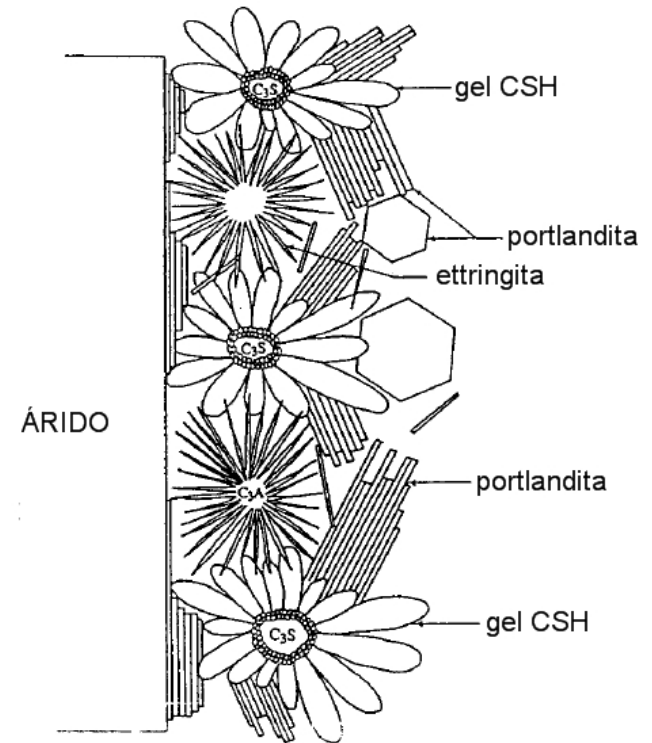
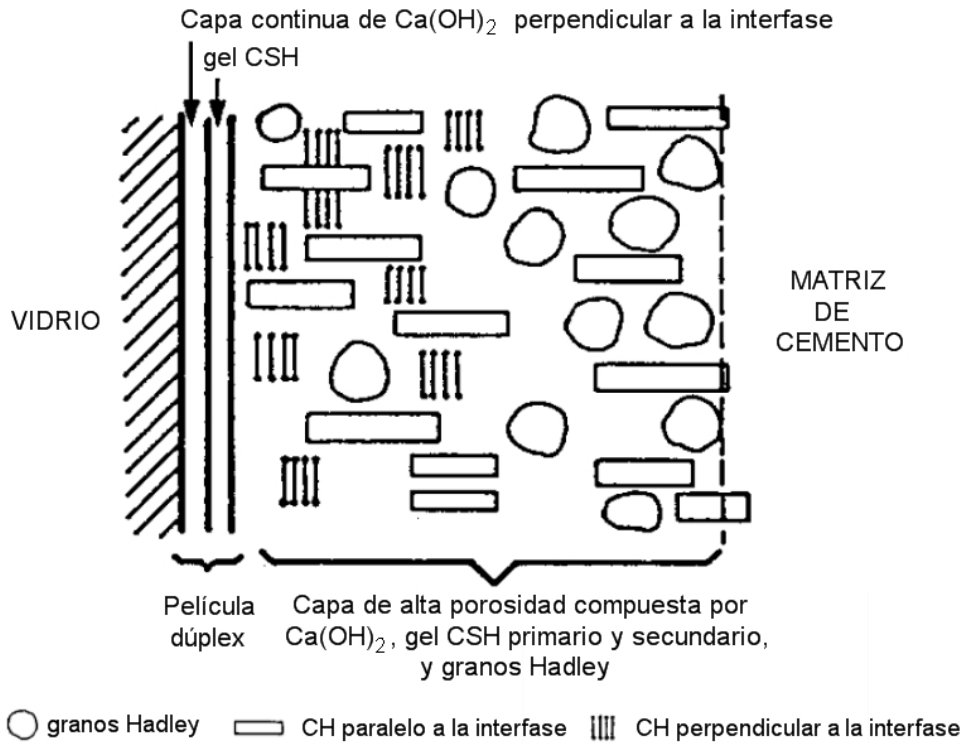
- Estos resultados demuestran la inadecuación de las *muestras compuestas*.

# Características generales comúnmente aceptadas -

- Los áridos se tratan meramente de inclusiones «inertes».
- La ZTI (50 a 100  $\mu\text{m}$ ) es la región más débil de los materiales de base cemento, debido a su mayor porosidad con respecto a la denominada matriz de cemento.
- Existe una distribución diferenciada de los productos de hidratación en función de la proximidad del árido (mayor cantidad de CH y Fase AFt).
- Existe un déficit de partículas de clinker sin hidratar en la proximidad de las interfases, debido a la película de agua que inicialmente cubre la superficie de los áridos.
- El «efecto pared» que ejerce la superficie de los

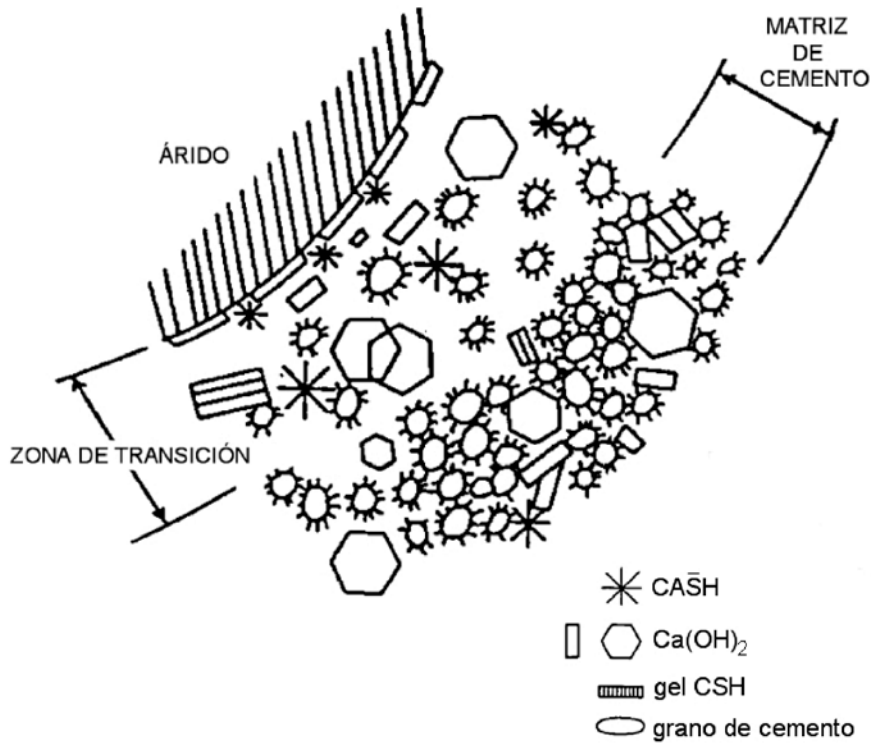


# Modelos microestructurales previos.-

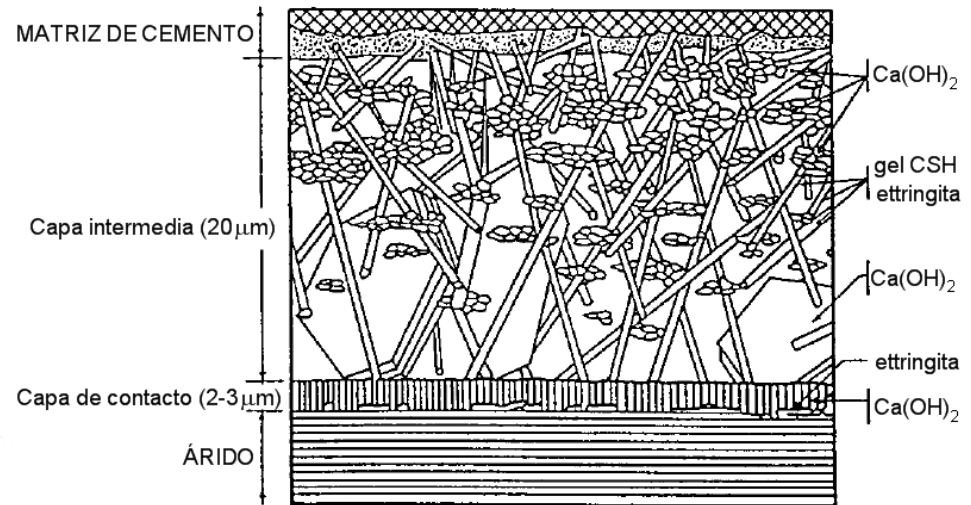


J. B. D., Diamond S., Dolch W.L. (1978, 1979) Ollivier J.P., Grandet J. (1982)  
y Maso J.C. (1980)

# Modelos microestructurales previos.-

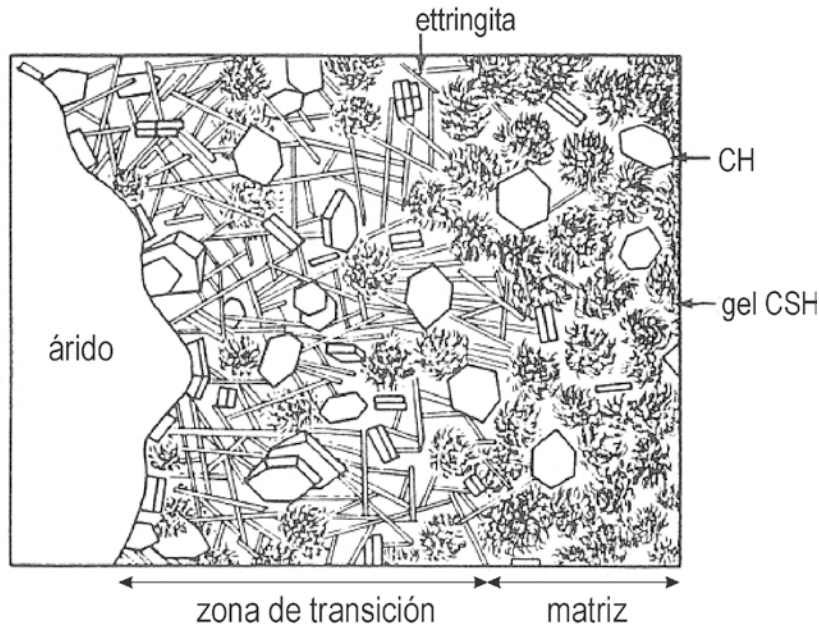


Monteiro P.J.M. (1985, 1986)



Zimbelmann R.  
(1985, 1987)

# Modelos microestructurales previos.-



Mehta P.K.  
(1986)

Todos los modelos microestructurales mostrados fueron desarrollados a partir de estudios sobre *muestras compuestas* de árido y pasta de cemento Portland.

# Interacción química entre los áridos silíceos y la pasta de cemento Portland.-

- Sistema  $\alpha\text{-SiO}_2\text{-Ca(OH)}_2\text{-H}_2\text{O}$ 
  - **Schwiete y cols. (1968)**: formación de gel CSH a partir de la reacción química entre el cuarzo y una disolución de hidróxido de calcio. Gel CSH fibroso sobre superficie áridos en hormigón de 30 años.
  - **Chatterji y col. (1971)**: el cuarzo de los áridos proporciona parte de los componentes necesarios para la formación del gel CSH. Aunque no se produce adherencia química.
  - **Patten (1972)**: se produce una adherencia de tipo químico en los áridos gruesos.
  - **Javelas y col. (1974, 1975)**: el cuarzo libera iones silicato a la disolución de poro formando gel CSH de la misma naturaleza que el cemento Portland.



# Interacción química entre los áridos silíceos y la pasta de cemento Portland.-

- Sistema  $\alpha\text{-SiO}_2\text{-Ca(OH)}_2\text{-H}_2\text{O}$ 
  - [W.A. Tasong \(1997\)](#), Tasong y cols. (1998a, 1998b, 1999): concluyeron que los áridos son más activos químicamente de lo considerado hasta entonces, pudiéndose predecir la interacción química con la disolución de poro en función de su naturaleza.
    - Con árido calcáreo identificaron carboaluminato y componentes amorfos, mientras que con árido silíceo la formación de gel CSH .
    - Identificaron una componente química en la resistencia de adhesión entre el árido con la pasta de cemento Portland (silíceo > calcáreo).
    - Cantidad de CH, tamaño y orientación preferencial

# Interacción química entre los áridos silíceos y la pasta de cemento Portland.-

## ➤ Sistema $\alpha\text{-SiO}_2\text{-Ca(OH)}_2\text{-H}_2\text{O}$

- [A. Hussin \(2007\)](#), [Hussin y cols. \(2008\)](#), [Hussin y cols. \(2010a, 2010b\)](#): concluyeron que los áridos se comportan como sustancias reactivas que influyen sobre los procesos de hidratación.

- Residuo de los áridos en contacto 28 días con la disolución de poro:

tres granitos (silíceos) del CSU (A) // calizas del CSU

Árido que contenía el hormigón	Ca/Si		(Al+Fe)/Ca		S/Ca	
	1 día	28 días	1 día	28 días	1 día	28 días
Granito #1	2,29	1,69	0,17	0,20	0,057	0,061
Granito #2	2,13	1,17	0,11	0,19	0,051	0,053
Granito #3	2,66	1,73	0,17	0,21	0,052	0,056
Caliza	4,23	5,38	0,03	0,16	0,034	0,037

Composición diferenciada en la Z II en función del tipo de árido (tabla).

# Interacción química entre los áridos calcáreos y la pasta de cemento Portland.-

- Sistema  $\text{CaCO}_3\text{-Ca(OH)}_2\text{-H}_2\text{O}$ 
  - Aparición de «corrosión superficial» y transformación en hidróxido de calcio.
- [Javelas y cols. \(1974, 1975\)](#): solución sólida de gel CSH e iones  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{CO}_3^{2-}$ .
- Sistema  $\text{CaCO}_3\text{-3CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\text{-H}_2\text{O}$ , formación de carboaluminatos
  - Formación inicial de  $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\frac{1}{2}\text{CO}_2\cdot 12\text{H}_2\text{O}$ , y su transformación a  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{CaCO}_3\cdot 11\text{H}_2\text{O}$ .
  - O bien, [Monteiro y col. \(1986b, 1986c\)](#), de
- Sistema  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}\text{-CaCO}_3\text{-H}_2\text{O}$   
 $\text{Ca}_3(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2\cdot 1,5\text{H}_2\text{O}$ .
  - [Ramachandran y col. \(1986\)](#), coexistencia Fases AFt, AFm y carboaluminatos, interacción en la transformación de ettringita a monosulfoaluminato.
- Desaparición progresiva de los carboaluminatos.

