

¿Estás buscando el mejor diseño de mezclas para el concreto?
Sorción y durabilidad

MASTER CLASS

RESOLVIENDO EL RETO ALIÓN - FORTACRET

Vivian Andrea Ulloa Mayorga

ulloa.vivian@javeriana.edu.co

Organiza:



Patrocina:

FORTACRET®



¿Qué materiales tiene el mejor concreto?

Organiza:



Patrocina:

FORTACRET®



Los componentes del mejor **concreto** son simples:

Materiales cementantes, arena, agregados, agua y según las necesidades, aditivos, fibras ...

Sin embargo los componentes del peor **concreto**, son los mismos,

la diferencia radica en el **saber hacer** (Neville, 1996)

Organiza:



Patrocina:

FORTACRET®



¿Diseño de la mejor mezcla?

✓ **Colocación**

✓ **Resistencia**

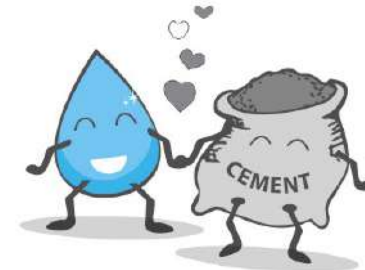
a/mc

✓ **Durabilidad**

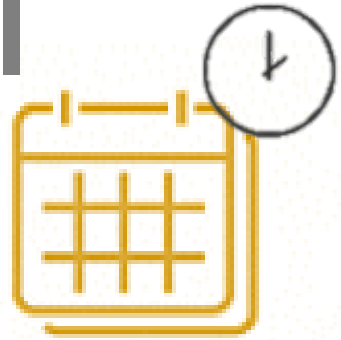


f'_{cr}
 E
 MR

Condiciones de exposición
Condiciones de servicio



Vida útil



<http://bestsupportunderground.com/relacion-agua-cemento/>

Organiza:



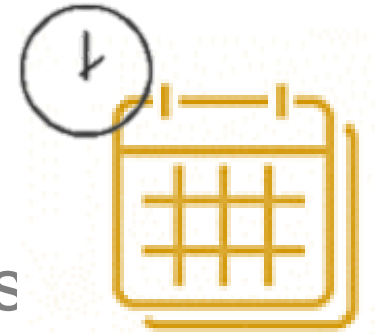
Patrocina:

FORTACRET®



Durabilidad del concreto

Habilidad para resistir la acción del intemperismo, ataques químicos, abrasión, u otro proceso de deterioro. Se le denomina durable a un concreto que mantiene su forma original, su calidad y sus propiedades de servicio al estar expuesto a su medio ambiente.



. (ACI Committee 201, 1982)



- Protección física → espesor de recubrimiento
- Protección química → pH alcalino del concreto (12-13)

Condiciones de
exposición del concreto

Organiza:

CEMENTOS
ALION
© 2012 ALION

Patrocina:

FORTACRET®

Universidad
JAVERIANA



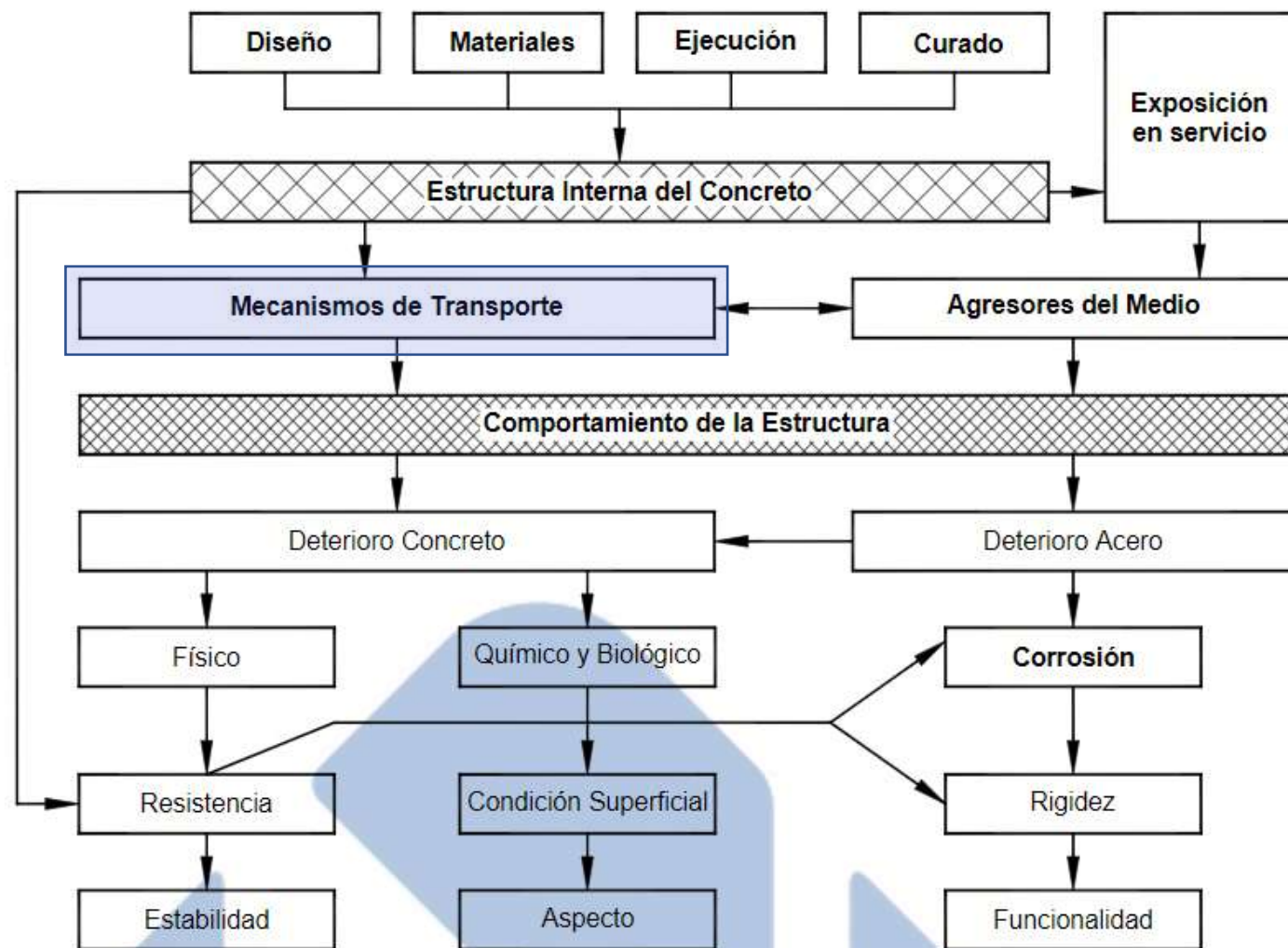


Figura 2. Factores que afectan la durabilidad

NTC 5551 Concretos. Durabilidad de Estructuras de Concreto

Organiza:

CEMENTOS
ALION
© 2022 ALION

Patrocina:

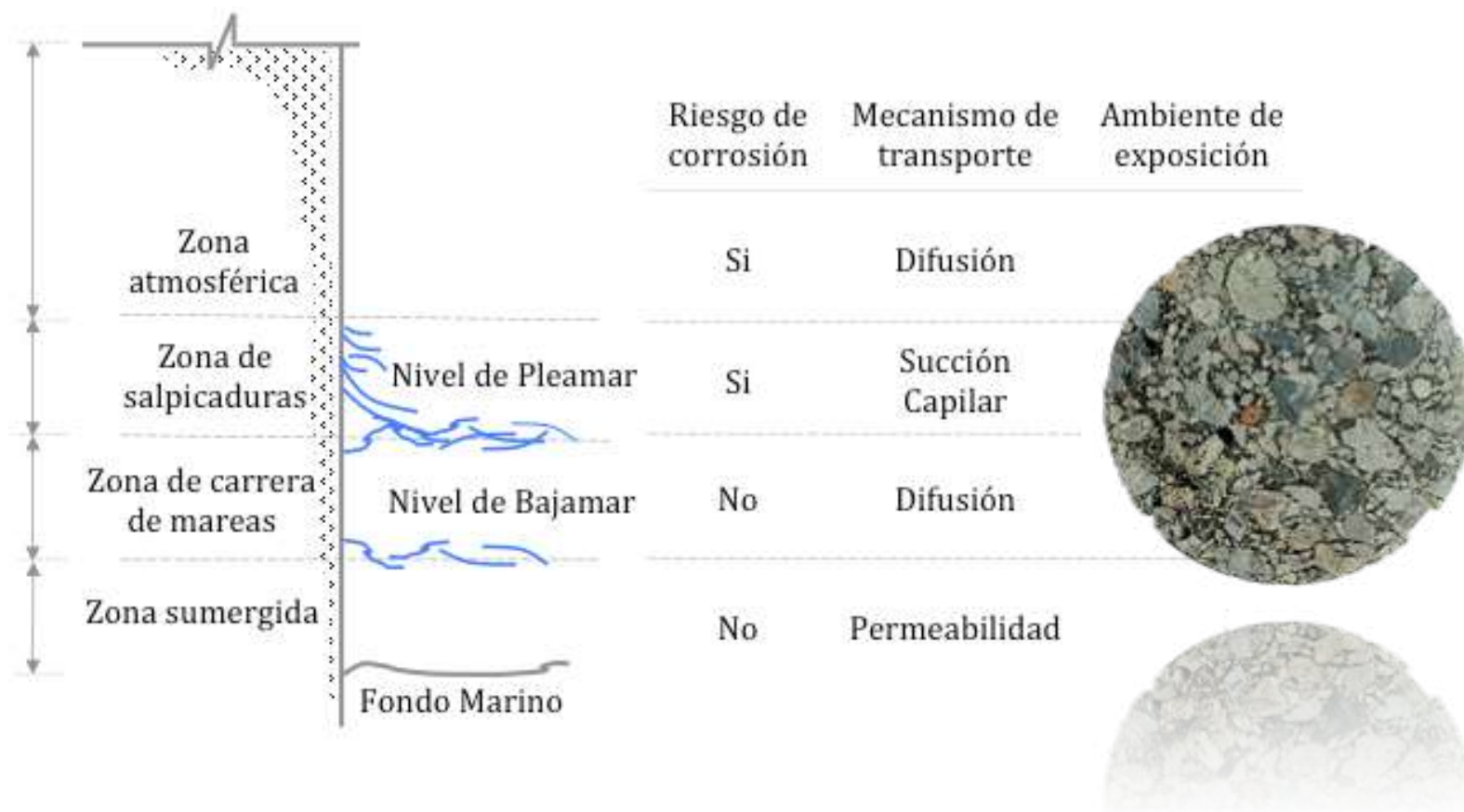
FORTACRET®

Practica Universidad
JAVERIANA



Mecanismos de transporte

- ✓ Permeabilidad
- ✓ Sorción - Succión Capilar
- ✓ Difusión



Organiza:

CEMENTOS
ALION
© 2012 ALION

Patrocina:

FORTACRET®

Universidad
JAVERIANA



TABLA C.4.2.1 — CATEGORÍAS Y CLASES DE EXPOSICIÓN

Categoría	Severidad	Clase	Condición	
F Congelamiento y deshielo	No es aplicable	F0	Concreto no expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo	
	Moderada	F1	Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo y exposición ocasional a la humedad	
	Severa	F2	Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo y en contacto continuo con la humedad	
	Muy severa	F3	Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo que estará en contacto continuo con la humedad y expuesto a productos químicos descongelantes	
S Sulfato			Sulfatos solubles en agua (SO ₄) en el suelo, % en peso	Sulfato (SO ₄) disuelto en agua, ppm
	No aplicable	S0	SO ₄ < 0.10	SO ₄ < 150
	Moderada	S1	0.10 ≤ SO ₄ < 0.20	150 ≤ SO ₄ < 1500 agua marina
	Severa	S2	0.20 ≤ SO ₄ ≤ 2.00	1500 ≤ SO ₄ ≤ 10000
	Muy severa	S3	SO ₄ > 2.00	SO ₄ > 10000
P Requiere baja permeabilidad	No aplicable	P0	En contacto con el agua donde no se requiere baja permeabilidad	
	Requerida	P1	En contacto con el agua donde se requiera baja permeabilidad	
C Protección del refuerzo para la corrosión	No aplicable	C0	Concreto seco o protegido contra la humedad	
	Moderada	C1	Concreto expuesto a la humedad, pero no a una fuente externa de cloruros	
	Severa	C2	Concreto expuesto a la humedad y a una fuente externa de cloruros provenientes de productos químicos descongelantes, sal, agua salobre, agua de mar o salpicaduras del mismo origen	

TABLA C.4.3.1 — REQUISITOS PARA EL CONCRETO SEGÚN LA CLASE DE EXPOSICIÓN

Clase de Exposición	Rel. a/mc máx.±	f'c min. MPa	Requisitos mínimos adicionales			
			Contenido de aire			Límites en los cementantes
F0	N/A	17	N/A			N/A
F1	0.45	31	tabla C.4.4.1			N/A
F2	0.45	31	tabla C.4.4.1			N/A
F3	0.45	31	tabla C.4.4.1			tabla C.4.4.2
			Tipos de material cementante*			Aditivo cloruro de calcio
			ASTM C 150	ASTM C 595	ASTM C 1157	
S0	N/A	17	Sin restricción en el tipo	Sin restricción en el tipo	Sin restricción en el tipo	Sin restricción
S1	0.50	28	II ¹²	IP(MS), IS(<70) (MS)	MS	Sin restricción
S2	0.45	31	V ³	IP(HS), IS(<70) (HS)	HS	No se permite
S3	0.45	31	V puzolanas o escoria ³	IP(HS) y puzolanas o escoria ³ o IS(<70) (HS) y puzolanas o escoria ³	HS y puzolanas o escoria ³	No se permite
P0	N/A	17	Ninguna			
P1	0.50	28	Ninguna			
			Contenido máximo de iones de cloruro (Cl ⁻) soluble en agua en el concreto, porcentaje por peso de cemento		Requisitos relacionados	
			Concreto reforzado	Concreto Prestresado		
C0	N/A	17	1.00	0.06	Ninguno	
C1	0.50	17	0.30	0.06		
C2	0.40	35	0.15	0.06		
					7.7.6, 18.16"	

*Se pueden permitir combinaciones alternativas de materiales cementantes

$$\frac{a}{mc}$$

$$f'c$$

Tabla 1. Clases generales de exposición

Clase	Subclase	Tipo de proceso	Descripción del ambiente de exposición	Ejemplos
1		Ningún riesgo de corrosión o ataque.	Interiores de edificios, no sometidos a condensaciones. Elementos de concreto en masa.	Interior de edificios, protegidos de la intemperie.
2		Corrosión inducida por carbonatación.		
	2,1	Humedad alta	Interiores sometidos a humedades medias altas > 65 % o condensaciones. Exteriores en ausencia de cloruros y expuestos a lluvia en zonas con precipitación media anual superior a 600 mm. Elementos enterrados o sumergidos.	Sótanos no ventilados, cimentaciones, tableros
	2,2	Humedad media	Exteriores en ausencia de cloruros sometidos a la acción del agua de lluvia, en zonas con precipitación media anual menor o igual a 600 mm.	Construcciones exteriores protegidas de la lluvia. Tableros y pilas de puentes en zonas de precipitación media anual menor o igual a 600 mm.
	2,3	Humedecimiento-secado	Ciclos de humedecimiento y secado.	Superficies en contacto con el agua, estructuras sometidas a ciclos de humedad y secado, tanques, pilas.
3		Corrosión inducida por cloruros del agua de mar		
	3,1	Aérea	Elementos de estructuras marinas por encima del nivel de pleamar. Elementos exteriores de estructuras situadas en las proximidades de la línea costera (a menos de 5 km).	Estructuras en las proximidades de la costa, zonas aéreas de diques y otras obras de defensa.
	3,2	Sumergida	Elementos de estructuras marinas sumergidas permanentemente por debajo del nivel mínimo de bajamar.	Zonas sumergidas de diques y otras obras de defensa litoral, cimentaciones y zonas sumergidas de pilas de puentes en pleamar.
	3,3	En zona de mareas	Elementos de estructuras marinas situadas en la zona de cambio de mareas.	Zonas situadas en el recorrido de marea de diques y otras obras de defensa litoral. Zonas de pilas de puentes sobre el mar, situadas en el recorrido de marea.

Clase	Subclase	Tipo de proceso	Descripción del ambiente de exposición	Ejemplos
4		Corrosión inducida por cloruros diferentes a los que provienen del agua de mar.	Concreto reforzado o con metal embebido en contacto con agua con cloruros diferente al agua de mar.	
	4,1	Humedad moderada.	Concreto con exposición directa a salpicaduras con cloruros.	Piscinas, plantas de tratamiento
	4,2	Humedad	Concretos expuestos a cloruros provenientes de procesos industriales. Instalaciones no impermeabilizadas en contacto con agua que presente un contenido elevado de cloruros, no relacionados con el ambiente marino.	Piscinas, plantas de tratamiento
	4,3	Ciclos de humedecimiento y secado.	Estructuras expuestas a humedecimiento y secado de aguas con contenidos de cloruros.	Estructuras de puentes Pavimentos Placas de parqueaderos.
5	5,1	Ataque por hielo y deshielo.	Elementos situados en contacto frecuente con el agua, o zonas con humedad relativa media superior al 75 % y que tengan una probabilidad anual superior al 50 % de alcanzar al menos una vez temperaturas por debajo de -5 °C.	Construcciones en zonas de alta montaña, estaciones invernales, cuartos fríos temperaturas por debajo de -5 °C.
6		Ataque químico		
	6,1	Débil	Elementos situados en ambientes con contenidos de sustancias químicas capaces de provocar la alteración del concreto con velocidad lenta. Véase la Tabla 2.	Instalaciones industriales con sustancias débilmente agresivas de acuerdo con la Tabla 2, construcciones en proximidades de áreas industriales, con agresividad débil según la Tabla 2
	6,2	Medio	Elementos en contacto con el agua de mar. Elementos situados en ambiente con contenidos de sustancias químicas capaces de provocar alteración del concreto con velocidad media, de acuerdo con la Tabla 2.	Estructuras marinas en general. Instalaciones industriales con sustancias de agresividad media.
	6,3	Fuerte	Elementos expuestos a fuertes alteraciones del concreto. Véase Tabla 2.	Instalaciones industriales con sustancias de alta agresividad, de acuerdo con la Tabla 2. Instalaciones de conducción y tratamiento de aguas residuales.
7	7,1	Desgaste	Abrasión, cavitación. Elementos sometidos a desgaste superficial. Elementos de estructuras hidráulicas en los que el nivel piezométrico pueda descender por debajo de la presión de vapor de agua.	Pilas de puente en cauces muy torrenciales, elementos de diques, tuberías de alta presión, tránsito ligero de pavimentos, tráfico mediano o pesado.

NTC 5551 Concretos. Durabilidad de Estructuras de Concreto

Organiza:



Patrocina:

FORTACRET®



Tabla 3. Valores límite para composición y propiedades del concreto

Parámetro	Subclases	Clase														
		1	2			3			4			5	6			7
		1	2,1	2,2	2,3	3,1	3,2	3,3	4,1	4,2	4,3		6,1	6,2	6,3	
Máxima relación a/m.c.	Concreto no reforzado	0,65	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0,45	0,5	0,5	0,45	0,5
Máxima relación a/m.c.	Concreto reforzado	0,65	0,6	0,55	0,5	0,5	0,45	0,4	0,55	0,55	0,45	0,45	0,5	0,45	0,45	0,5
Máxima relación a/m.c.	Concreto preesforzado	0,6	0,6	0,55	0,5	0,5	0,45	0,4	0,5	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,5
Resistencia especificada mínima a compresión MPa		---	24	28	28	28	35	35	28	28	35	31	31	35	35	28
Contenido mínimo de material cementante (kg/m ³)	Concreto no reforzado	200	---	---	---	---	---	---	---	---	---	275	275	300	325	275
Contenido mínimo de material cementante (kg/m ³)	Concreto reforzado	250	300	300	300	300	325	350	300	320	340	300	325	350	350	300
Contenido mínimo de material cementante (kg/m ³)	Concreto preesforzado	275	300	300	300	300	325	350	300	320	340	300	325	350	350	300
Contenido de aire incorporado mínimo (%)									**	**	**	**	**	**	**	
Otros requerimientos													*	*	*	

* Cemento resistente a sulfatos (Tipo II, Tipo V) o una adecuada dosis de microsilica o cemento adicionado que cumpla con las normas.

** Según Tabla 4 relación a/m.c. = relación agua / material cementante.

NOTA Para estructuras especiales, como tuberías y prefabricados de concreto, se deberían tener en cuenta las recomendaciones, especificaciones, normativa existente y requisitos de durabilidad de organizaciones como el American Concrete Institute (ACI), o de otras instituciones o asociaciones que hayan estudiado el tema. Adicionalmente, para agresiones de la clase 6 debería considerarse el uso de protecciones secundarias cuando sea necesario.

NTC 5551 Concretos. Durabilidad de Estructuras de Concreto

Organiza:



Patrocina:

FORTACRET®



Durabilidad

Situaciones Especiales

ACI Committee 350 Environmental Engineering Concrete Structures

TABLE 4.2.2—REQUIREMENTS FOR SPECIAL EXPOSURE CONDITIONS

Exposure condition	Maximum water-cementitious materials ratio, by weight	Minimum f_c , psi
Concrete intended to have low permeability when exposed to water, wastewater, and corrosive gases	0.45	4000
Concrete exposed to freezing and thawing in a saturated condition or to deicing chemicals	0.42	4500
For corrosion protection of reinforcement in concrete exposed to chlorides in tanks containing brackish water and concrete exposed to deicing chemicals, seawater, or spray from seawater	0.40	5000

TABLE 4.3.1—REQUIREMENTS FOR CONCRETE EXPOSED TO SULFATE-CONTAINING SOLUTIONS

Sulfate exposure	Water soluble sulfate (SO_4) in soil, percent by weight	Sulfate (SO_4) in water, ppm	Cement type	Maximum water-cementitious ratio, by weight*	Minimum specified compressive strength f_c , psi*
Negligible	0.00-0.10	0-150	—	0.45	—
Moderate†	0.10-0.20	150-1500	II, IP(MS), IS(MS), I(PM)(MS), I(SM)(MS)	0.42	4500
Severe	0.20-2.00	1500-10,000	V	0.40	5000
Very severe‡	Over 2.00	Over 10,000	V plus pozzolan§	0.40	5000

* A lower water-cementitious materials ratio or higher strength may be required for corrosion protection for concrete exposed to chlorides (Table 4.2.2).

† Seawater.

‡ Additional corrosion barriers such as coatings or liners shall be required for very severe exposure.

§ Pozzolan that has been determined by test or service record to improve sulfate resistance when used in concrete containing Type V cement.