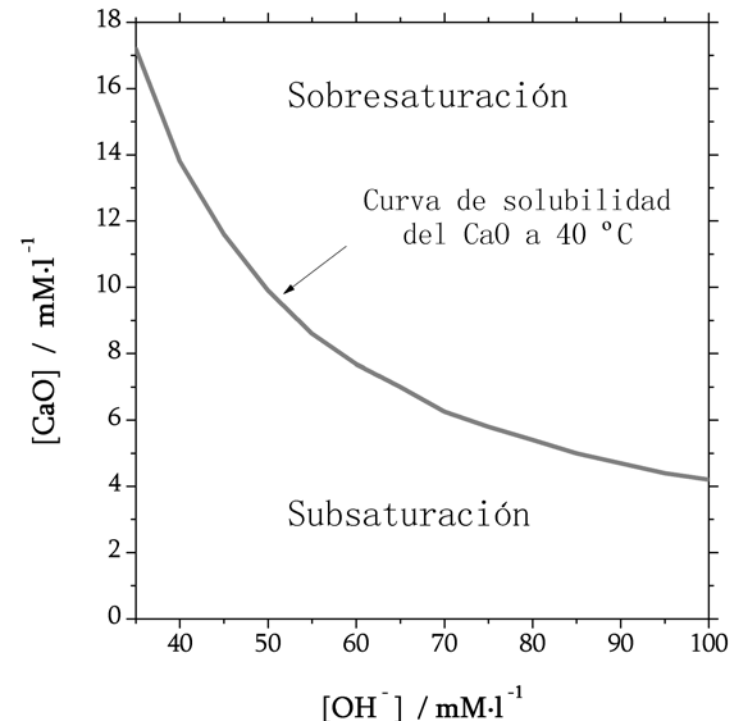
**Carácter químico básico  
de la pasta de cemento  
Portland.-**



# Carácter químico de la pasta de cemento Portland.-

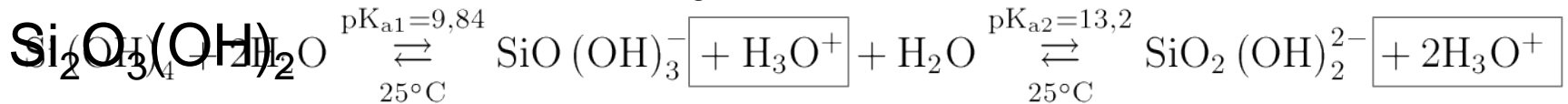
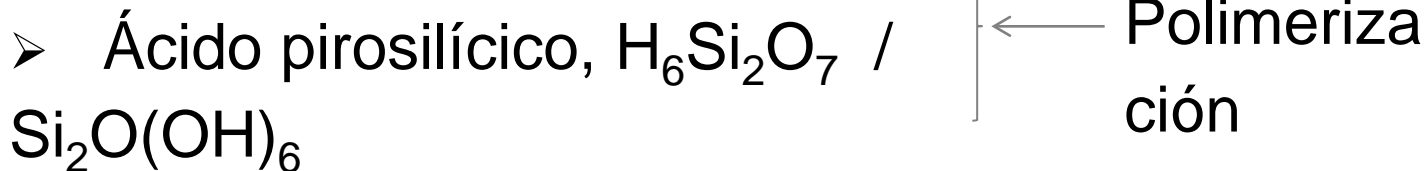
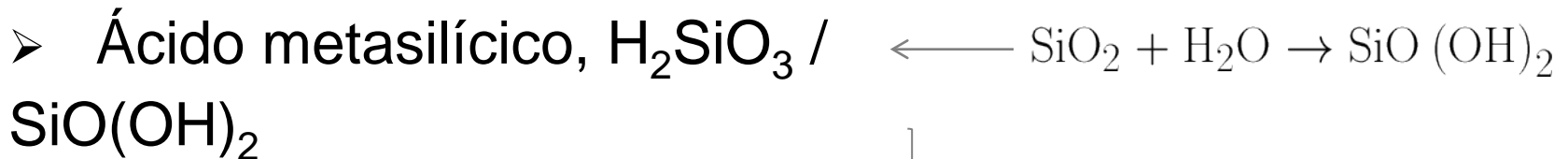
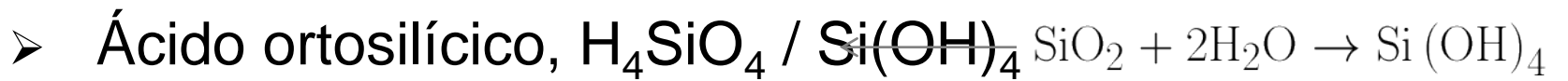
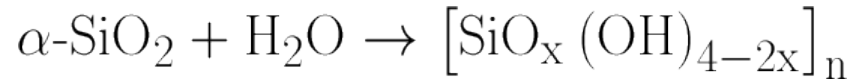
- El cemento Portland posee en su composición química un contenido de calcio, expresado como CaO: Análisis químico de 6 CP y 6 CPRS → CaO (%) = [59,5-68,0]
- Composición mineralógica: C<sub>2</sub>S, C<sub>3</sub>S, C<sub>2</sub>A y C<sub>4</sub>AF(+C<sub>3</sub>F)

- Esto causa que su disolución de poro esté siempre *sobresaturada* en Ca(OH)<sub>2</sub>, y hasta tal punto que el carácter químico de la pasta de cemento Portland es siempre *básico*, con un valor de



**Áridos de naturaleza  
mineralógica silíceo  
y carácter químico ácido.-**

# Fundamentos de su carácter químico ácido.-



# Modelo microestructural árido silíceo-pasta de cemento Portland.-

Sverjensky y col. (1996) → Punto isoeléctrico, pH = [2,9-3,0]

Las partículas de  $\alpha$ -SiO<sub>2</sub> al entrar en contacto con una disolución quedan recubiertas por grupos silanol, Si-OH. Y debido al pH = [12,0-13,5] de la disolución de poro en su forma siloxano, Si-O<sup>-</sup>.

Iler (1971) → Las partículas de  $\alpha$ -SiO<sub>2</sub> están recubiertas por una capa superficial de SiO<sub>2</sub> no cristalino.

Esesor de la  
capa de sílice  
no cristalina

Alexanian (1956) = 100 Å

Sakabe y cols. (1958) = 10 nm a 300 nm

Lindstrom (1968) = hasta 2 μm

Van Lier y cols. (1960)

Stöber (1967)

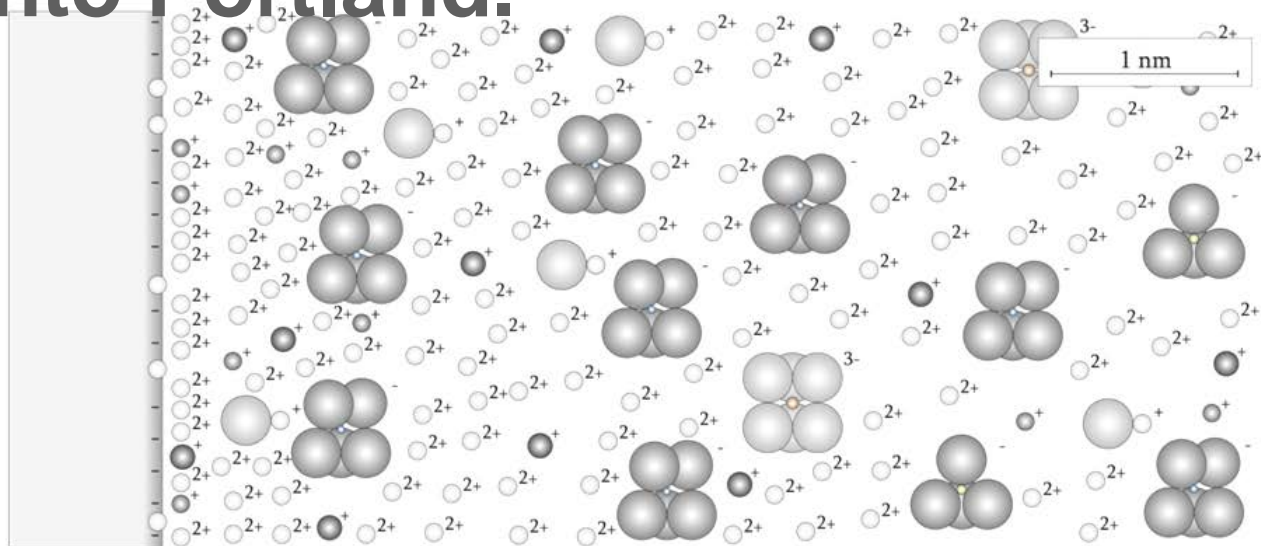
La solubilidad de las partículas de  $\alpha$ -SiO<sub>2</sub> se encuentra entre 11 mg·l<sup>-1</sup> y 13 mg·l<sup>-1</sup>.

Paterson y col. (1959) →

Reducción de tamaño del  $\alpha$ -SiO<sub>2</sub> podía incrementar hasta 70 mg·l<sup>-1</sup>.

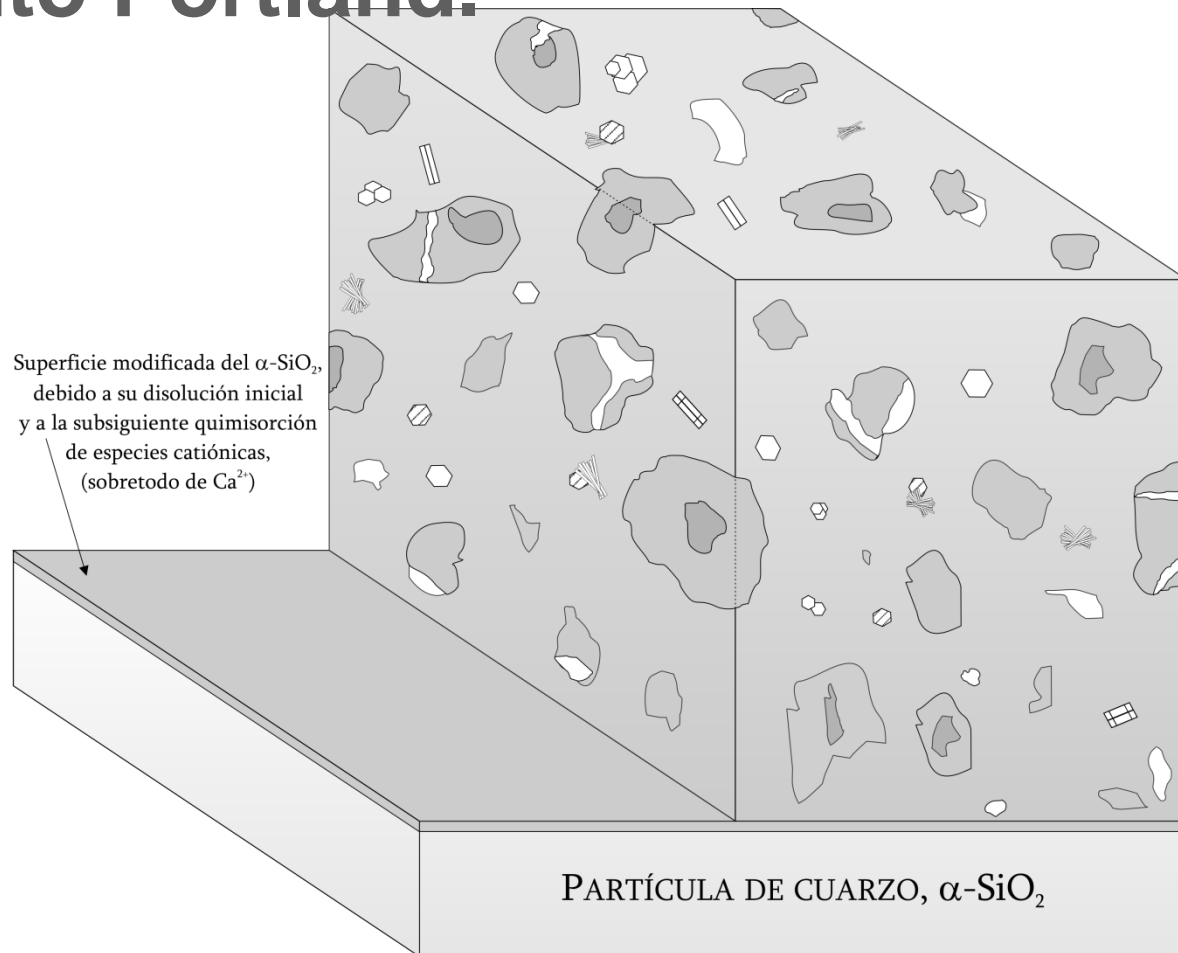


# Modelo microestructural árido silíceo-pasta de cemento Portland.-



<b>Símbolo</b>							
<b>Fórmula</b>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	CaOH <sup>+</sup>	Al(OH) <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Fe(OH) <sub>6</sub> <sup>3-</sup>	Si(OH) <sub>5</sub> <sup>-</sup>
<b>Movimiento</b>	←	←	←	←	←	←	↔
	Árido						cemento Portland

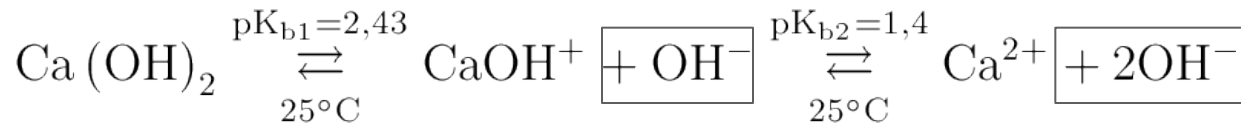
# Modelo microestructural árido silíceo- pasta de cemento Portland.-



**Áridos de naturaleza  
mineralógica calcárea y  
carácter químico básico.-**

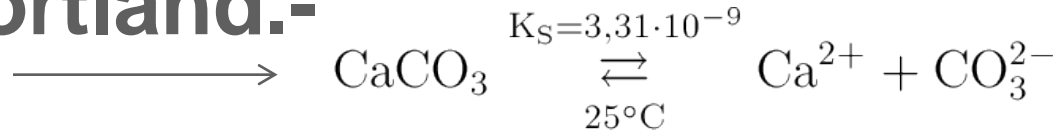


# Fundamentos de su carácter químico básico.-



# Modelo microestructural árido calcáreo-pasta de cemento Portland.-

Plummer y col.  
(1982)

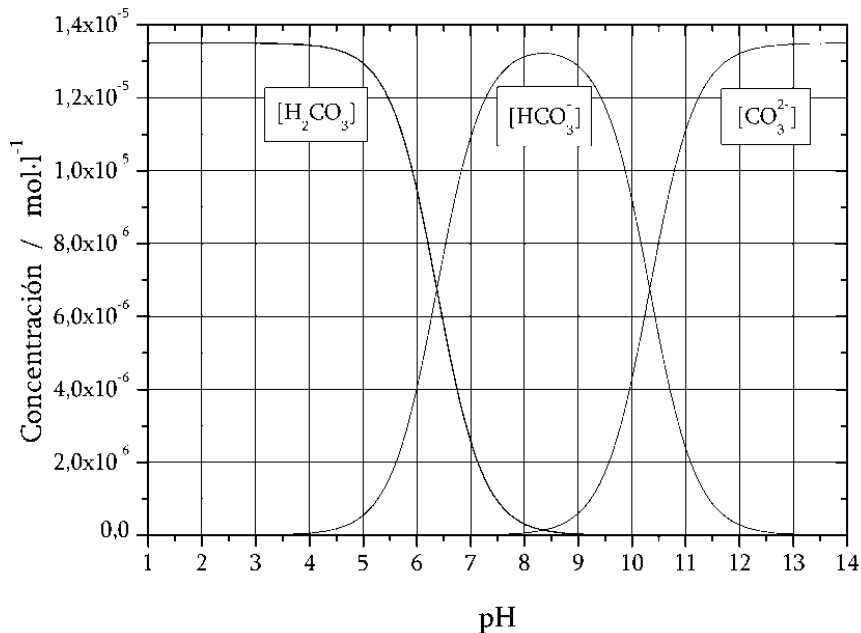


Calcio:



(especie molecular)

Anión carbonato:



← pH = [12,0-13,5]

$\text{CO}_2(\text{aq})$

$[\text{CO}_3^{2-}] = [1,32-1,35] \cdot 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$

$[\text{HCO}_3^-] = [2,83 \cdot 10^{-7}-$

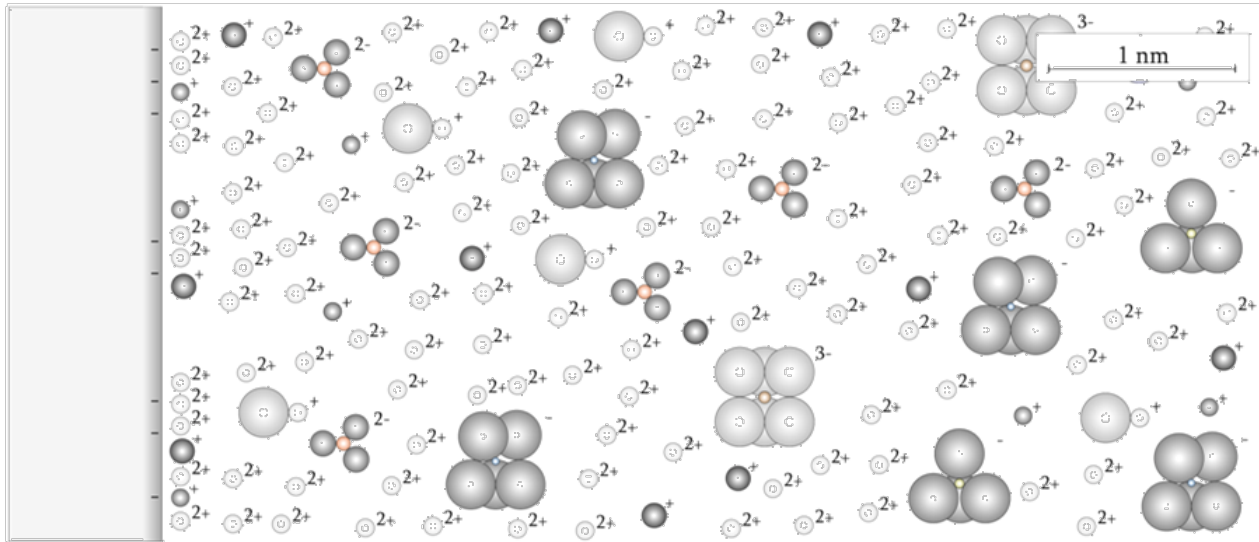
$9,12 \cdot 10^{-9}] \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$

$[\text{CO}_3^{2-}] = [5,68-5,80] \cdot 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$