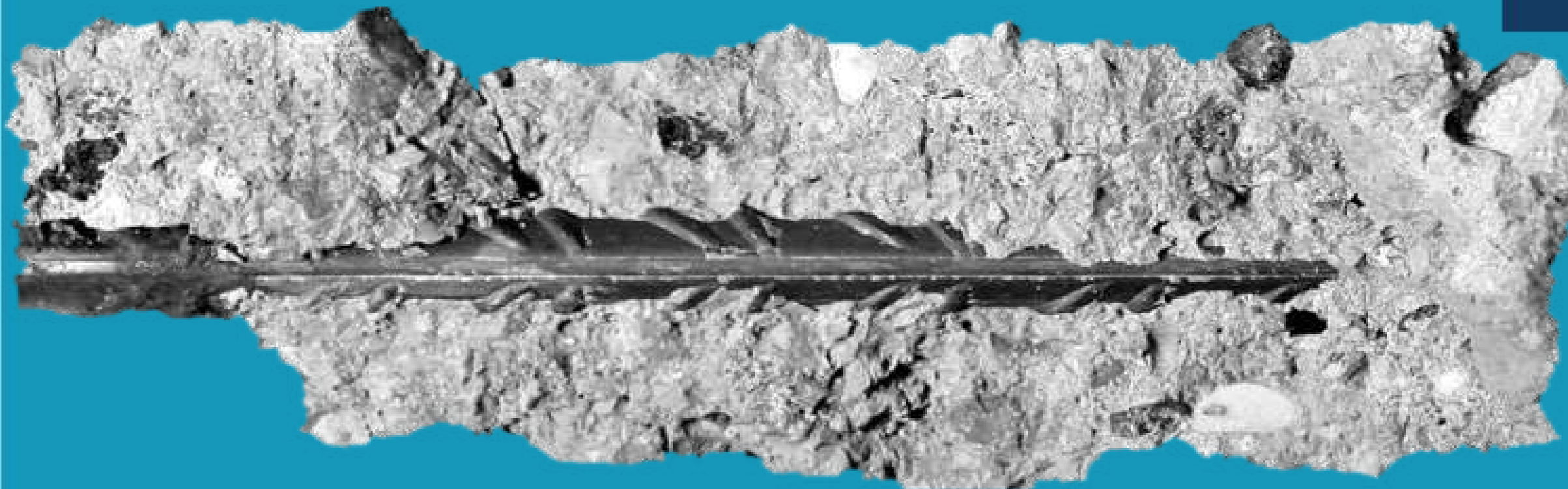
Organiza:



Patrocina:

FORTACRET®





¿Y cómo medimos que tan durable es?

Organiza:

CEMENTOS
ALION
S.A. DE C.V.

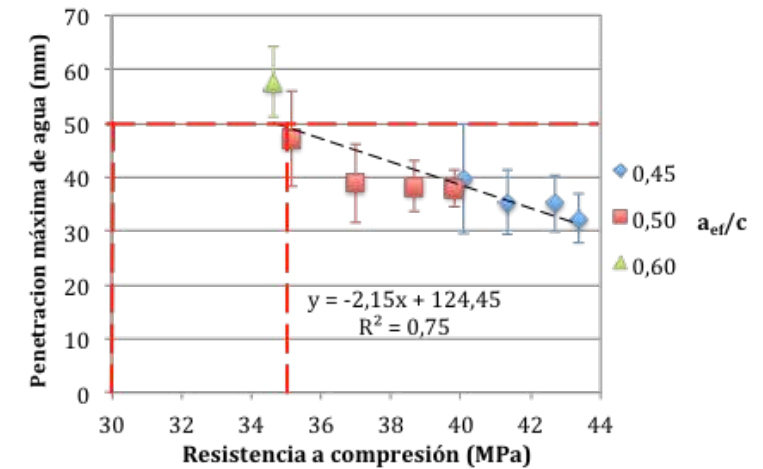
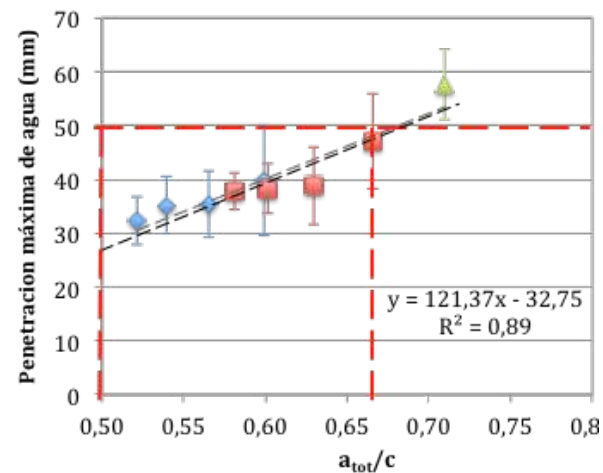
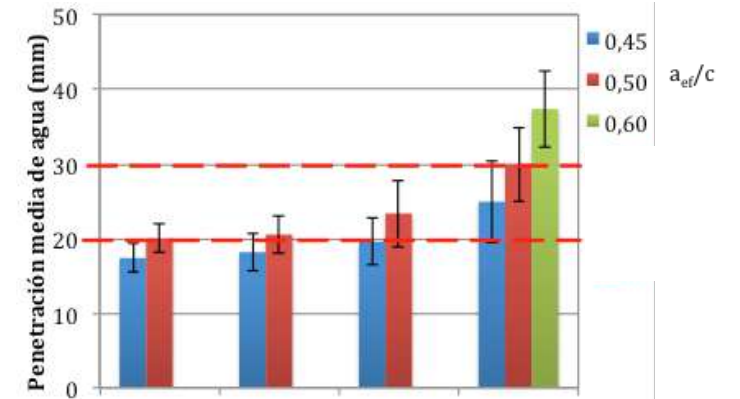
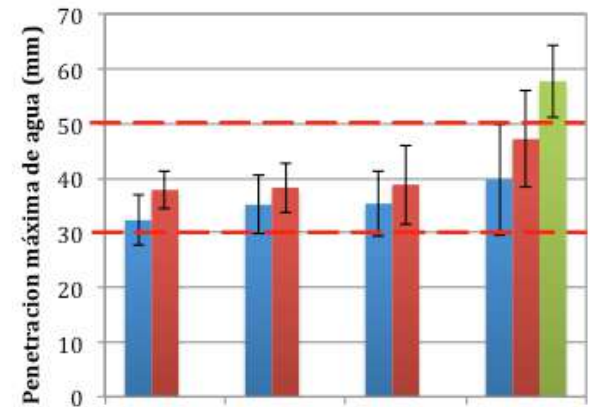
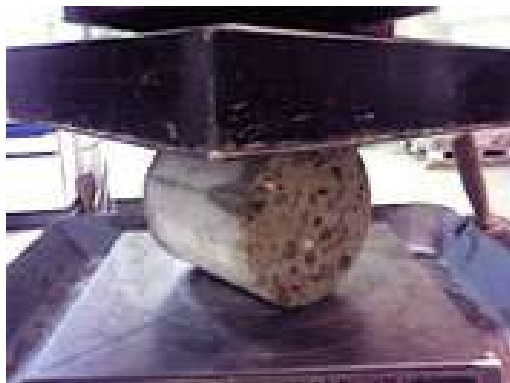
Patrocina:

FORTACRET®

Universidad
JAVIERIANA
México

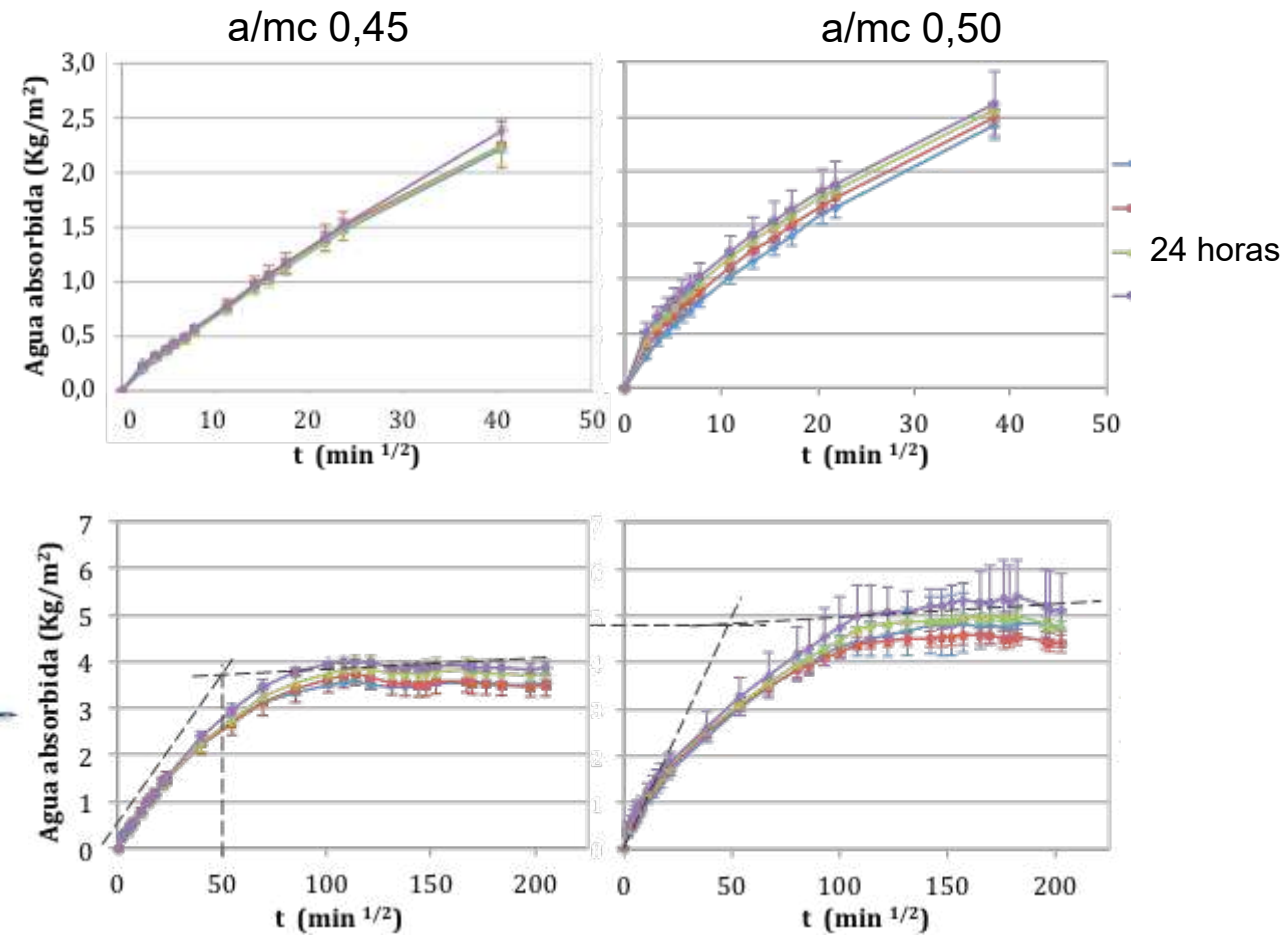
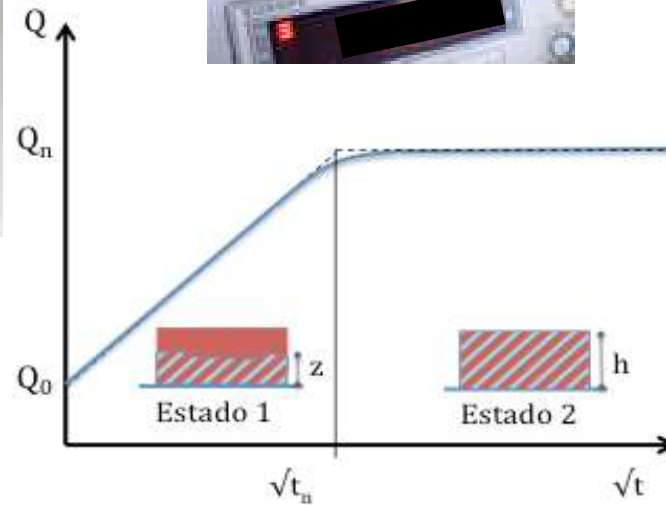
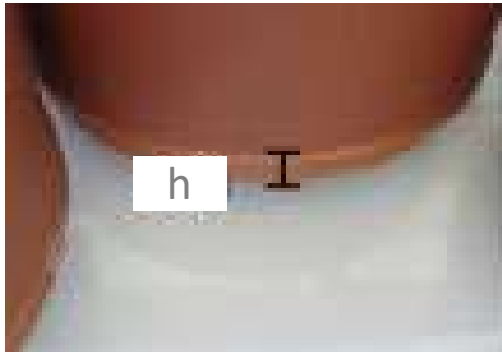
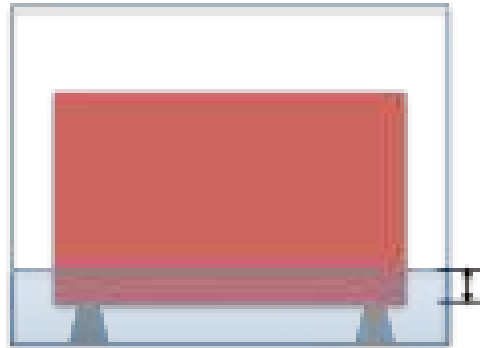


Permeabilidad



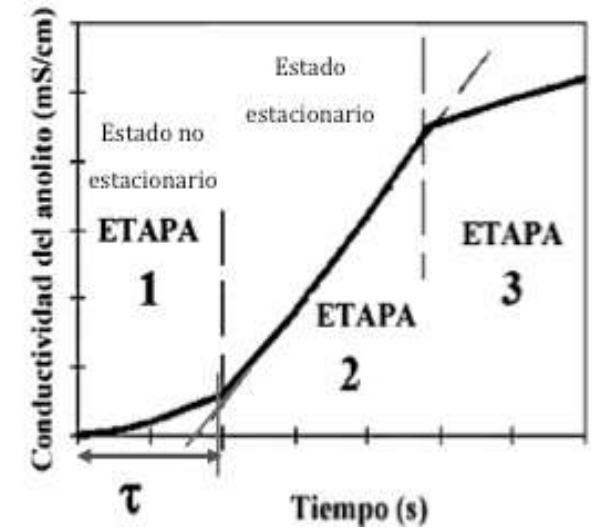
(Ulloa, 2012)

Sorción



(Ulloa, 2012)

Difusión



→ Perfil de concentración de cloruros



Coeficiente de difusión de cloruros D
y Concentración superficial C_s

7, 30, 365 días ...

RESOLVIENDO EL RETO ALIÓN - FORTACRET

¡Encuentren el mejor concreto!

Organiza:



Patrocina:

FORTACRET®



¡Gracias!

Organiza:



Patrocina:

FORTACRET®



Conductividad hidráulica y sorción: una vista desde el cemento

Laura Lopera

Organiza:



Patrocina:

FORTACRET®



Contenido

1. Hidratación del cemento.
2. Importancia de la DTP.
3. Porosidad capilar.
4. Relación agua – cemento.
5. Importancia del curado del concreto.

Organiza:

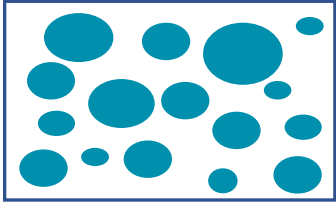


Patrocina:

FORTACRET®



Hidratación del cemento



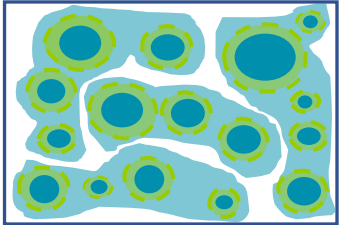
T = 0
Granos de
cemento



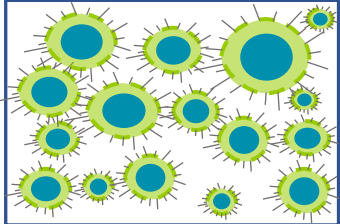
1 gramo de cemento



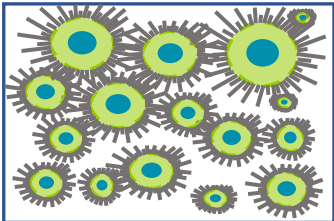
0,3 gramos de agua (aprox.)



T = minutos
Inicio de
hidratación



T = horas
Inicio
formación de
hidratos



T = días
Proliferación
de hidratos

- El agua es uno de los principales componentes de las pastas de cemento.
- Las fases químicas del cemento reaccionan con el agua para desarrollar la resistencia.
- Parte del espacio entre partículas en la mezcla inicialmente está lleno de agua, con el tiempo se sustituye parcialmente por los productos de reacción.
- Cuando no se logra sustituir totalmente este espacio con hidratos quedan poros en el material, conocida como porosidad capilar.

Organiza:

CEMENTOS
ALION
© 2012 ALION

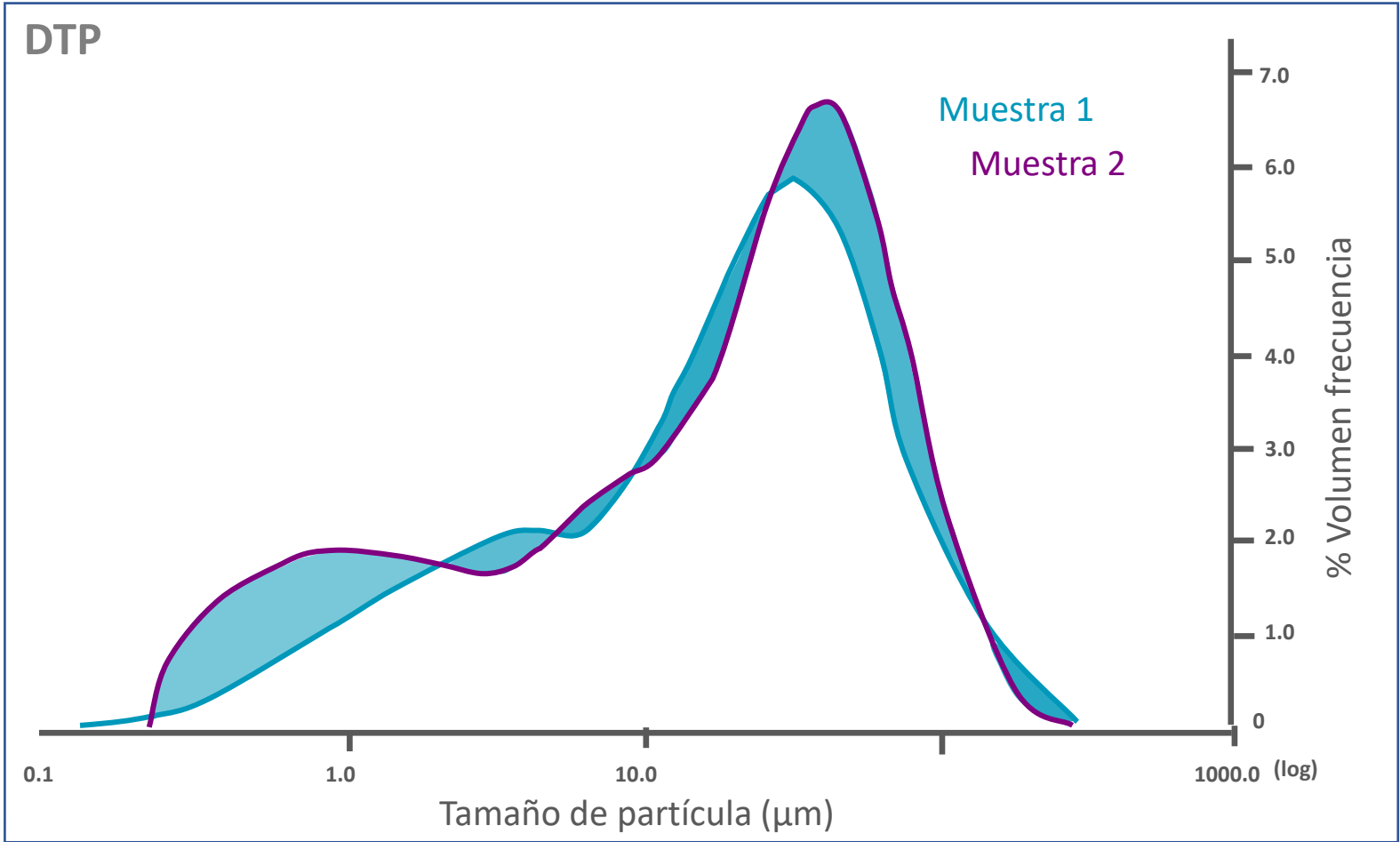
Patrocina:

FORTACRET®

Practica Universidad
JAVERIANA



Blaine o DTP



Muestra 1

1 cm

Área superficial
 $4(1 \times 1 \times 6) = 24$

Muestra 2

1 cm

Área superficial
 $12 + 6 + 6 = 24$

$2 \times 1 \times 6 = 12$

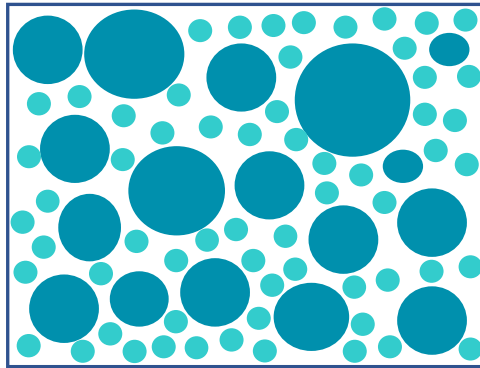
$1 \times 1 \times 6 = 6$

$2 \times (0,5 \times 1) \times 6 = 6$

Blaine

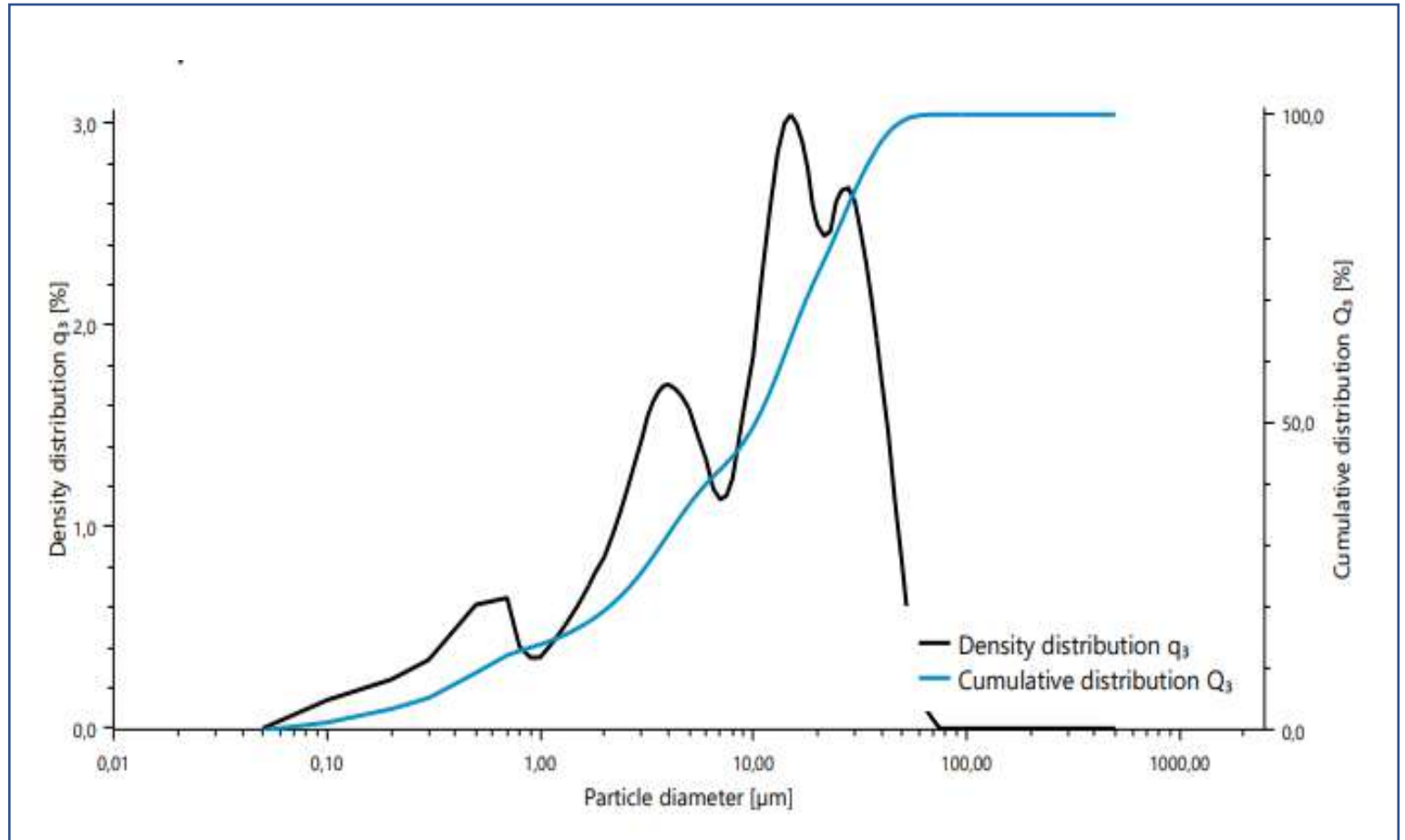
Empaquetamiento de cemento

$T = 0$



● Granos de clinker ● caliza

El efecto filler produce que las partículas finas de las adiciones (caliza) rellenen el espacio vacío entre los granos de clinker modificando su empaquetamiento lo que implica un cambio en la porosidad inicial de la pasta



Organiza:

CEMENTOS
ALION
© 2022 ALION

Patrocina:

FORTACRET®

Practica Universitaria
JAVIERIANA



Porosidad capilar

Modelo de Powers de la porosidad capilar
para el cemento Portland¹

$$\Phi(\%) = \left(\frac{A}{C} - 0,37\alpha \right) * 100$$

Φ : Porosidad capilar.
 A/C : relación agua/cemento
 α : grado de hidratación

- La porosidad capilar depende de la relación A/C y el grado de hidratación.
- En términos de conductividad de poros, la reducción de la conductividad hidráulica ocurre cuando el volumen de poros capilares es menor al 18%.¹
- Para una relación A/C = 0,43, se requiere un grado de hidratación de 0,68 para lograr una porosidad capilar menor a 18%.

1.://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-68352015000200084#B2

Organiza:



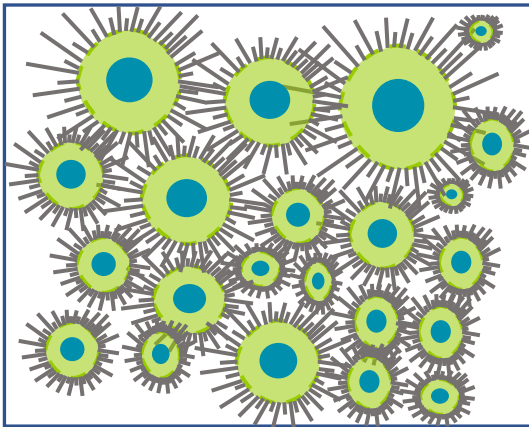
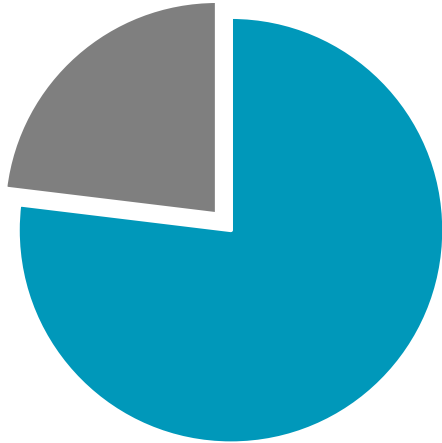
Patrocina:

FORTACRET®

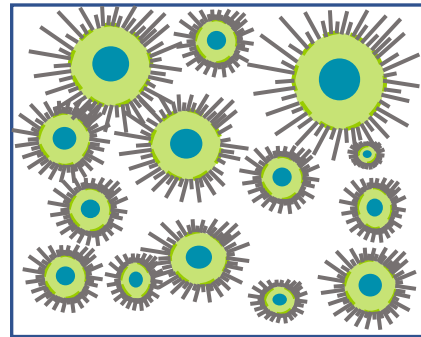
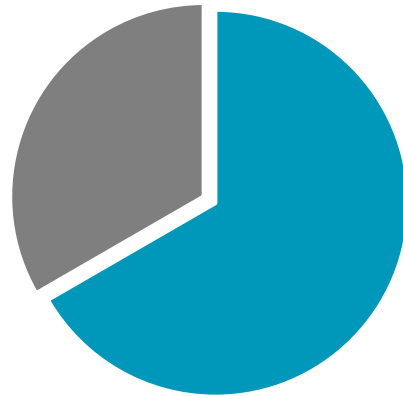


Relación agua cemento

A/C = 0,3



A/C = 0,5



- Mientras mayor sea la A/C las partículas de cemento quedarán más separadas y se hace más difícil que los productos de hidratación llenen los espacios. Por tanto, aumenta la porosidad capilar.
- El agua que no participa en la hidratación del cemento se evapora dejando poros que favorecen la conductividad hidráulica y sorción.
- Las altas relaciones A/C también promueven la formación de fisuras por contracción.

Organiza:

CEMENTOS
ALION
© 2022 ALION

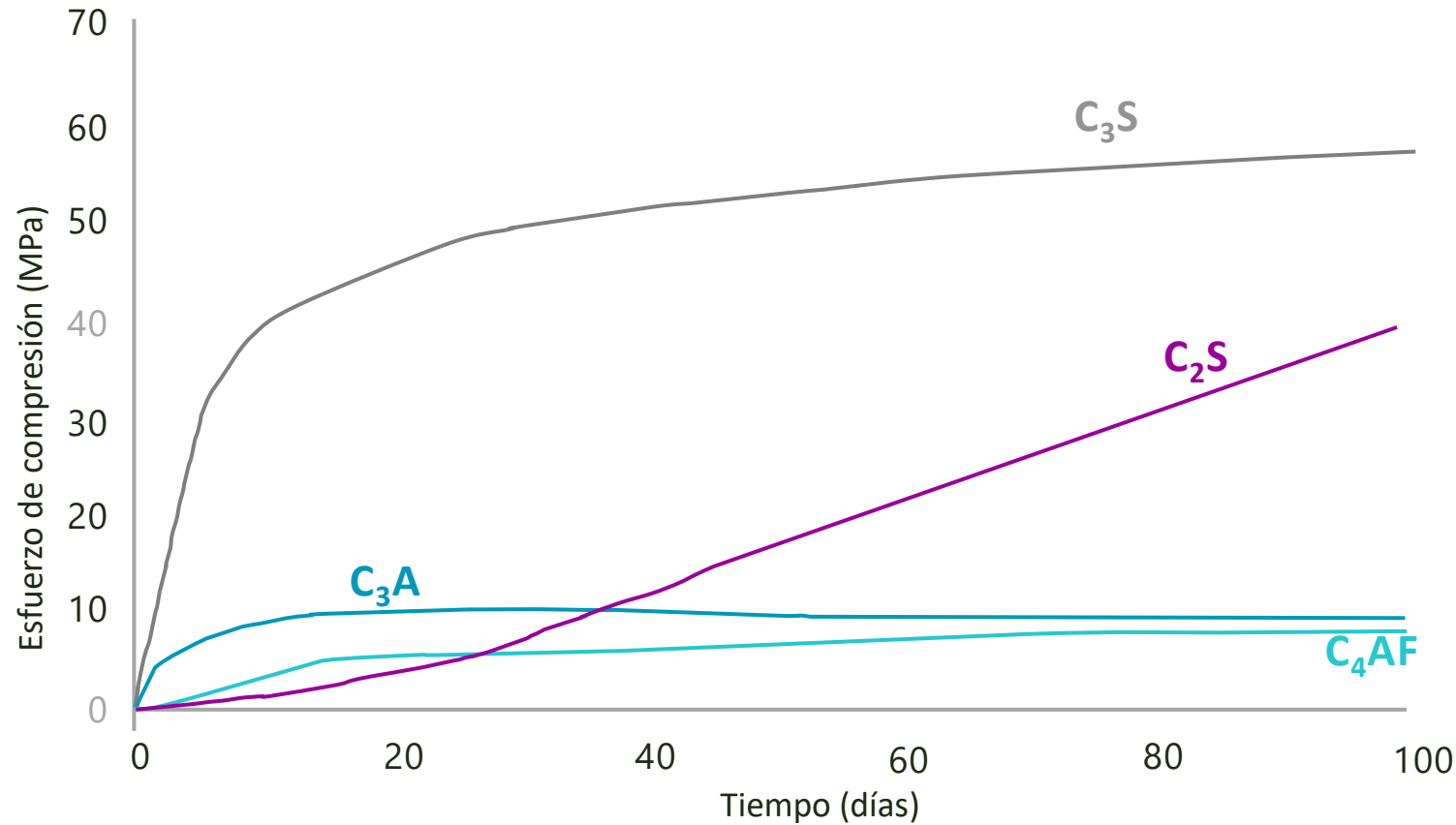
Patrocina:

FORTACRET®

Practica Universidad
JAVERIANA
© 2022 JAVERIANA

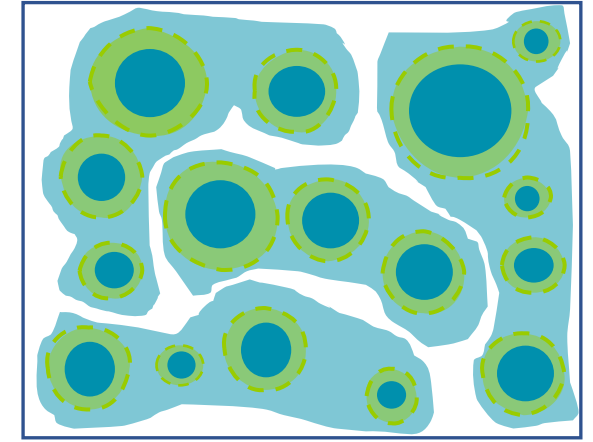


Importancia del curado



Aporte de resistencia de los compuestos principales del cemento.