$[\text{HCO}_3^-] = [1,21 \cdot 10^{-6}-$

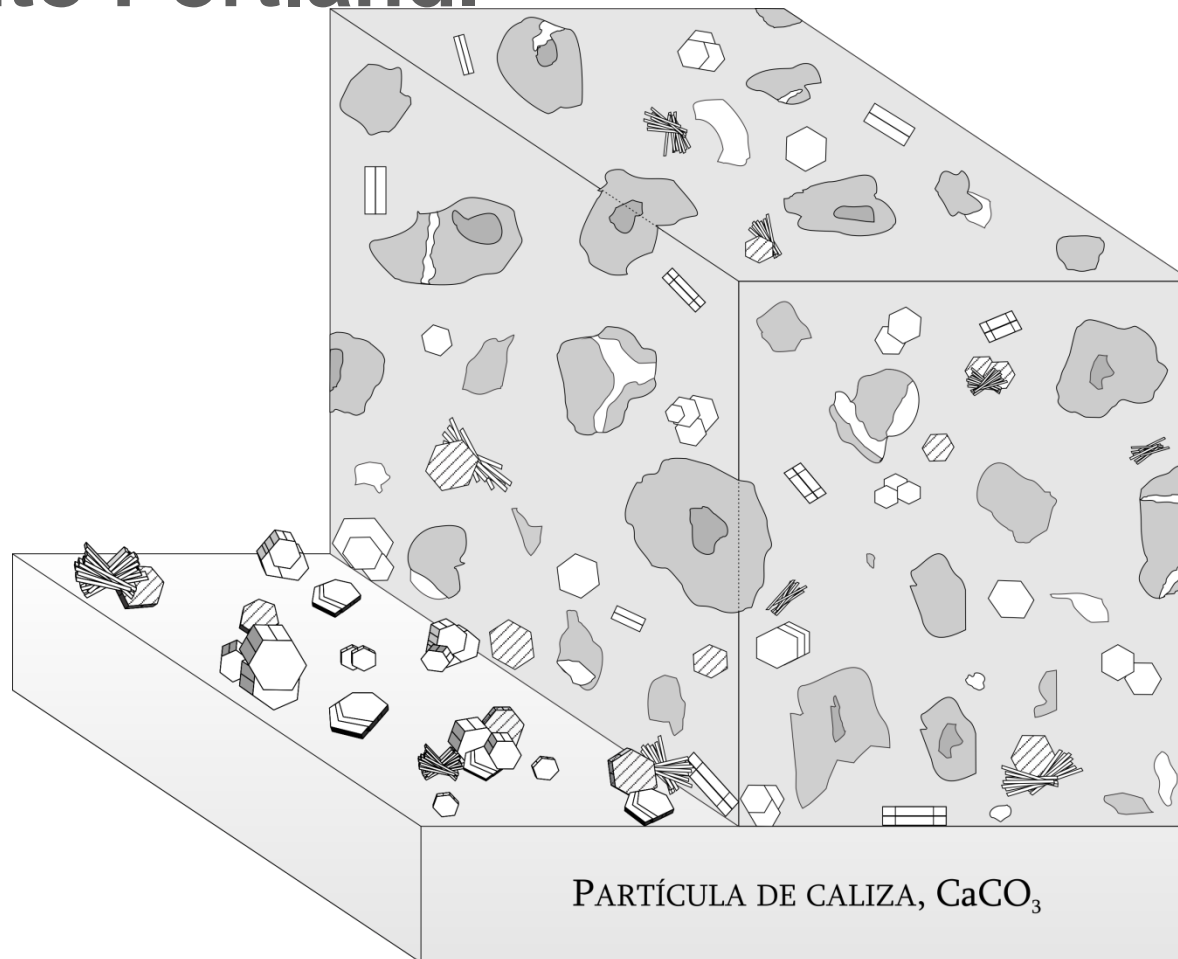
$3,92 \cdot 10^{-8}] \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$

# Modelo microestructural árido calcáreo-pasta de cemento Portland.-



<b>Símbolo</b>								
<b>Fórmula</b>	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{CaOH}^+$	$\text{CO}_3^{2-}$	$\text{Al}(\text{OH})_4^-$	$\text{Fe}(\text{OH})_6^{3-}$	$\text{Si}(\text{OH})_5^-$
<b>Movimiento</b>	←	←	↔	←	→	←	←	←
	Árido					cemento Portland		

# Modelo microestructural árido calcáreo-pasta de cemento Portland.-



# **Evidencias y demostración experimental.-**

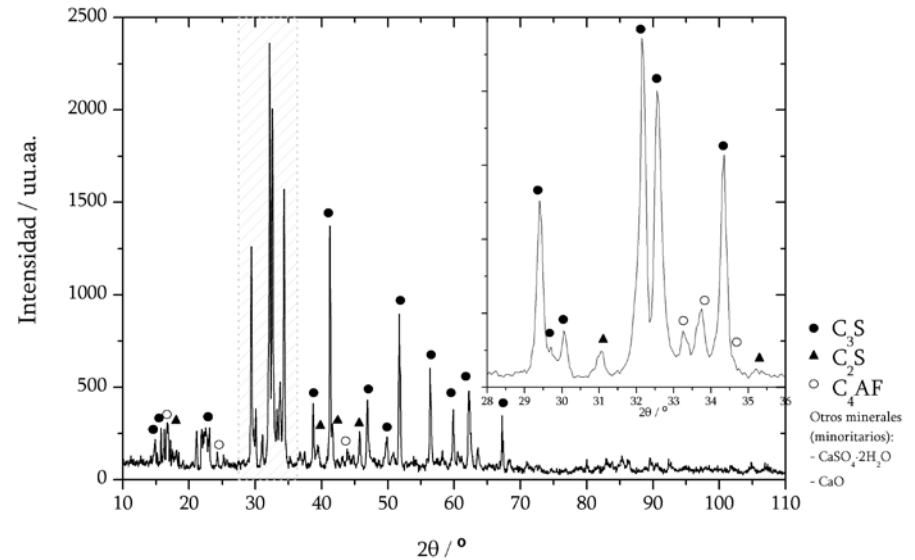
# Propiedades del cemento Portland selecciona<sup>30</sup>

cemento Portland tipo CEM I 42,5 R SR3 (UNE-EN 197-1:2011)

Composición mineralógica potencial			
	/ %		
C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF
79,43	2,29	< 1,00	10,19

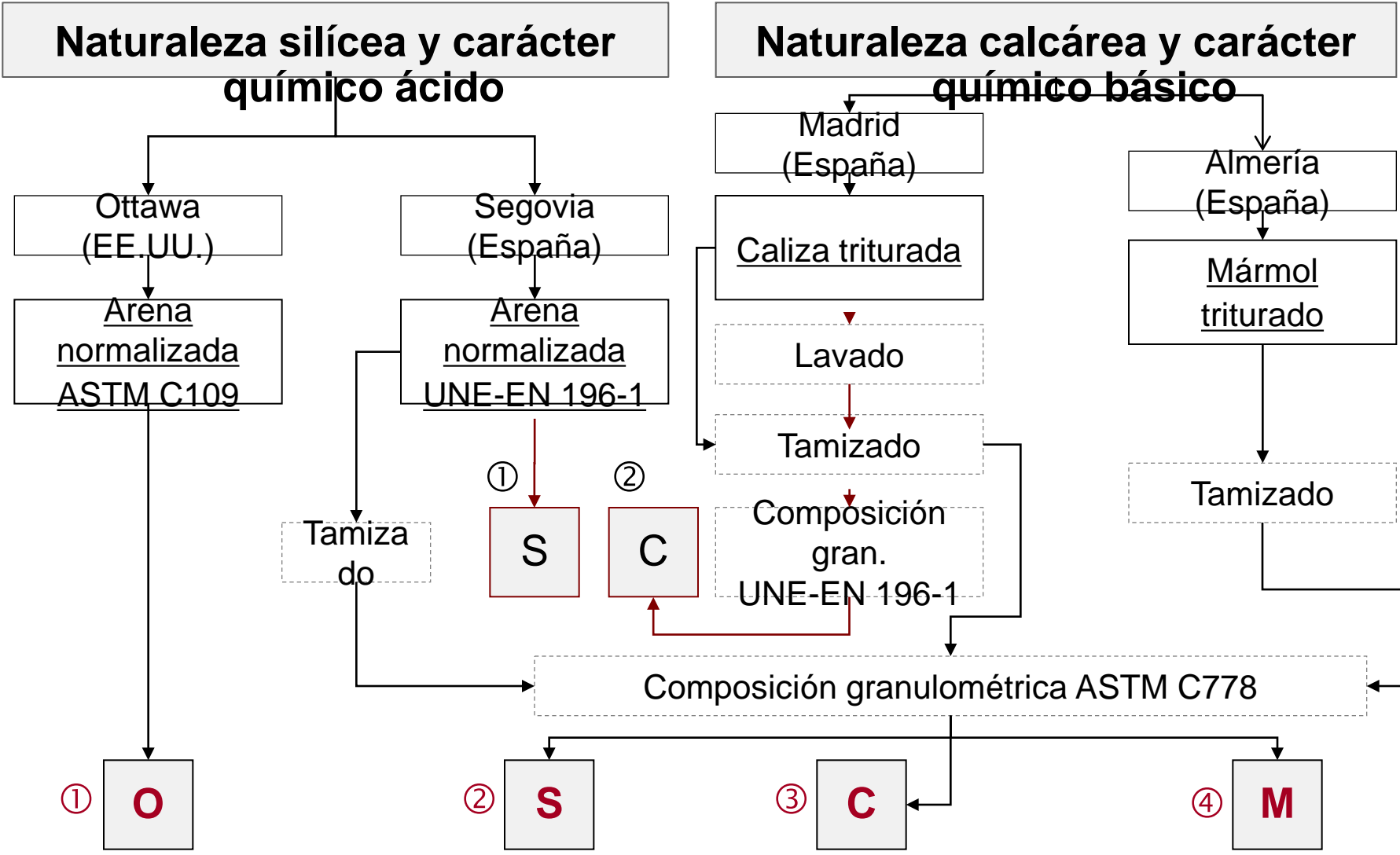
Edad / días	Resistencia mecánica a compresión (f <sub>ck</sub> ) / MPa	Requisito Instr. RC-08
2 días	21,0	f <sub>ck</sub> ≥ 20,0
28 días	50,1	42,5 ≤ f <sub>ck</sub> ≤ 62,5



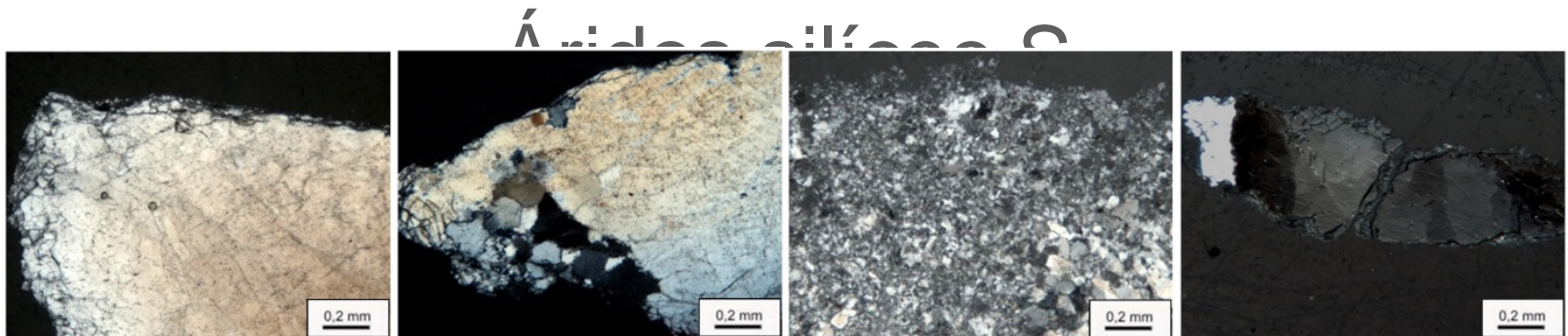
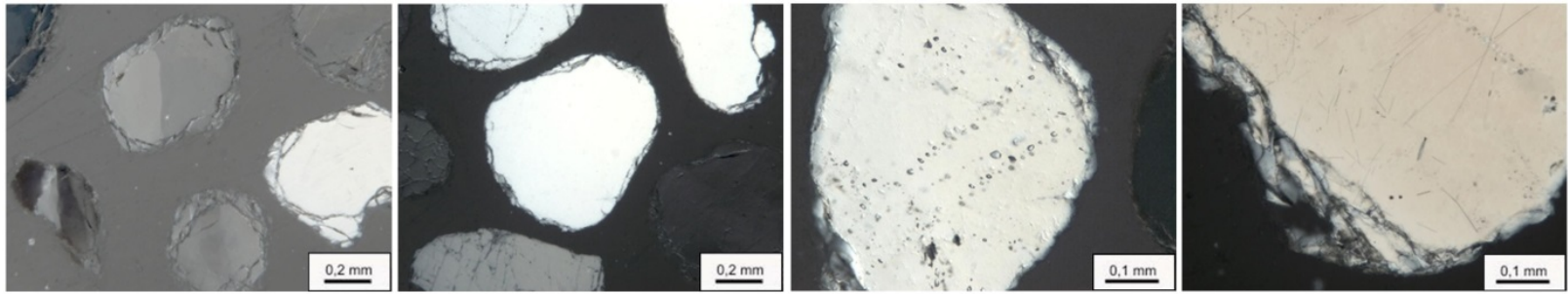
Cemento Portland	Edad											
	2 días		7 días		28 días		60 días		90 días		180 días	
	O	[OH <sup>-</sup> ]	O	[OH <sup>-</sup> ]	O	[OH <sup>-</sup> ]	O	[OH <sup>-</sup> ]	O	[OH <sup>-</sup> ]	O	[OH <sup>-</sup> ]
Selección	21,5	42,5	16,5	39,4	16,1	42,0	15,6	42,5	15,7	43,5	15,8	45,5
Comparación	7,60	72,5	6,80	71,2	6,45	78,0	6,50	78,0	6,35	75,5	6,50	81,0
n(*)	0	0	5	5	0	0	5	0	5	0	5	0

(\*) La composición mineralógica potencial de este otro cemento Portland era 51,05% C<sub>3</sub>S, 16,48% C<sub>2</sub>S, 14,11% C<sub>3</sub>A y 5,33% de C<sub>4</sub>AF.

# Áridos seleccionados y morteros.-



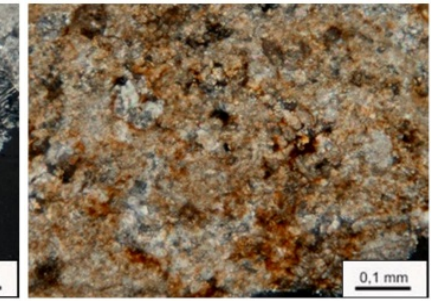
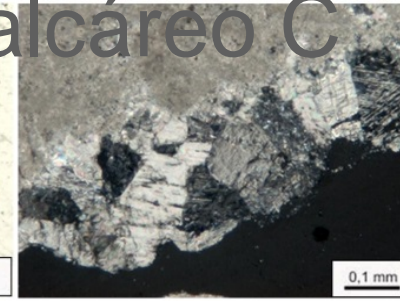
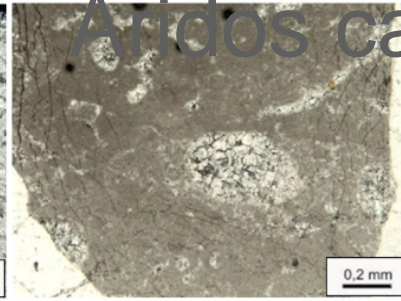
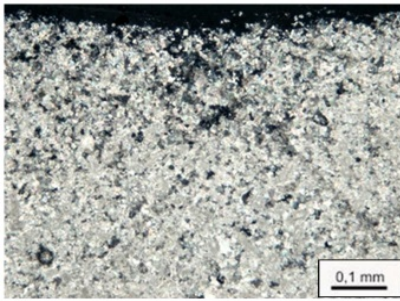
# Propiedades petrográficas de los áridos silíceos.-



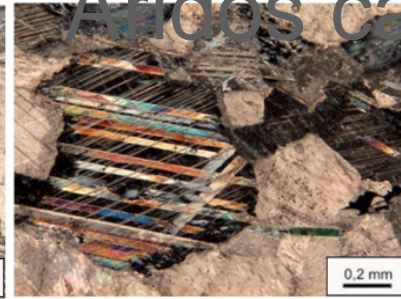
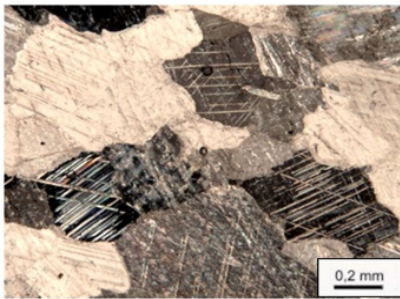


# Propiedades petrográficas de los áridos calcáreos.-

## Áridos calcáreo C



## Áridos calcáreo M



# Propiedades de las arenas preparadas.-

## Áridos con granulometría ASTM C778

Propiedad	Silíceo O	Silíceo S	Calcáreo C	Calcáreo M
Equivalente de arena	100,00	98,00	82,40	91,70
Sup. específica BET / $m^2 \cdot g^{-1}$	0,08	0,21	2,15	0,35
Absorción de agua / %	0,09	0,53	2,15	0,70
Densidad real / $g \cdot cm^{-3}$	2,65	2,65	2,65	2,70
Densidad aparente / $g \cdot cm^{-3}$	1,62	1,52	1,33	1,45
Volumen de huecos / %	39,34	42,73	49,60	46,35

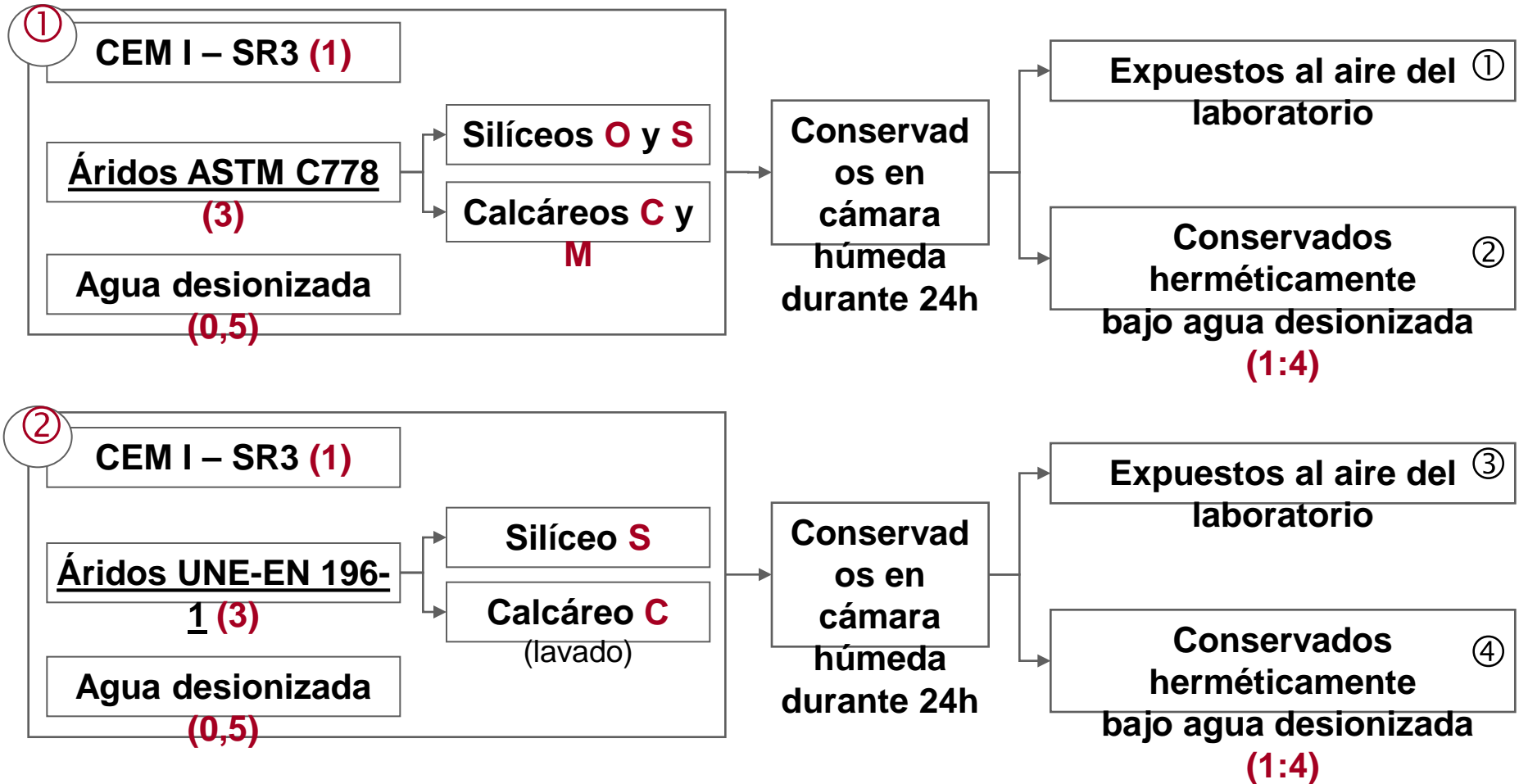
## Áridos con granulometría UNE-EN 196-1

Propiedad	Silíceo O	Silíceo S	Calcáreo C	Calcáreo M
Equivalente de arena	-	97,60	93,40	-
Sup. específica BET / $m^2 \cdot g^{-1}$	-	0,18	0,85	-
Absorción de agua / %	-	0,44	0,65	-
Densidad real / $g \cdot cm^{-3}$	-	2,65	2,65	-
Densidad aparente / $g \cdot cm^{-3}$	-	1,60	1,55	-
Volumen de huecos / %	-	38,80	41,59	-

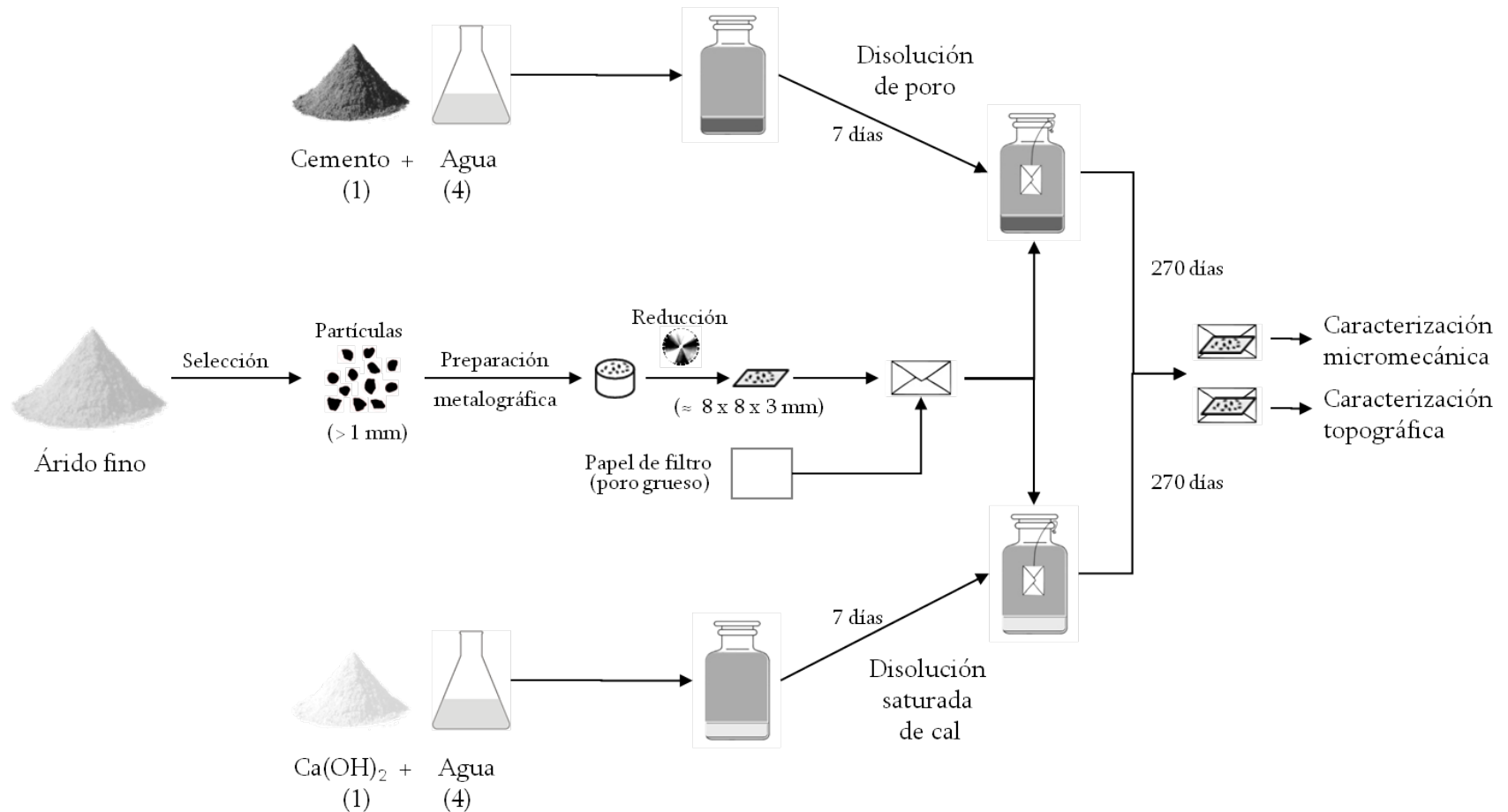
# Variables de diseño de los morteros.-

## Materiales

## Conservación



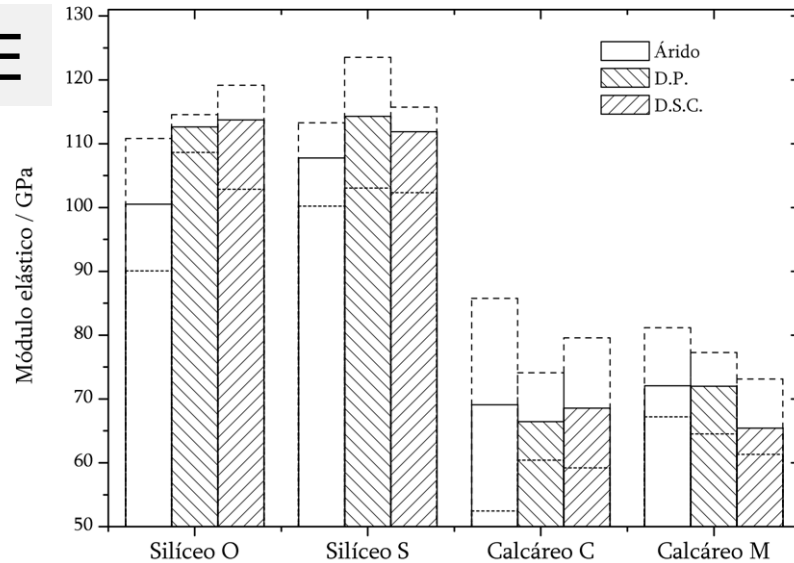
# Caracterización de la interacción árido-disolución de poro del cemento Portland.-



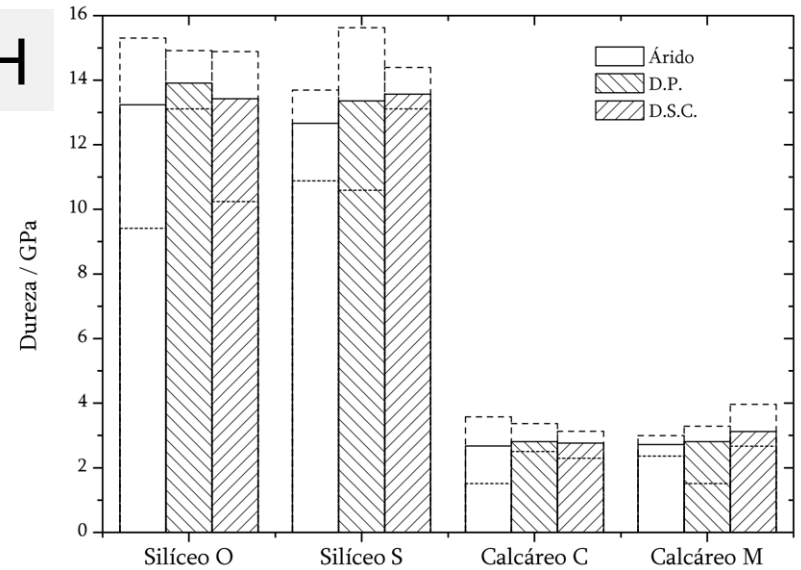
# Consecuencias micromecánicas sobre los áridos de su interacción

con la disolución de poro del cemento Portland

E



H



- Sobre los áridos silíceos tanto la disolución de poro como la disolución saturada de cal mejora sus propiedades micromecánicas.
- Sobre los áridos calcáreos no se produce este fenómeno, sino en muchos de los casos todo lo contrario.

# Consecuencias micromecánicas sobre los áridos de su interacción

con la disolución de poro del cemento Portland.-

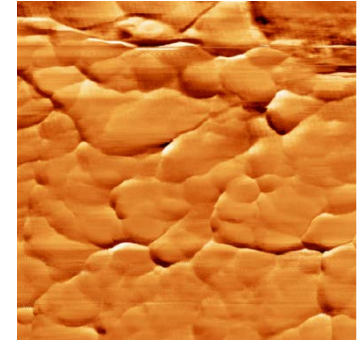
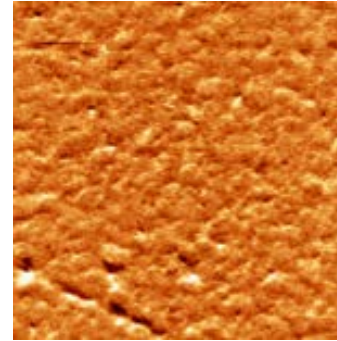
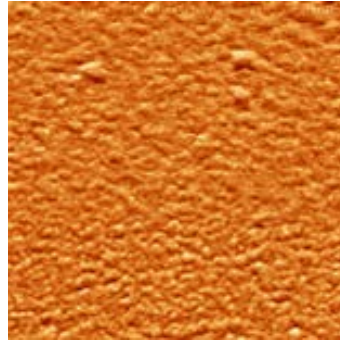
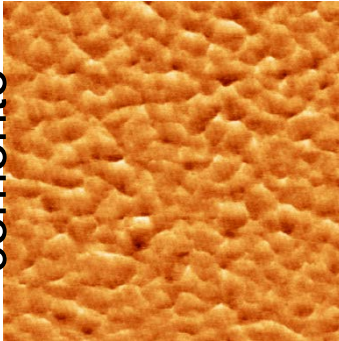
Silíceo O

Silíceo S

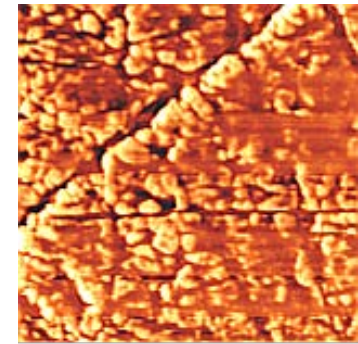
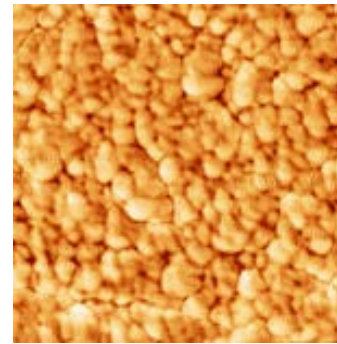
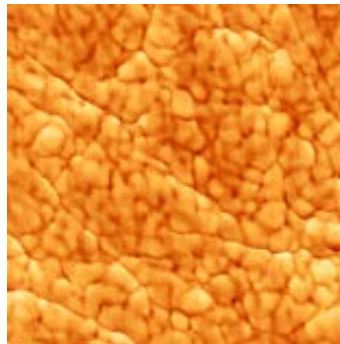
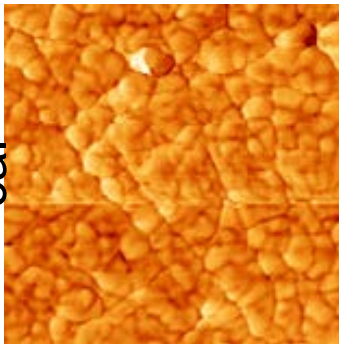
Calcáreo C