Fuente: El concreto Fundamentos y Nuevas Tecnologías. Ricardo Matallana



- La porosidad capilar depende del grado de hidratación.
- Por las velocidades de reacción de la Alita y Belita, necesitan agua para reaccionar incluso a más de 28 d,
- Por la manera como ocurre la hidratación en “capas”, pueden existir núcleos de granos de cemento sin reaccionar.

Organiza:

CEMENTOS
ALION
© 2012 ALION

Patrocina:

FORTACRET®

Practica Universidad
JAVERIANA



Conclusiones

1. Cuando no se logra sustituir con productos de hidratación los espacios entre partículas queda porosidad en el material, que se conoce como porosidad capilar.
2. Las partículas más finas del cemento y *fillers* pueden acomodarse entre otras partículas de cemento, mejorando su empaquetamiento y mejorando la porosidad de la pasta.
3. La porosidad capilar depende de la relación agua cemento y el grado de hidratación. De aquí la importancia de usar la mínima cantidad de agua cemento para alcanzar conductividades hidráulicas bajas.
4. Un alto grado de hidratación, puede promoverse con un buen curado, para asegurar que siempre habrá suficiente agua para la hidratación de los núcleos de los granos de cemento y la ganancia de resistencia de la Alita y Belita.

Organiza:



Patrocina:

FORTACRET®



¡Gracias!

Organiza:



Patrocina:

FORTACRET®



Sorcibilidad y los cementantes suplementarios

El metacaolín de alta reactividad

Organiza:



Patrocina:

FORTACRET®



CONCRETOS

DURABLES



Más propiedades
para el concreto . . .
EN UN SOLO PRODUCTO
FORTACRET®

Metacaolín de alta reactividad

Cementante suplementario de altas prestaciones, finamente molido, obtenido a partir de materias primas naturales y procesos industriales controlados.

Excede ampliamente los requisitos de la norma ASTM C-618 exigida por la NSR-10 y el ACI 350.

Organiza:



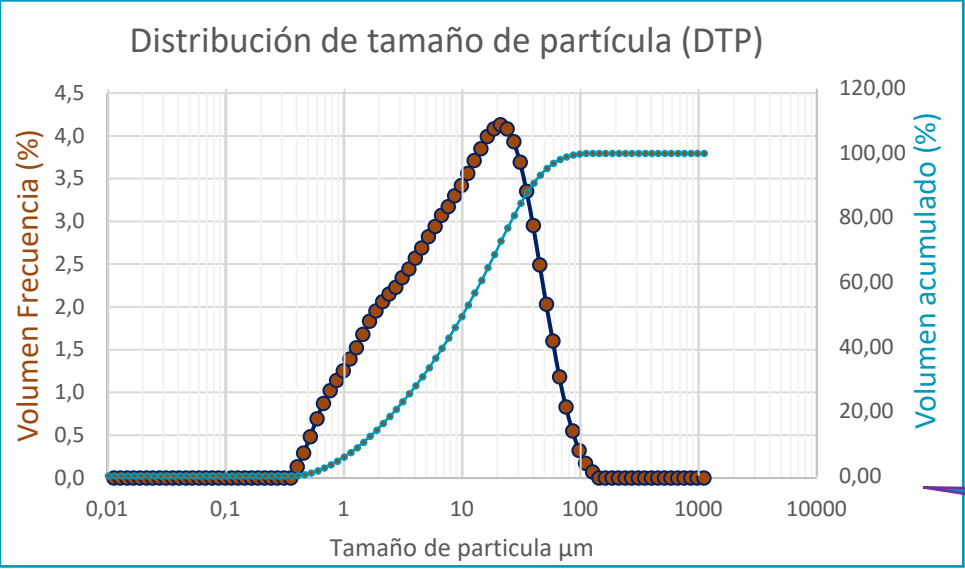
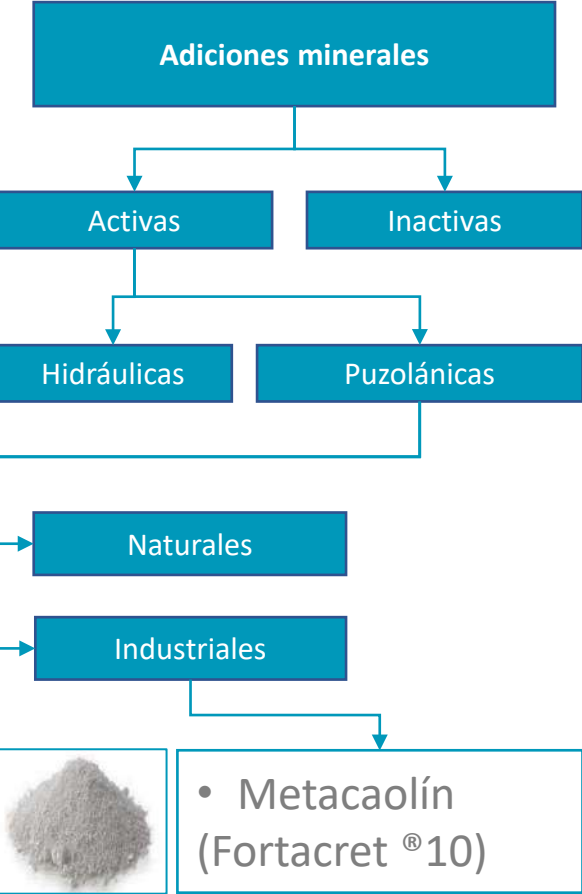
Patrocina:

FORTACRET®



Fortacret® 10

Tipo de adición y características



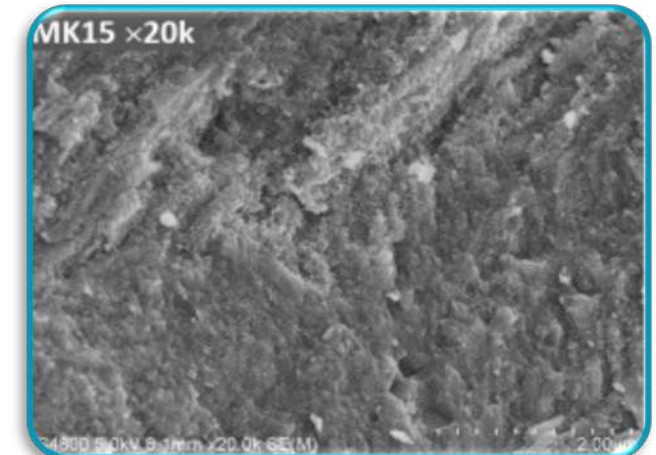
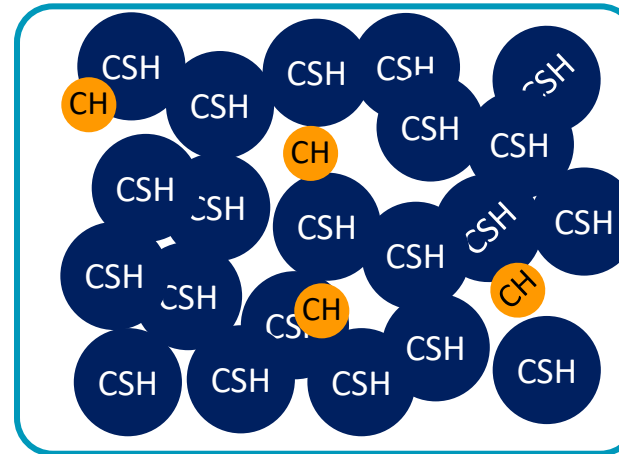
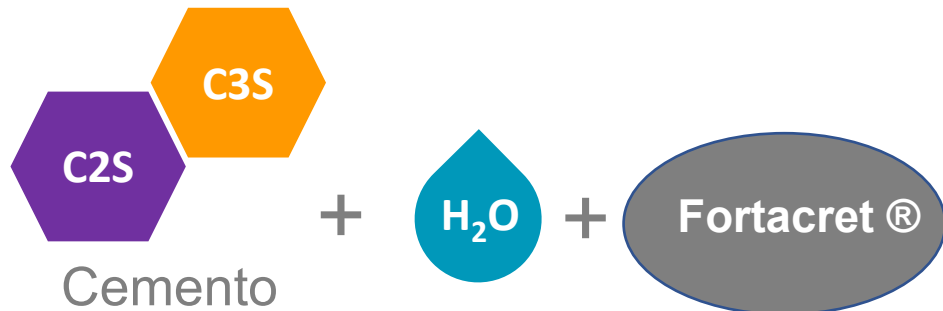
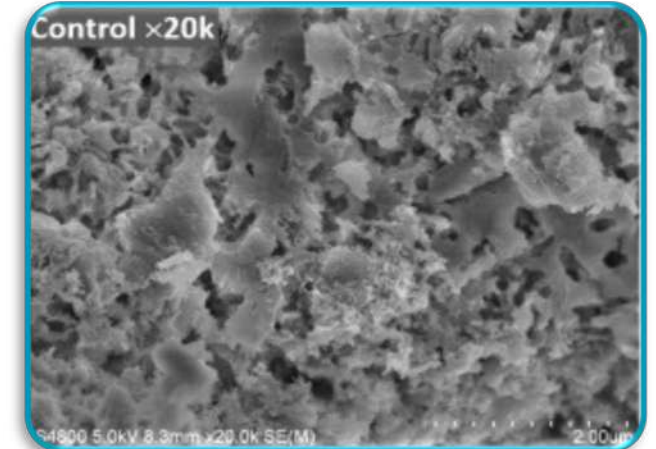
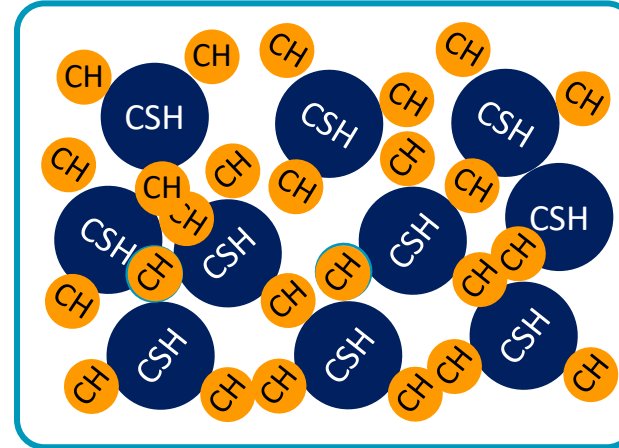
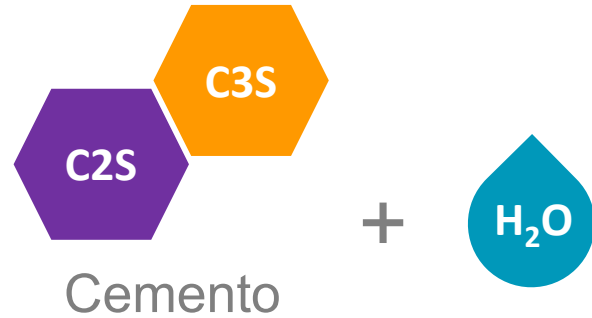
	Norma ASTM C618 – NTC3493 Clase N	Requisito	Valor típico
Químicas	% SiO2 + % Al2O3 + % Fe2O3	> 70%	>85%
	% SO3	< 4%	< 0,5%
	PPI	< 10%	< 2,5%
	Cont. Humedad	< 3%	< 3%
Físicas	SAI (Strength Activity Index)	> 75%	>110%
	Requerimiento de Agua	< 115%	<110%
	Retenido sobre malla 325	<34%	<5%
	Reactividad Pozzolánica (Chapelle)	-	>1000 mg Ca(OH)2/g