Calcáreo M

Disolución  
de poro del  
cemento

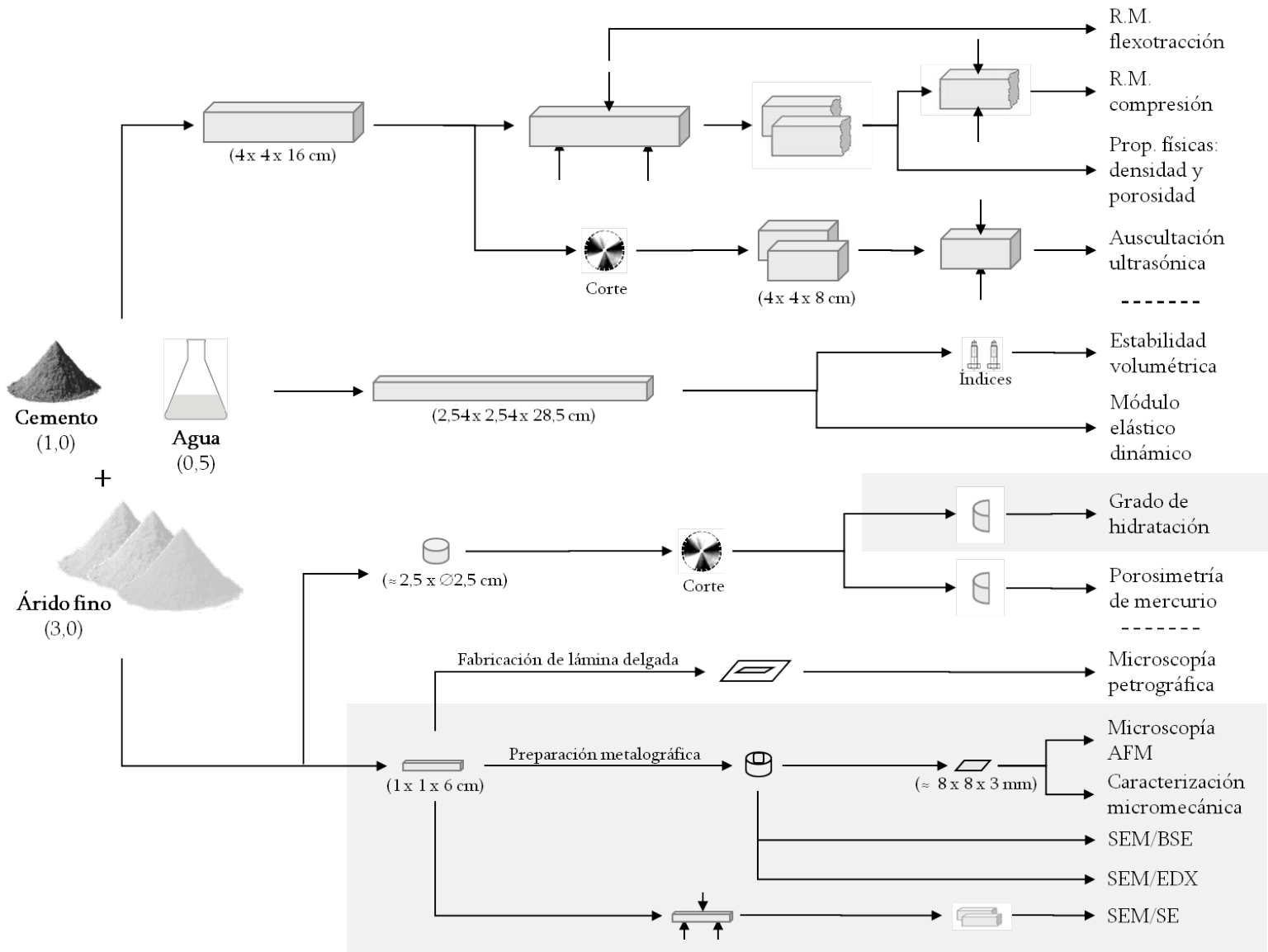


Disolución  
saturada de  
cal



Micrografías AFM de fase de  $1 \times 1 \mu\text{m}$  de las superficies de árido después del contacto con la disolución de poro<sup>(2)</sup> del cemento durante 270 días a  $25 \text{ }^\circ\text{C}$

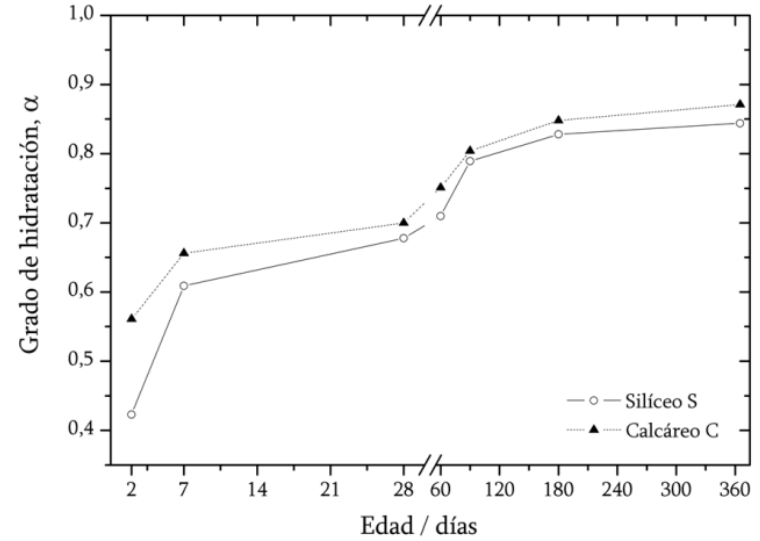
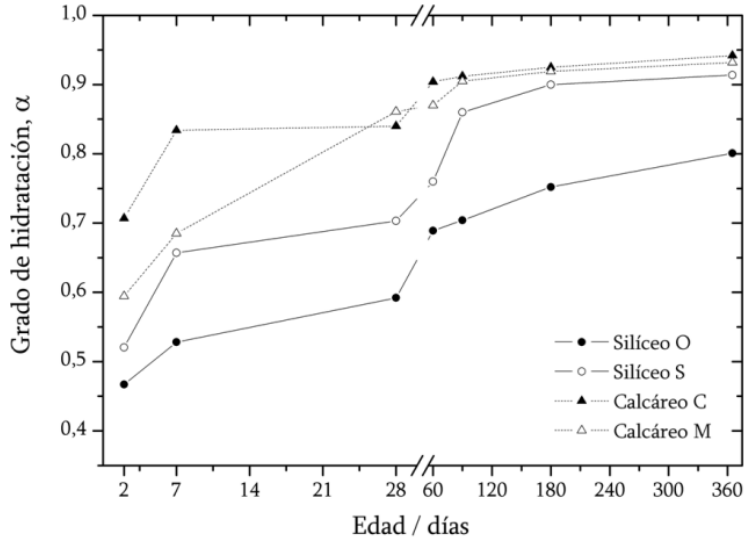
# Caracterización física, mecánica y microestructural de los morteros.-





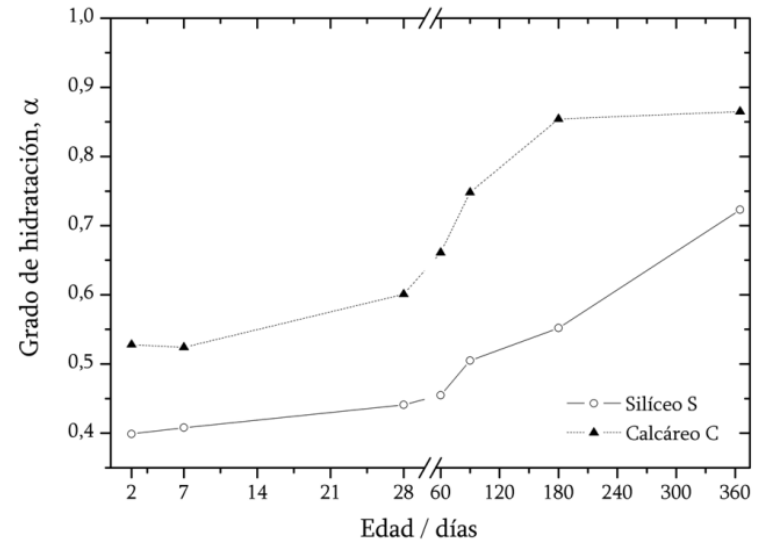
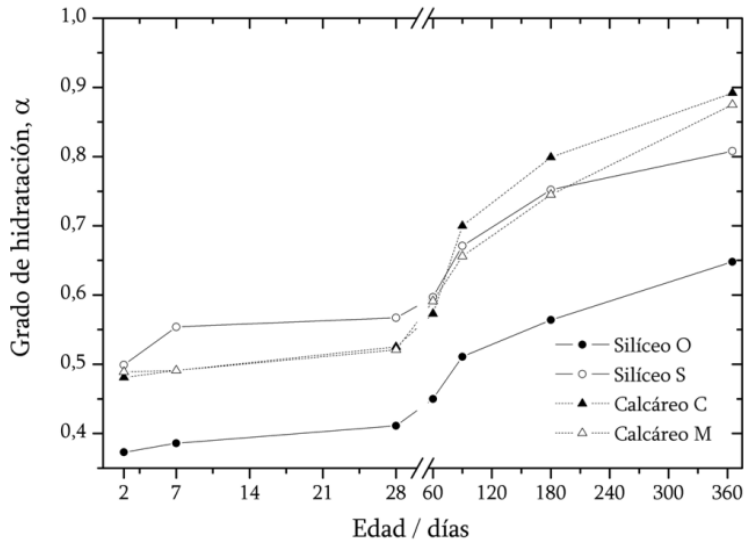
# Grado de hidratación de pasta de cemento de los morteros.-

ASTM C778/Agua



UNE-EN 196-1/Agua

ASTM C778/Aire



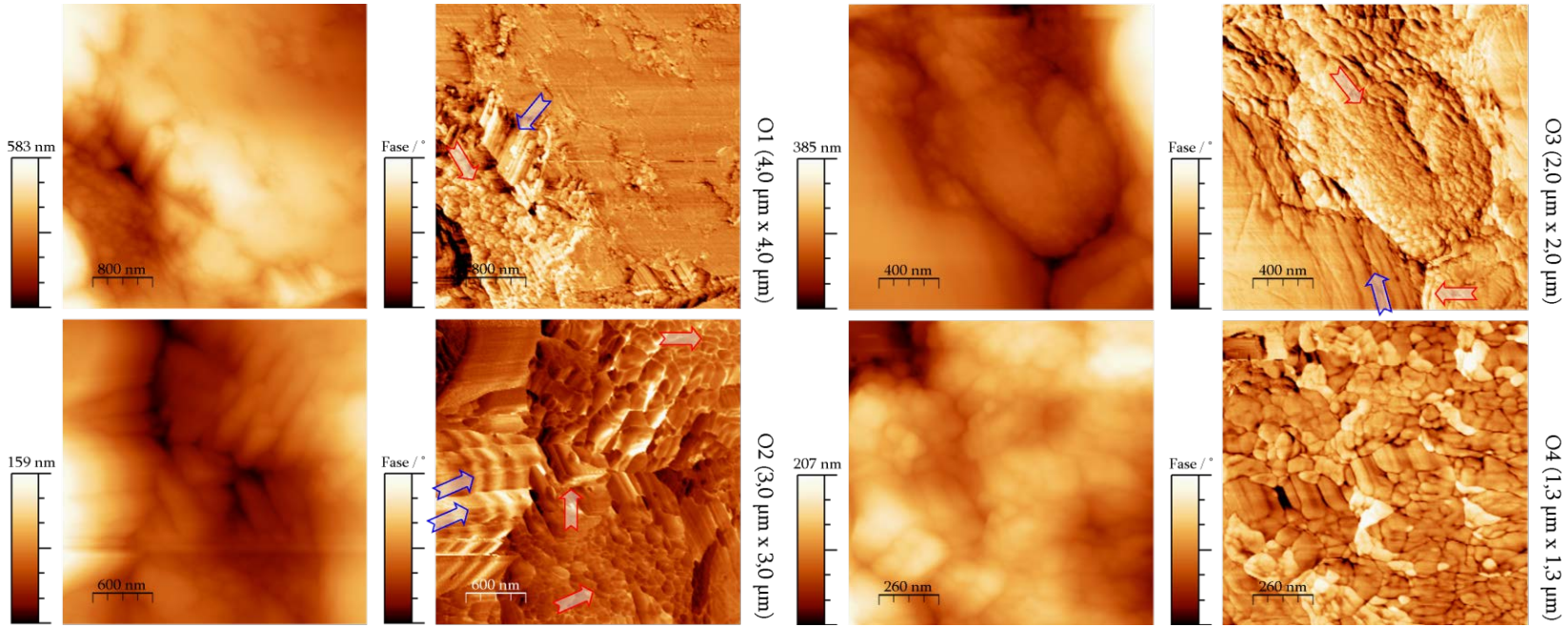
UNE-EN 196-1/Aire



# Caracterización mediante microscopía

## AFM:

Mortero con árido silíceo O.-



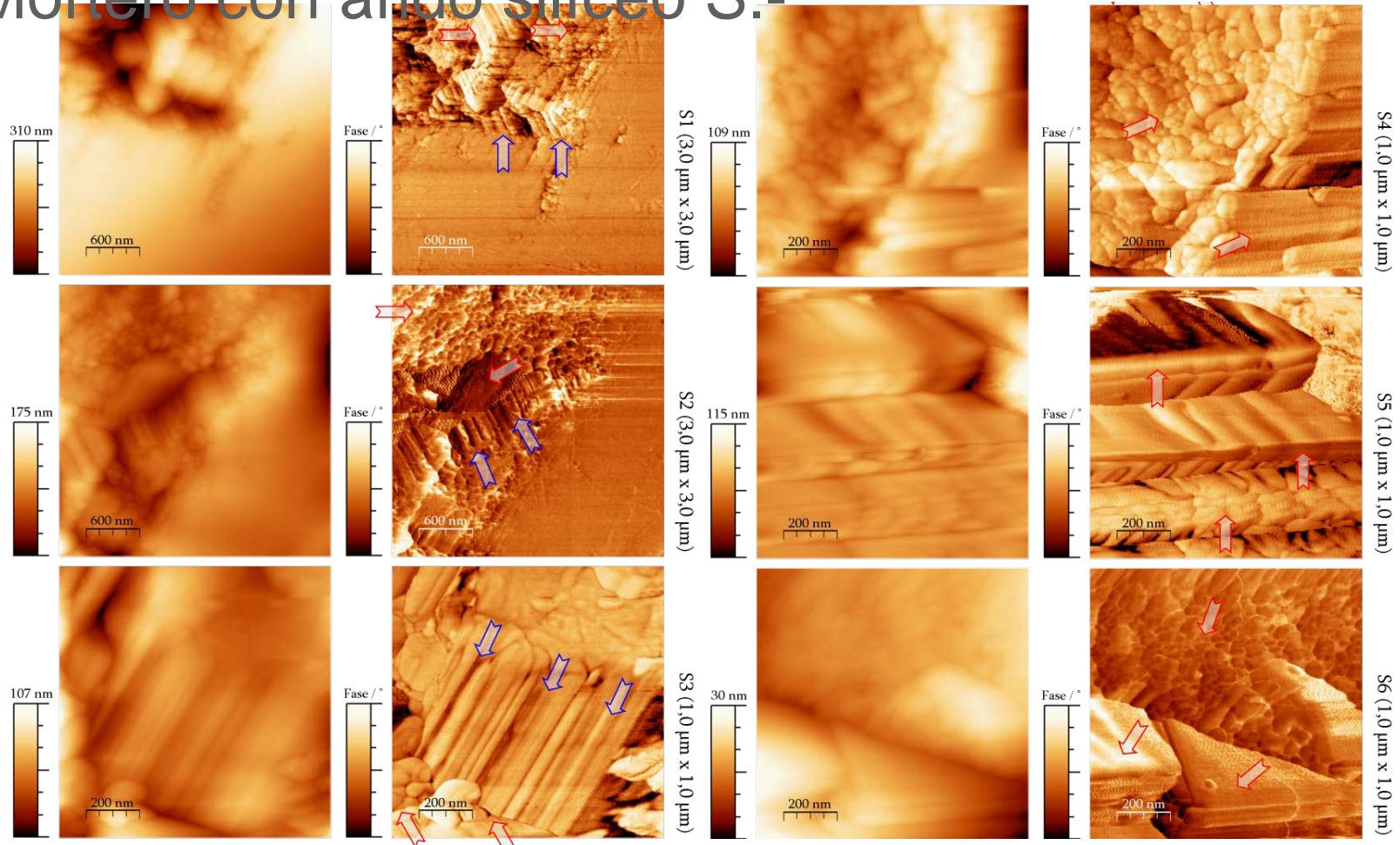
↔ Particularidades sobre los áridos ↔ Particularidades sobre los pasta de cemento Portland