Dv10 1- 2 µm
Dv50 8,5 - 12,5 µm
Dv90 35,5 - 44 µm

Formación de productos hidratados y refinamiento de poros

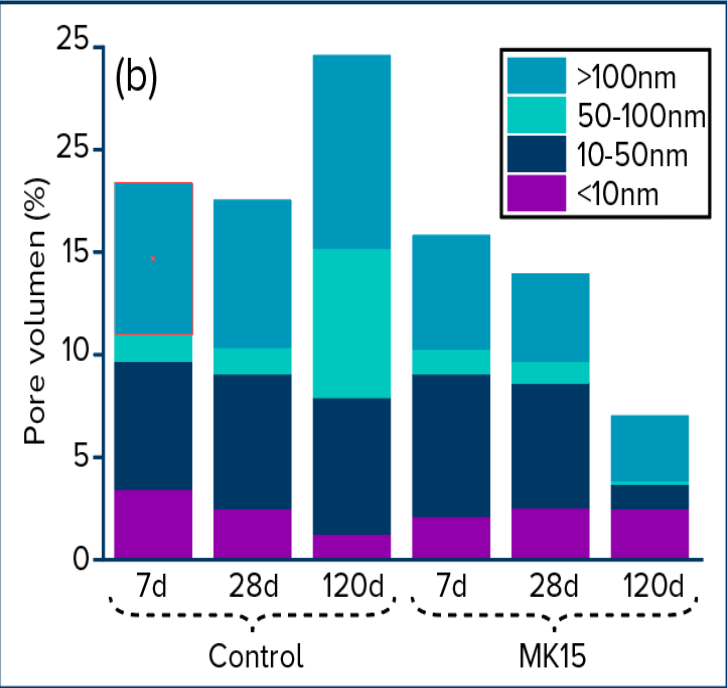
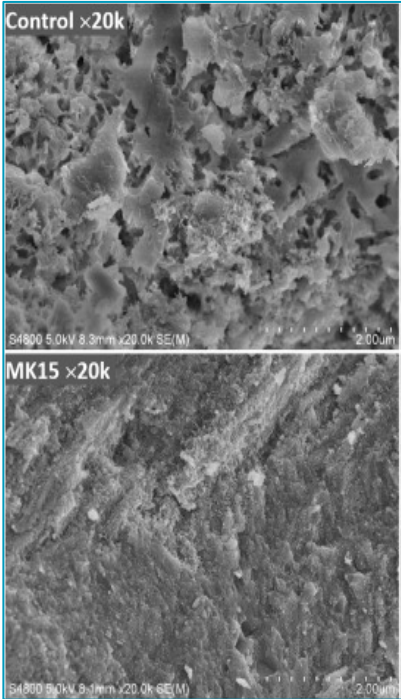
Portlandita 

Tobermorita 

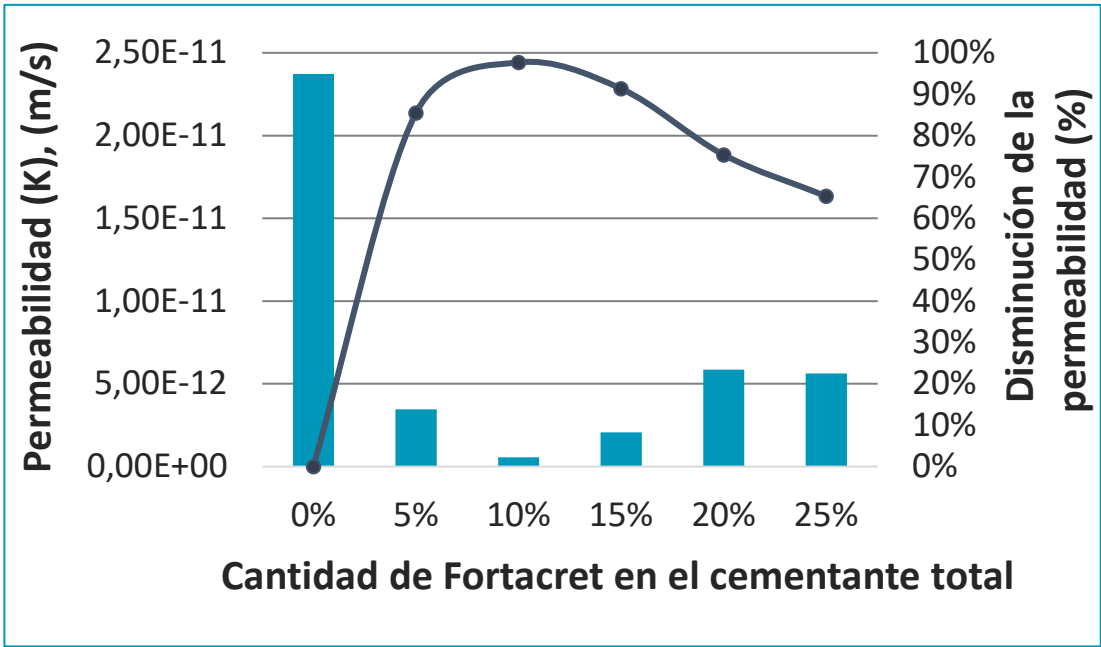


Impacto en la porosidad y permeabilidad del concreto

Disminución de poros permeables



Reducción de la permeabilidad (conductividad hidráulica)

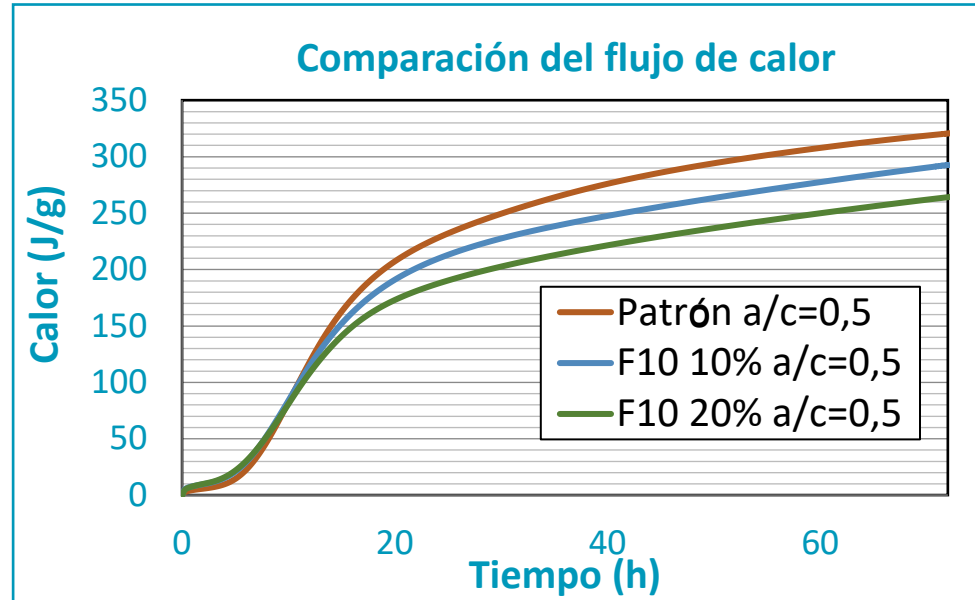


Método de ensayo para determinar la permeabilidad del concreto al agua
NTC 4483

Fuente: Cement and Concrete Composites 2021, Wenwen Ding Yongjia He Linu Lu Fazhou Wang Shuguang Hu, Hindawi 2018 Fuente: impermeabilizaciondelconcreto.wordpress.com, Sumicol

Mitigación del calor de hidratación, contracción y fisuración de concreto

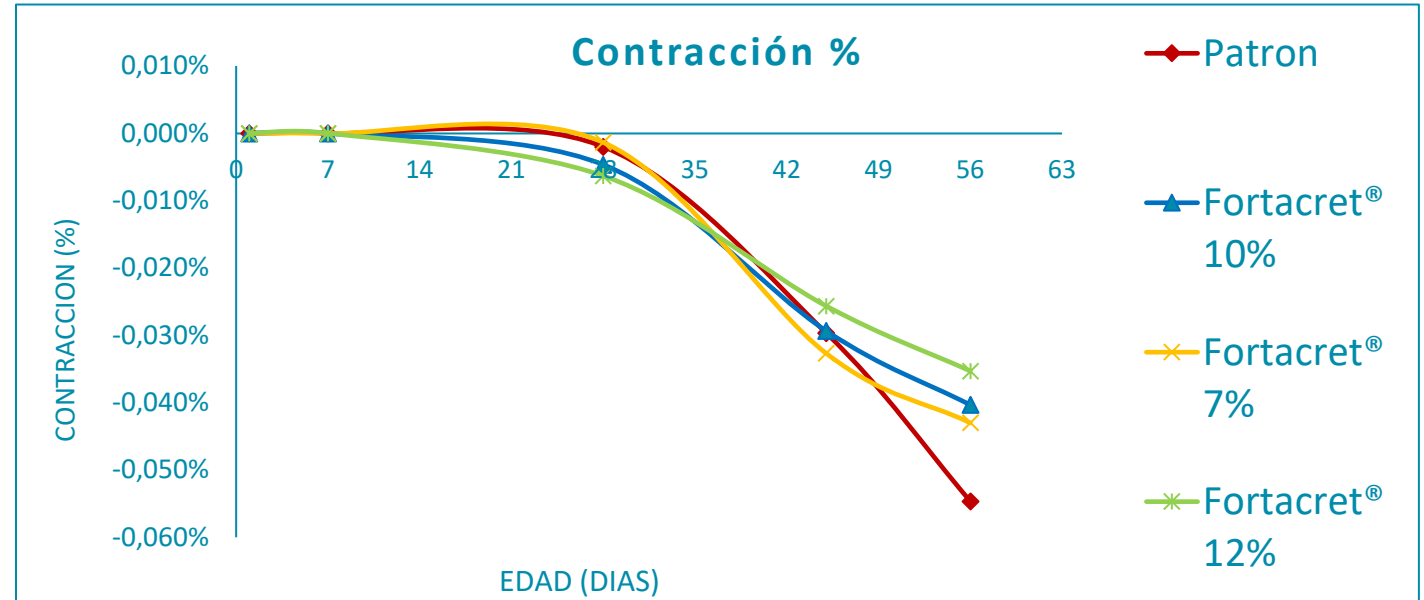
Calor de hidratación



Método de ensayo para medir el calor de hidratación de materiales cementantes hidráulicos usando calorimetría de conducción isotérmica
NTC 6270 (ASTM C1702)



Contracción del concreto

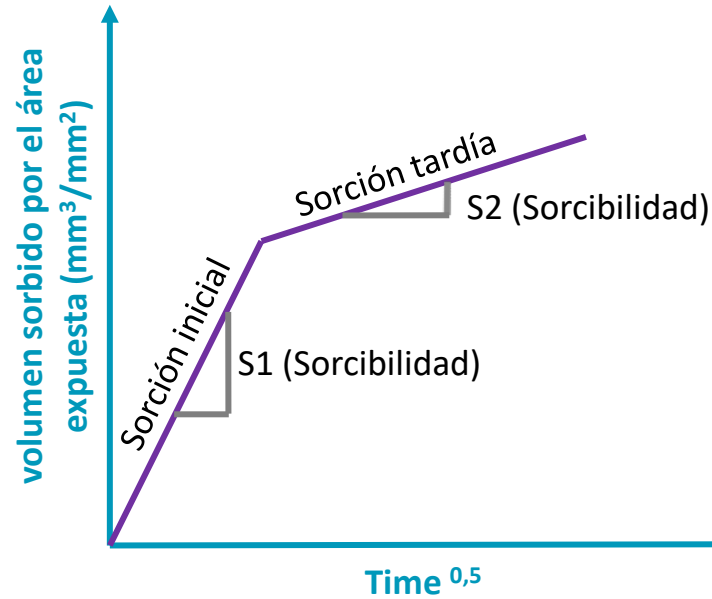


Cambio longitudinal del mortero y el concreto de cemento hidráulico endurecido.
NTC5640 (ASTM C157)



¿Sorcibilidad y los MCS?