545 días

# Caracterización mediante microscopía

## AFM:

### Mortero con árido silíceo S.-



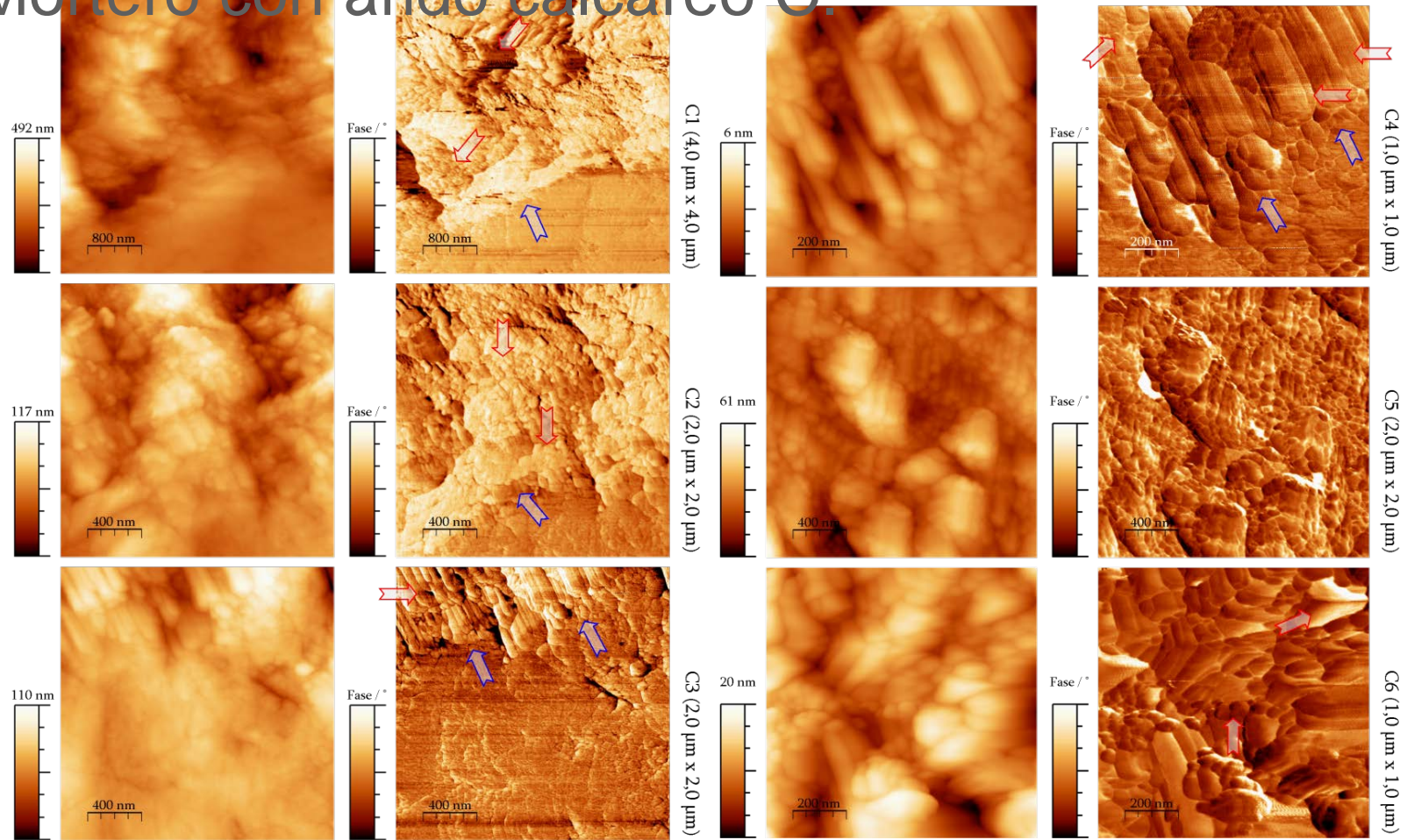
545 días

↔ Particularidades sobre los áridos ↔ Particularidades sobre los pasta de cemento Portland

# Caracterización mediante microscopía

## AFM:

### Mortero con árido calcáreo C.-



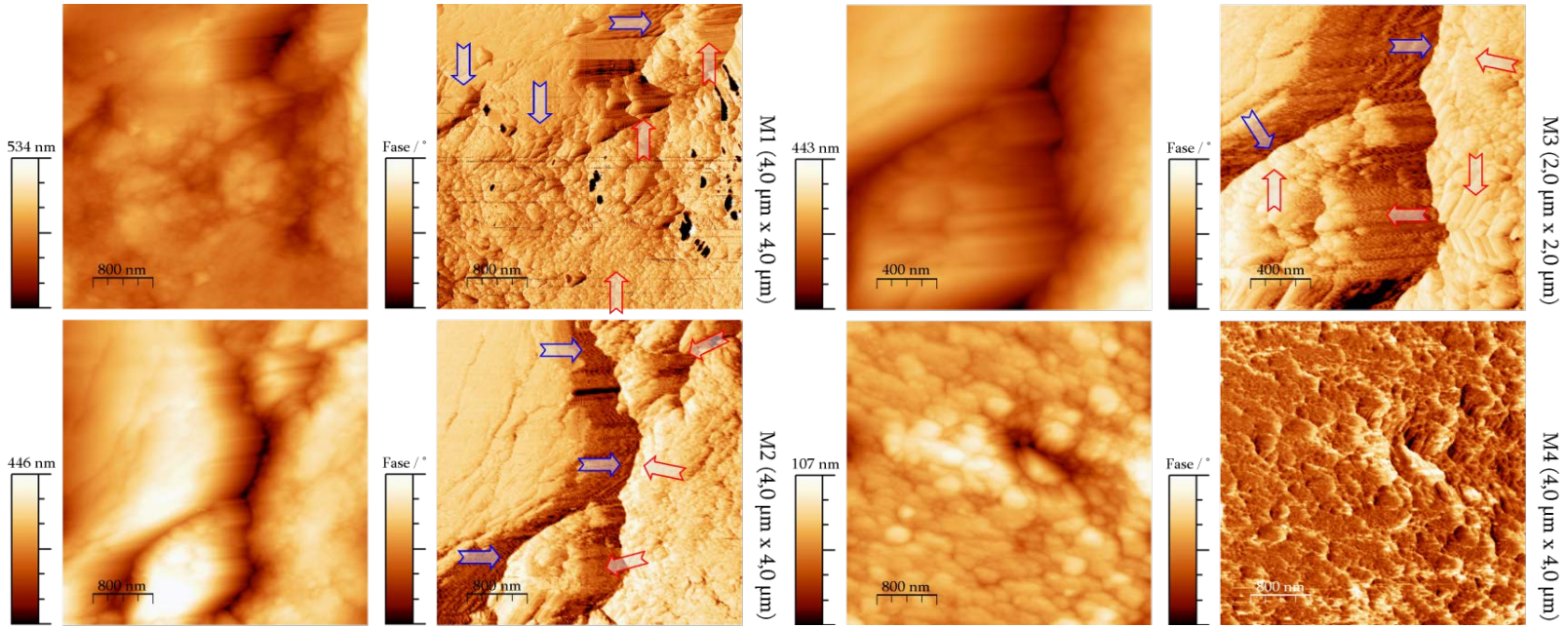
545 días

↔ Particularidades sobre los áridos   ↔ Particularidades sobre los pasta de cemento Portland

# Caracterización mediante microscopía

## AFM:

### Mortero con árido calcáreo M.-

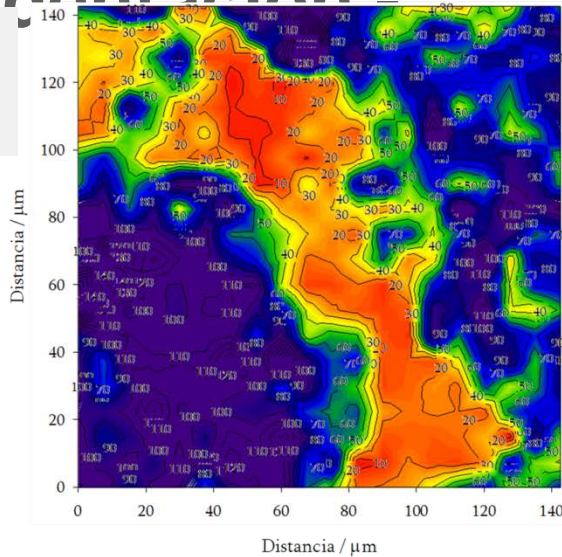


➡ Particularidades sobre los áridos ➡ Particularidades sobre los pasta de cemento Portland

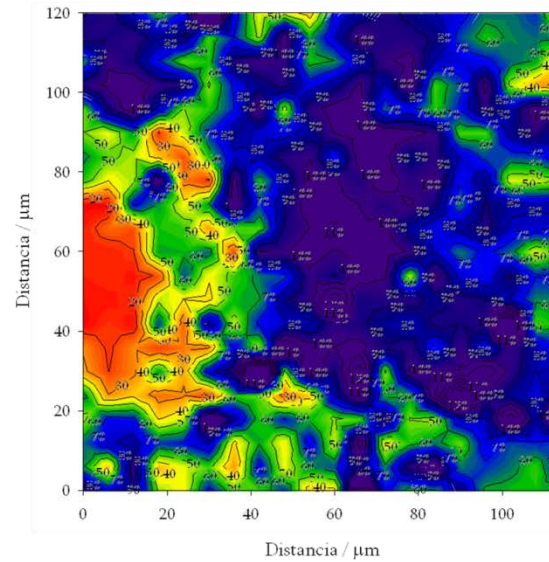
545 días

# Caracterización micromecánica mediante nanoindentación

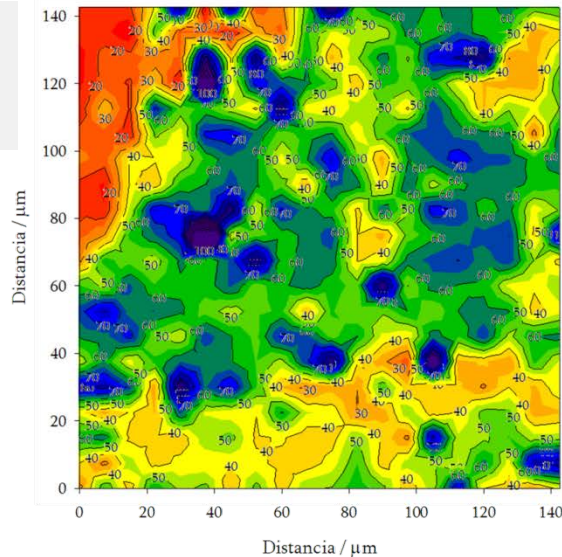
Silíceo O  
400 /  
95,5%



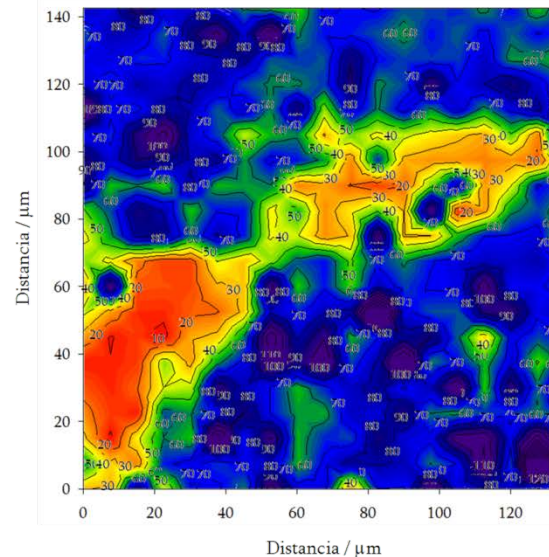
Silíceo S  
450 /  
96,4%



Calcáreo C  
400 /  
97,7%



Calcáreo M  
400 /  
95,0%

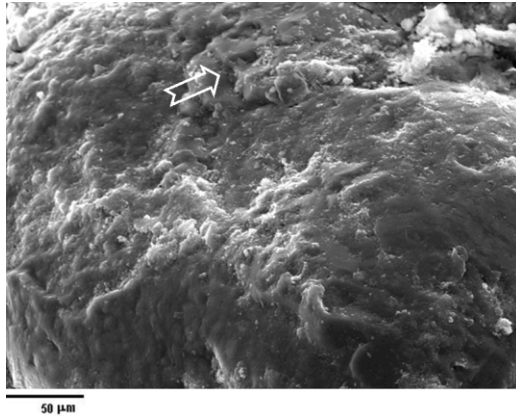


545 días

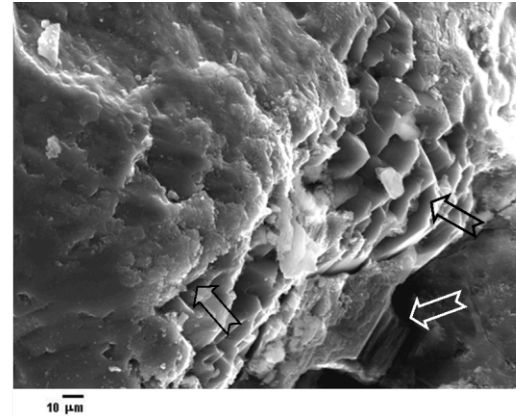
Escala del mapa de contorno  
10 20 30 40 50 60 70 80 90 +100  
Er / GPa

# Microscopía electrónica de barrido, SEM/SE.-

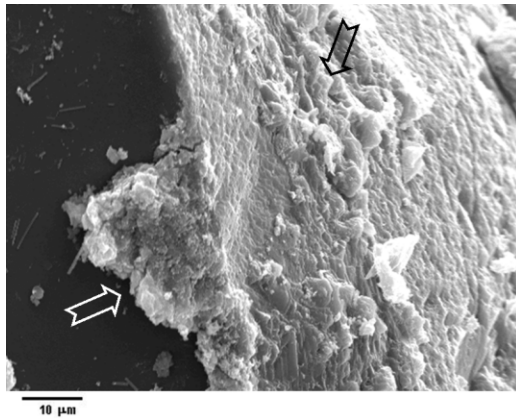
Silíceo O  
x500



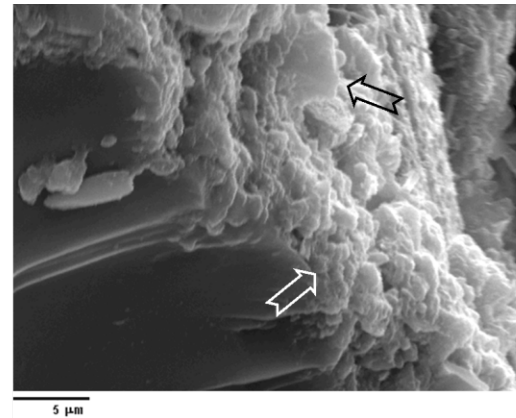
Silíceo O  
x750



Silíceo S  
x2.000



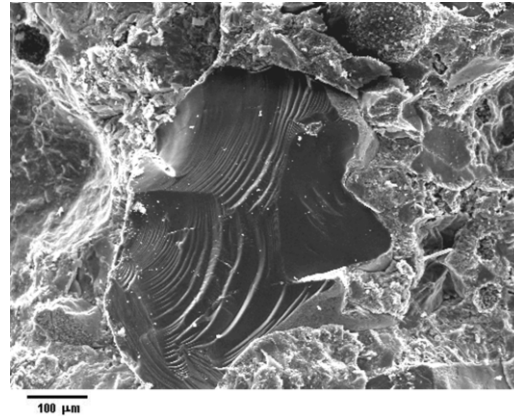
Silíceo S  
x5.000



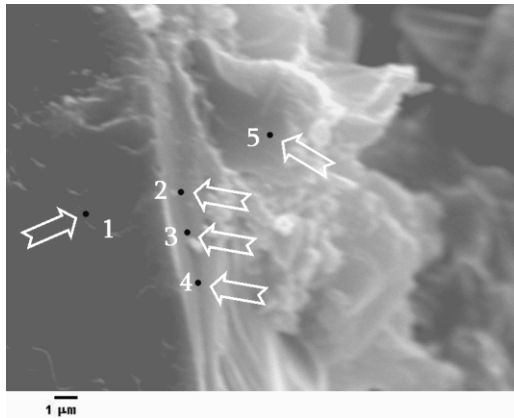
545 días

# Microscopía electrónica de barrido, SEM/SE.-

Silíceo S  
x200



Silíceo S  
x7.500



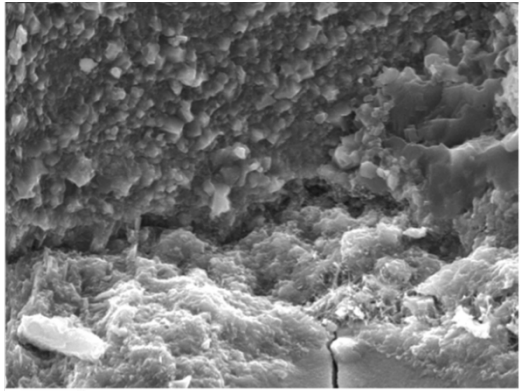
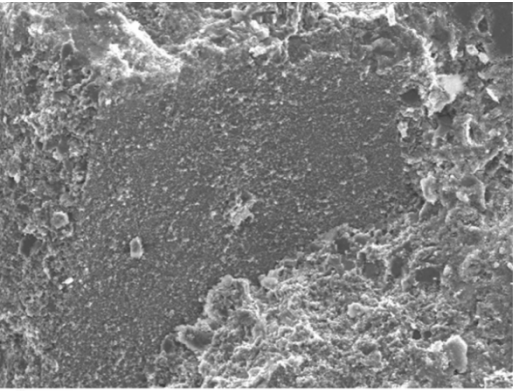
Óxido	1	2	3	4	5
	Concentración / %				
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SiO <sub>2</sub>	99,76	92,04	89,42	46,76	40,77
CaO	0,24	7,85	10,05	52,69	58,78
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,10	0,54	0,56	0,45

545 días

# Microscopía electrónica de barrido, SEM/SE.-

Calcáreo  
C

x350

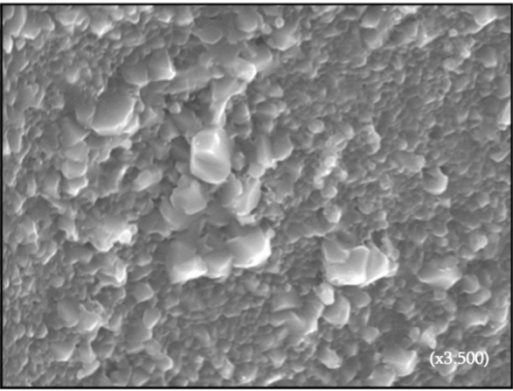


Calcáreo  
C

x2.000

Calcáreo  
C

x3.500



Óxido	(x3.500) Concentración / %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,77*
SiO <sub>2</sub>	4,72*
CaO	96,45
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00

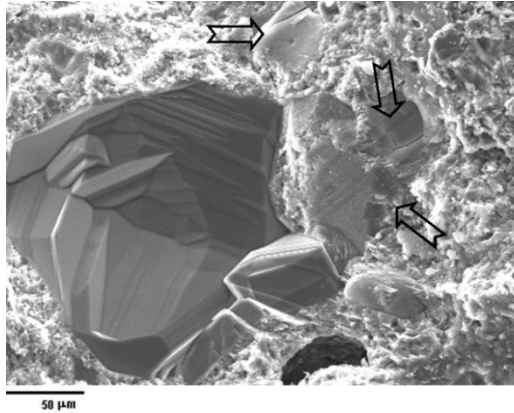
Los valores que aparecen con un asterisco (\*) resultaron ser inferiores a dos veces la desviación estándar.

545 días

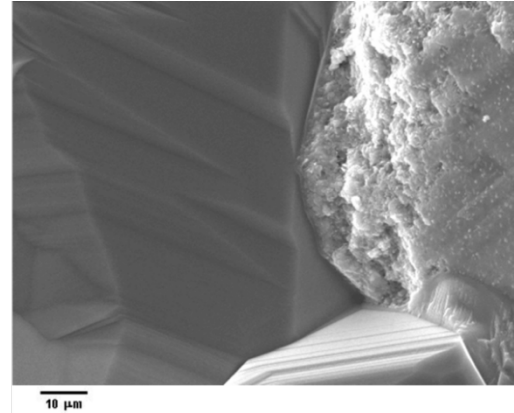


# Microscopía electrónica de barrido, SEM/SE.-

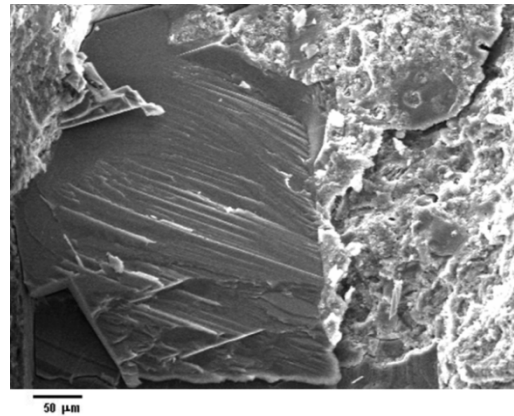
Calcáreo  
C  
x500



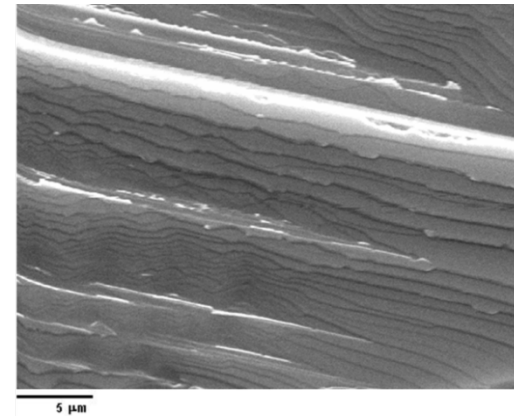
Calcáreo  
C  
x1.500



Calcáreo  
C  
x350



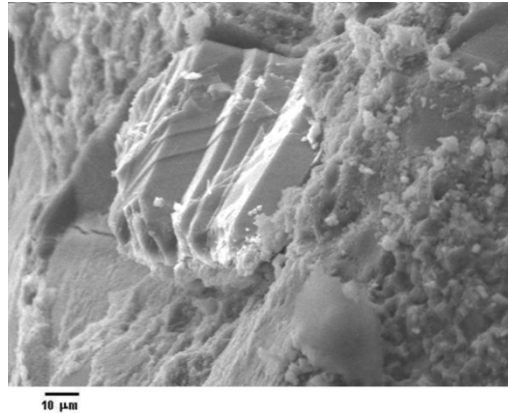
Calcáreo  
C  
x5.000



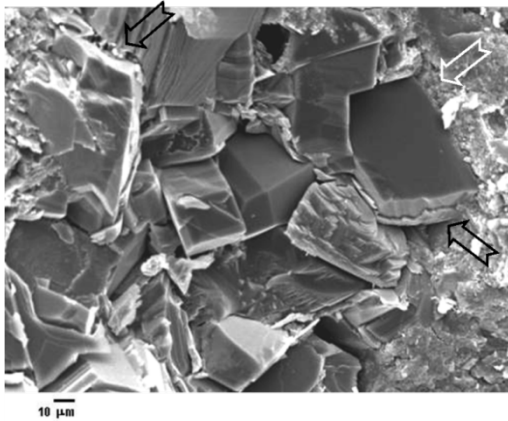
545 días

# Microscopía electrónica de barrido, SEM/SE.-

Calcáreo  
C  
x1.000



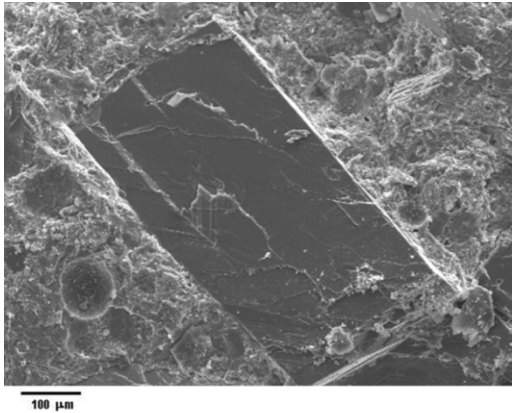
Calcáreo  
C  
x750



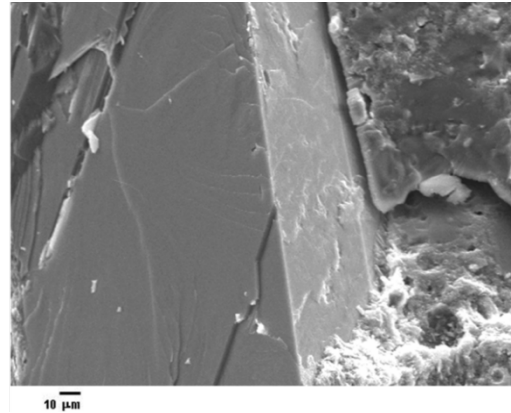
545 días

# Microscopía electrónica de barrido, SEM/SE.-

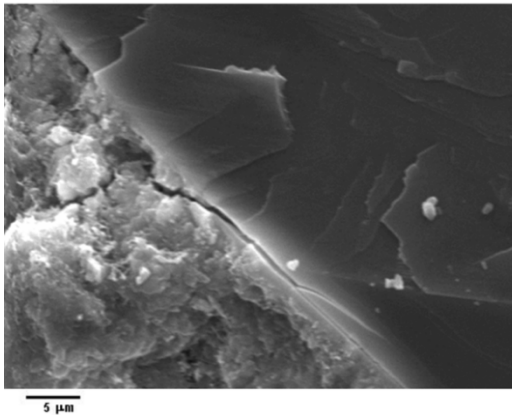
Calcáreo  
M  
x200



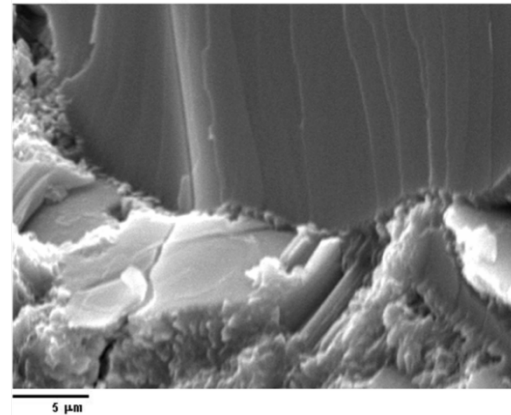
Calcáreo  
M  
x750



Calcáreo  
M  
x3.500



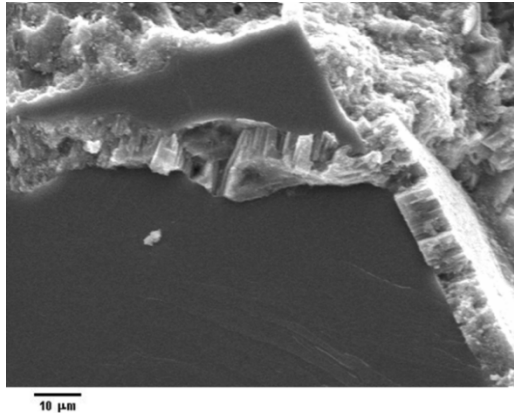
Calcáreo  
M  
x5.000



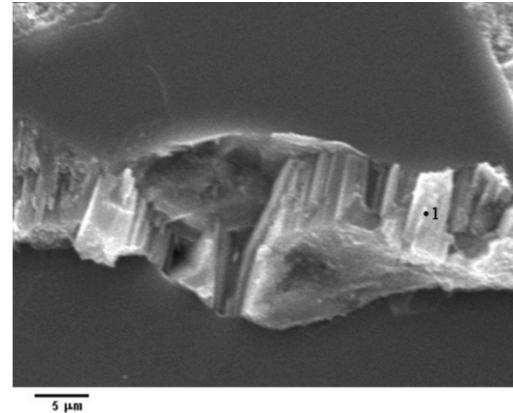
545 días

# Microscopía electrónica de barrido, SEM/SE.-

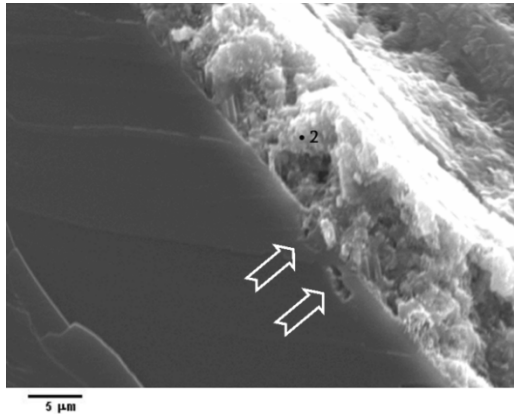
Calcáreo  
M  
x1.500



Calcáreo  
M  
x1.500



Calcáreo  
M  
x3.500



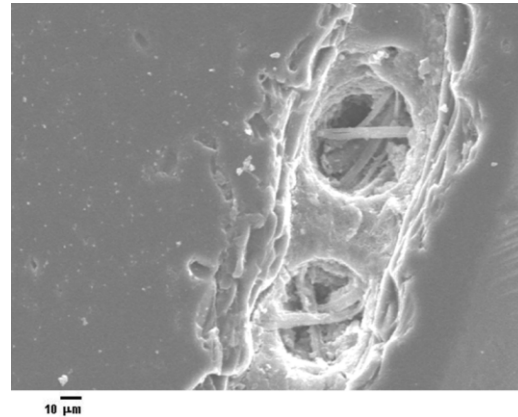
Óxido	1	2
	Concentración / %	
MgO	0,71*	0,45*
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,80*	14,30
SiO <sub>2</sub>	5,36	12,78
CaO	91,78	56,75
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,35*	15,72

Los valores que aparecen con un asterisco (\*) resultaron ser inferiores a dos veces la desviación estándar.

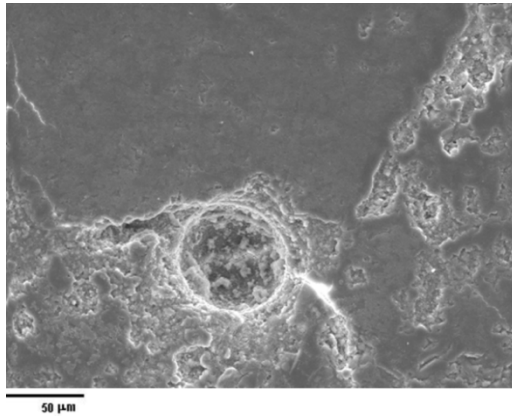
545 días

# Microscopía electrónica de barrido, SEM/BSE.-

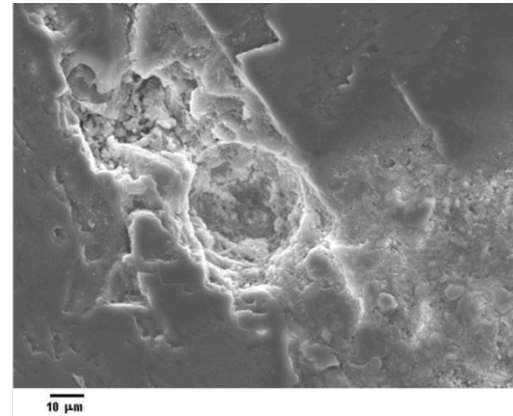
Silíceo S  
x750



Calcáreo  
C  
x500



Calcáreo  
M  
x1.000



545 días

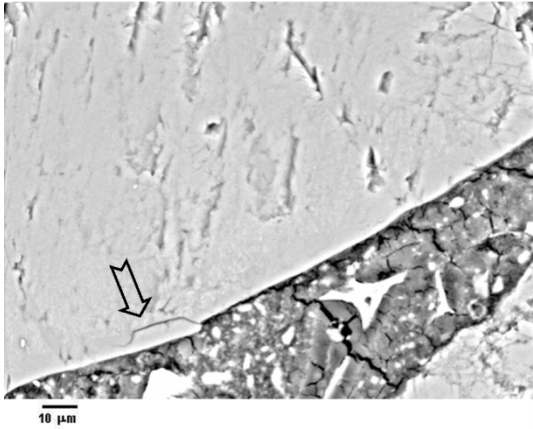
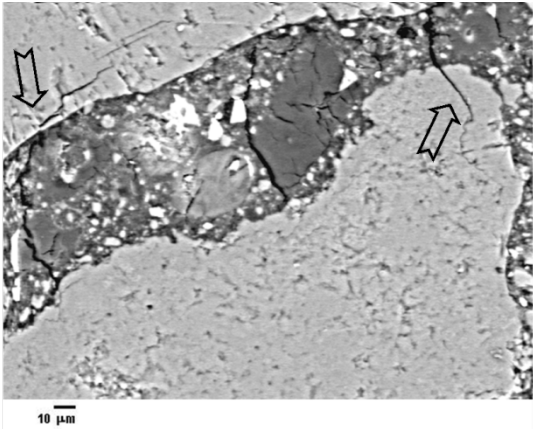
# Microscopía electrónica de barrido, SEM/BSE.-

## Observaciones particulares sobre la zona interfacial:

- Debilidad de las interfases en el caso de los áridos calcáreos, con fisuras propagadas desde la pasta de cemento a la propia partícula de árido.

Calcáreo  
C

x750

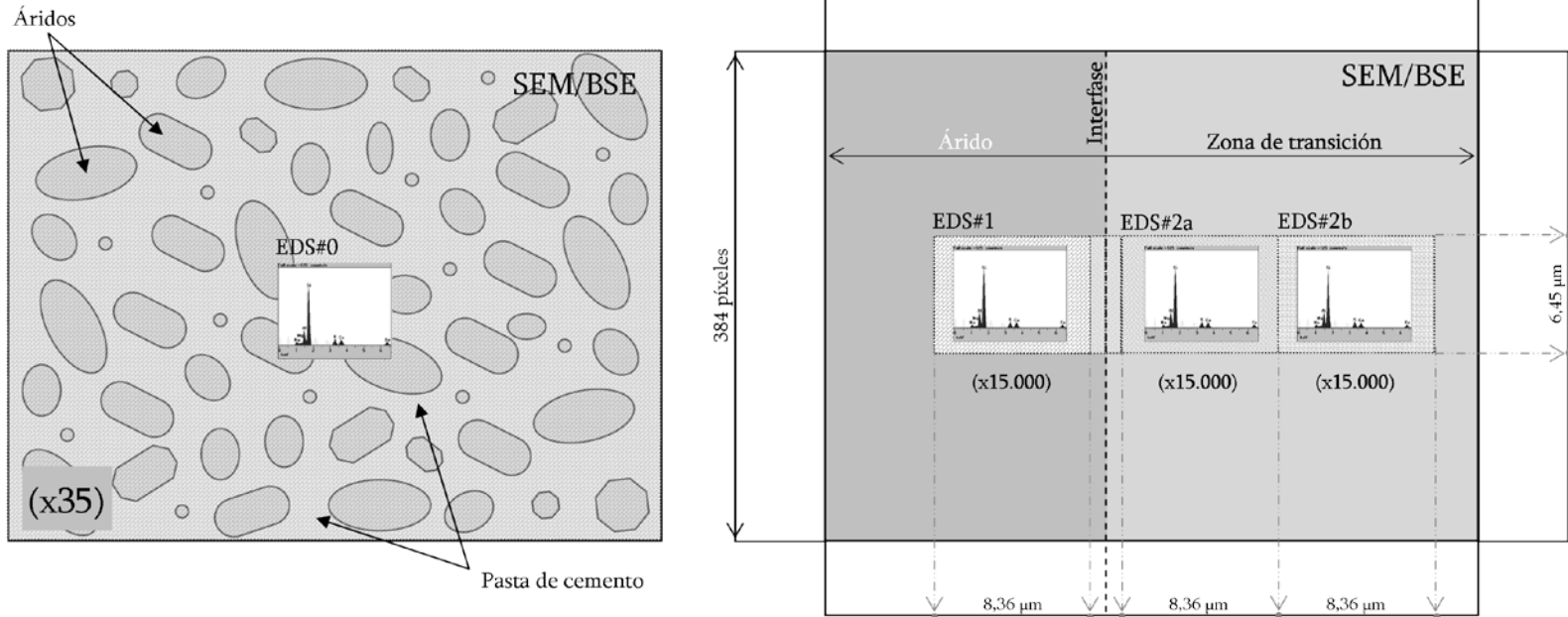


Calcáreo  
M

x1.000

545 días

# Microanálisis mediante espectrometría de emisión de rayos-X.-



Nuevo abordaje en la determinación de la composición elemental:

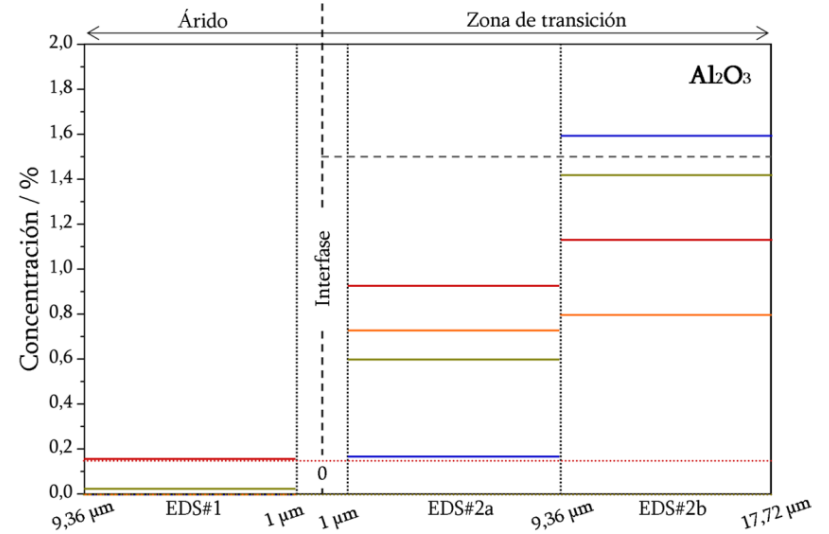
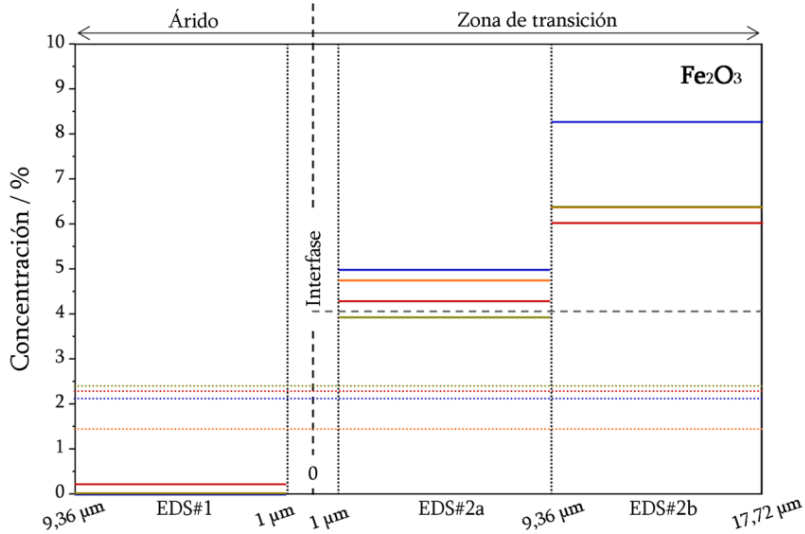
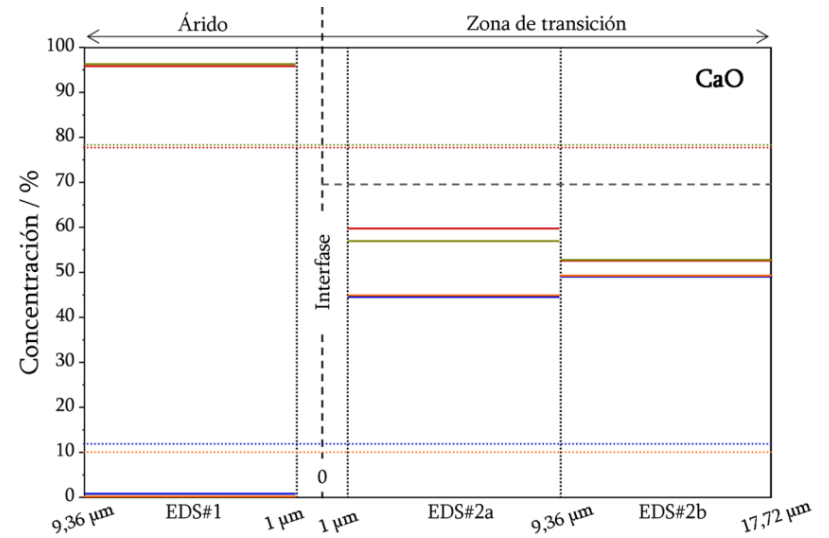
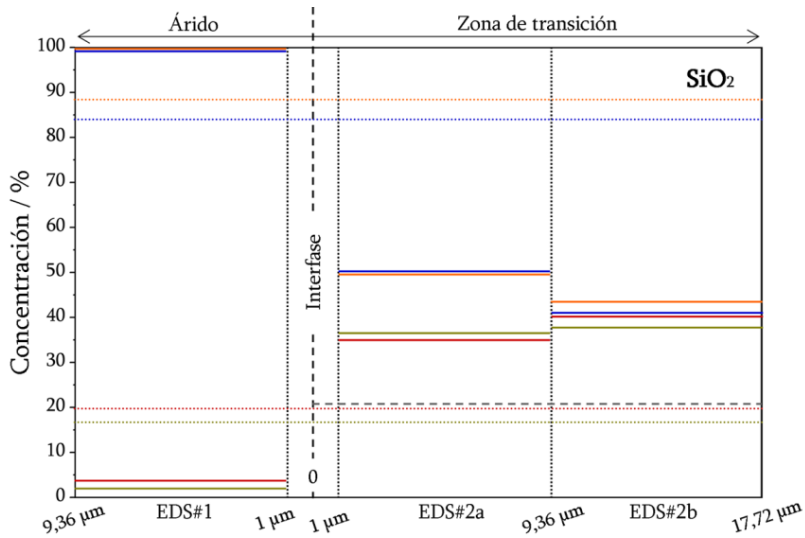
Realización de microanálisis EDS de área cuantitativos de muestras SEM/BSE sobre diferentes zonas interfaciales de un mismo mortero

# Parámetros de los microanálisis EDS de área de las superficies pulidas de mortero.-

Descripción	Parámetro	Silíceo O		Silíceo S		Calcáreo C		Calcáreo M	
EDS#0  Mortero	Aumentos	35		35		35		35	
	Número espectros	2		2		2		2	
	Número de cuentas	136.077	± 11.802	137.227	± 7.111	126.698	± 9.636	93.988	± 1.662
EDS#1  Árido	Aumentos	15.000		15.000		15.000		15.000	
	Número espectros	13		15		16		16	
	Número de cuentas	203.710	± 29.110	176.568	± 24.482	135.294	± 5.577	127.464	± 4.736
EDS#2a  ZTI [1,00-9,36] μm	Aumentos	15.000		15.000		15.000		15.000	
	Número espectros	13		13		16		16	
	Número de cuentas	150.177	± 25.216	118.471	± 15.386	130.650	± 7.694	115.914	± 15.248
EDS#2b  ZTI [9,36-17,72] μm	Aumentos	15.000		15.000		15.000		15.000	
	Número espectros	11		13		16		16	
	Número de cuentas	149.629	± 27.286	111.222	± 16.207	128.734	± 6.984	118.954	± 12.273



# Resultados de los microanálisis EDS de área de las superficies pulidas de mortero.- <sup>57</sup>



**Leyenda:**



**Silíceo O / Silíceo S / Calcáreo C / Calcáreo M**

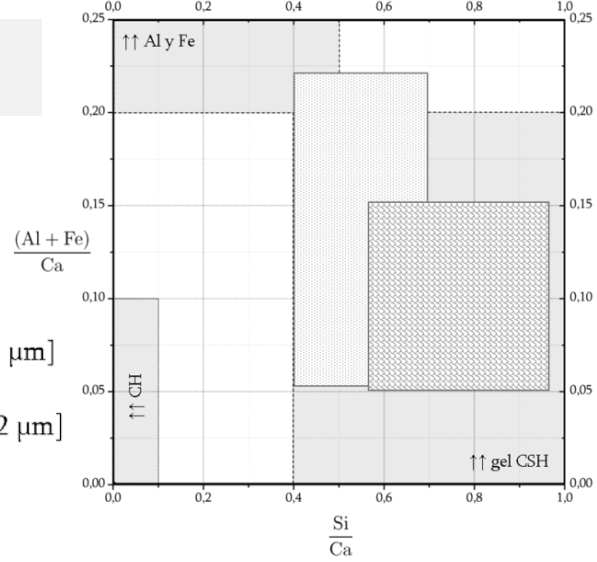


# Resultados de los microanálisis EDS de área de las superficies pulidas de mortero.- <sup>58</sup>

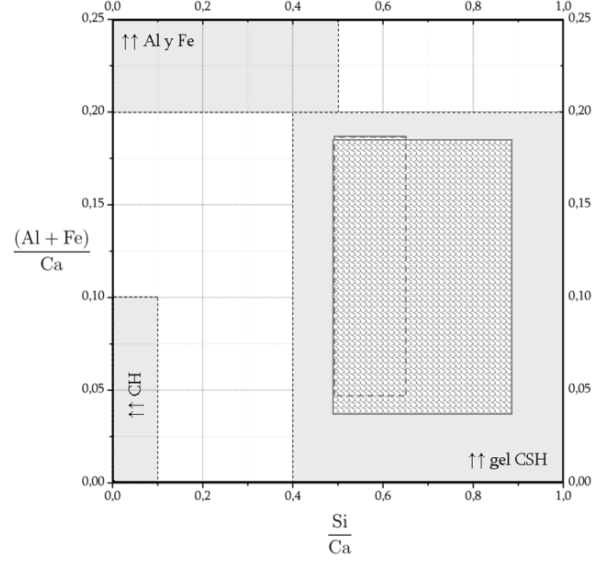
Silíceo O

O

-  ZTI [1,00-9,36 μm]
-  ZTI [9,36-17,72 μm]

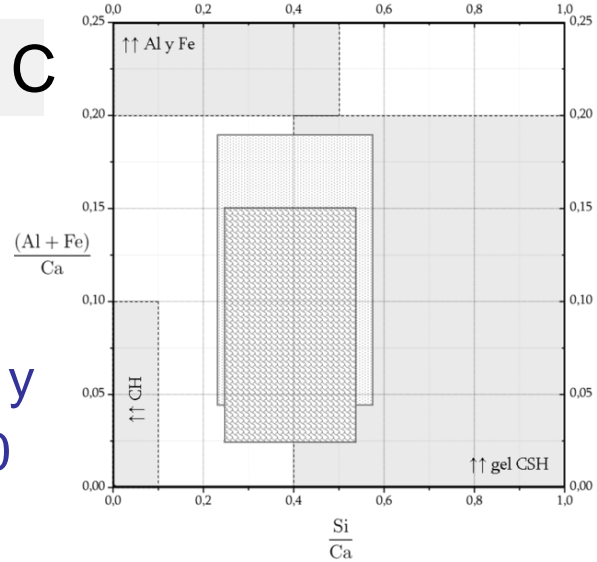


Silíceo S

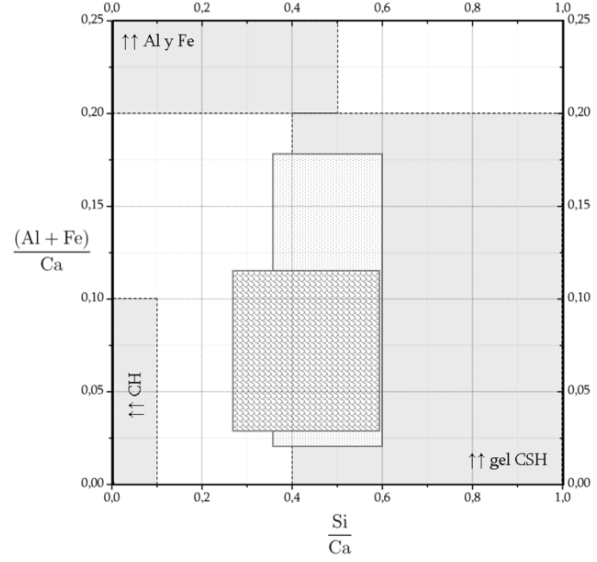


Calcáreo C

Lachowski y cols. 1980



Calcáreo M



**Adecuación de los áridos de  
acuerdo al ambiente de  
exposición  
del material de base cemento  
Portland.-**

# Adecuación de los áridos de acuerdo al ambiente de exposición del material de base cemento Portland.-

Adecuación	Áridos de naturaleza silíceo y carácter químico ácido	Áridos de naturaleza calcárea y carácter químico básico
Resistencia a la fractura	<u>mayor</u>	menor
Resistencia a la abrasión y al desgaste	<u>mayor</u>	menor
Cambios térmicos grandes	menor	<u>mayor</u>
Ataque por los iones sulfato, $\text{SO}_4^{2-}$	<u>mayor</u>	menor
Resistencia a los ciclos hielo-deshielo	<u>mayor</u>	menor
Lixiviación de la portlandita debido a aguas muy puras o aguas blandas	<u>mayor</u>	menor
Ataque por aguas ácidas y por ácido anhídrido carbónico agresivo, $\text{CO}_2(\text{aq})$	menor	<u>mayor</u>
Ataque por el $\text{CO}_2(\text{g})$ atmosférico, fenómeno de <i>carbonatación</i>	<u>mayor</u>	menor
Ataque por los iones cloruro, $\text{Cl}^-$ , al hormigón armado	<u>mayor</u>	menor
Ataque por agua de mar	<u>mayor</u>	menor
Resistencia al fuego	menor	<u>mayor</u>

# ¿Preguntas?



55<sup>o</sup> Congresso  
Brasileiro  
de Concreto  
08/11/2010 | 05

# **Aportes Científico-Técnicos.-**

# Nidos de ametralladoras construidos en la Guerra Civil Española



En la ciudad de Almería



En la ciudad de Madrid

## Probetas de un mismo hormigón con diferentes áridos



(Izquierda) A partir de áridos de naturaleza calcárea  
y  
carácter químico básico

(Derecha) A partir de áridos de naturaleza silíceo y  
carácter químico ácido

# Diferentes tipos de hormigón poroso, para carreteras con tráfico pesado o cubiertas



**Hormigón poroso del tramo experimental de carretera SG-P-3121 en Zamarramala, Segovia (España)**

**Losa Filtrón® para cubiertas invertidas transitables**



# Obras reales:

Eduardo Torroja Miret

(1899-1961)

(A) Hipódromo de la Zarzuela, Madrid, 1935-

(B) Mercado de Abastos, Algeciras, 1935.

(C) Acueducto de Alloz, Cirauqui, Navarra, 19

(D) Perfil laminar hiperbólico en IETcc-CSIC,



(A)



(B)



(C)



(D)



(A)



(B)



(C)



(D)

Félix Candela Outeiriño

(1910-1997)

(A) Iglesia de la medalla de la virgen milagrosa, Navarte, México, 1953-1957.

(B) Planta embotelladora de Bacardí, Cuautitlán, México, 1959-1960.

(C) Iglesia Nuestra Señora de Guadalupe, Madrid, España, 1962-1963.

(D) L'Oceanogràfic, ciudad de las artes y las ciencias, Valencia, España, 1994-2002 .