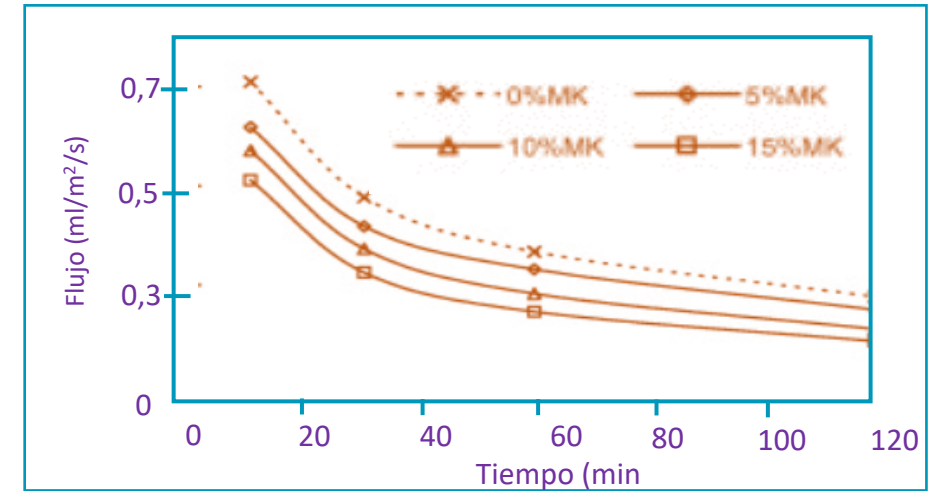
Sorcibilidad



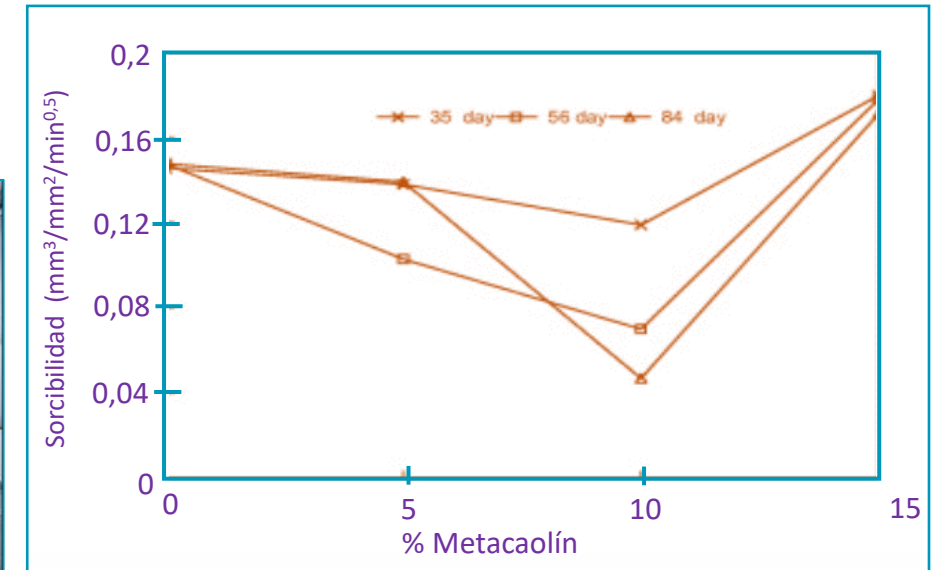
Standard Test
Method for
Measurement of
Rate of Absorption
of Water by
Hydraulic-Cement
Concretes
ASTM C1585



Absorción superficial



Sorción



¡Gracias!

Organiza:



Patrocina:

FORTACRET®





UNIVERSIDAD
DEL NORTE

Empaquetando partículas: dos de las formas.

Joaquín Abellán García, Ph.D.

Universidad del Norte

Organiza:



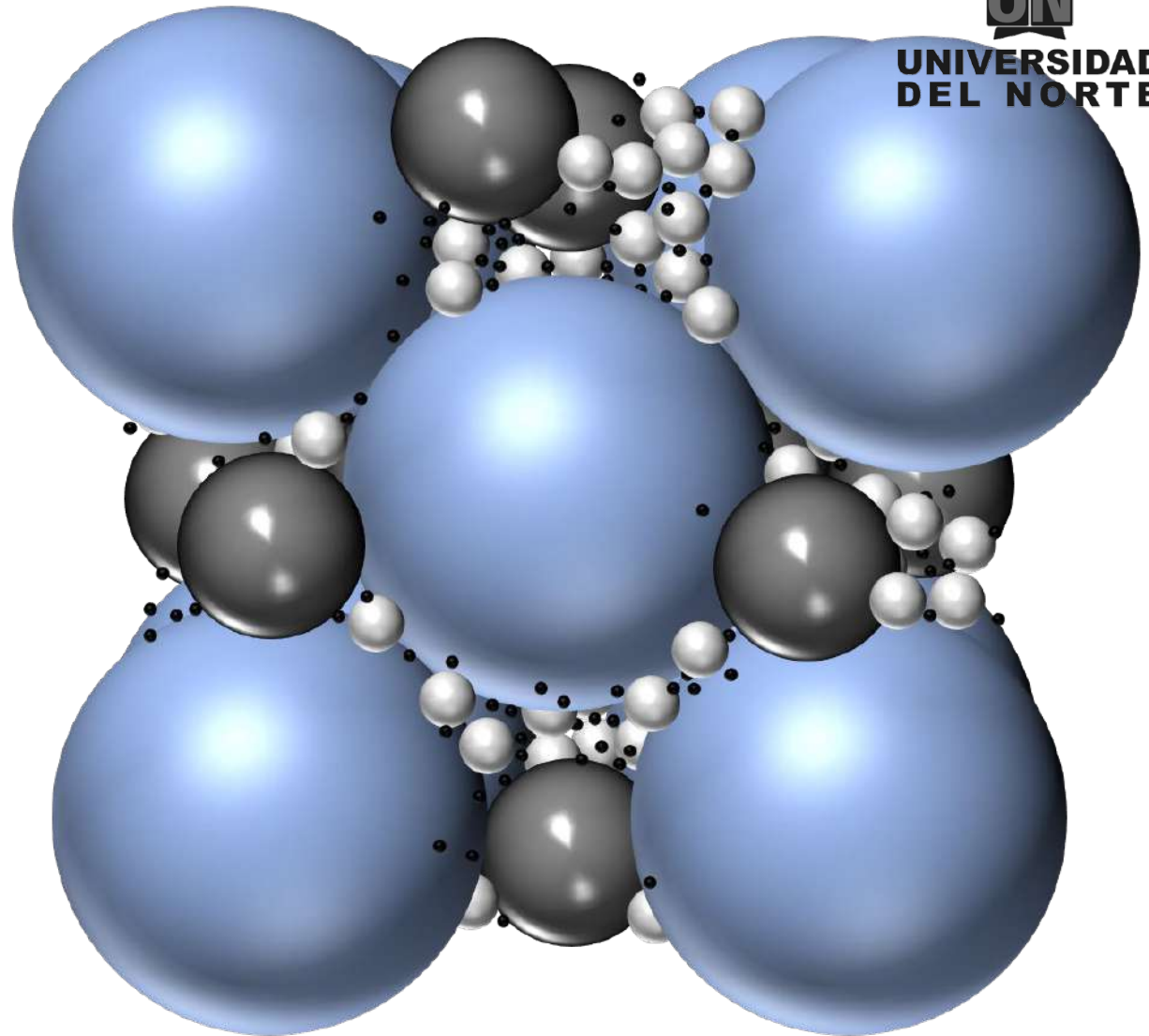
Patrocina:

FORTACRET®



CONTENIDO:

1. MOTIVACIÓN
2. EMPAQUETAMIENTO DE PARTÍCULAS
 - 2.1. Modelo de empaquetamiento compresivo (*CPM*)
 - 2.2. Modelo de Andreasen y Andersen modificado (*A&A_{mod}*)
3. EFECTOS DEL EMPAQUETAMIENTO
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
5. REFERENCIAS



Organiza:

CEMENTOS
ALION
© 2012 ALION

Patrocina:

FORTACRET®

Practica Universidad
JAVERIANA



1. MOTIVACIÓN



Durabilidad

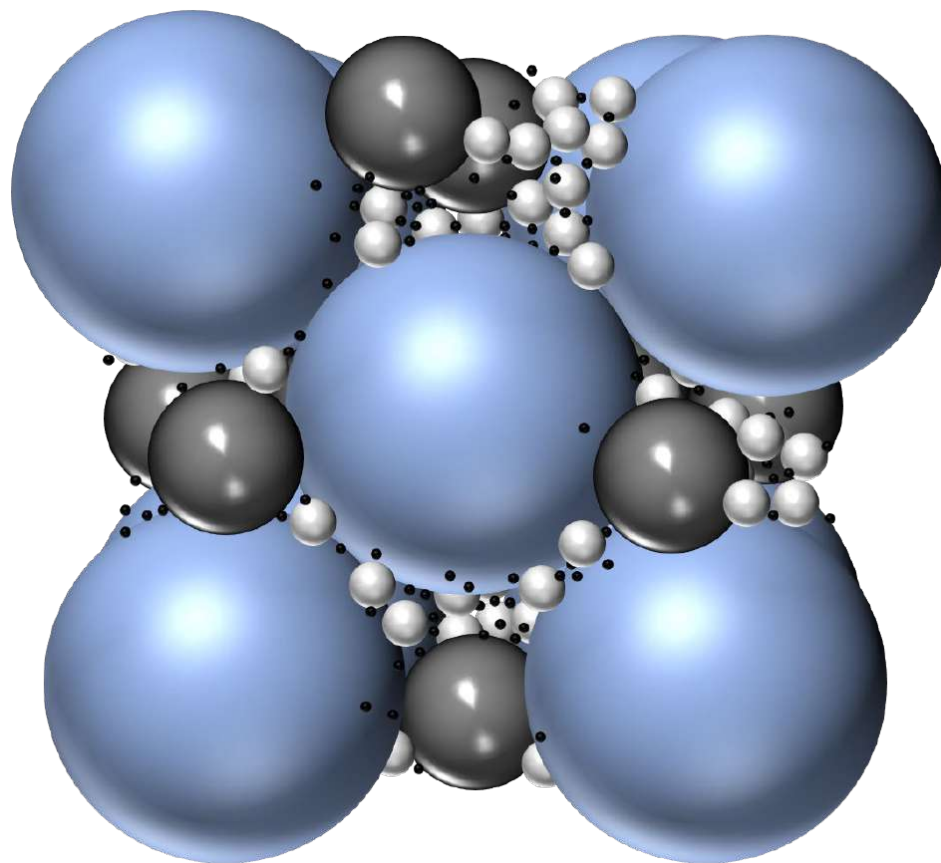


**Desempeño
mecánico**



1. MOTIVACIÓN

Microestructura mejorada



Causas de la microestructura mejorada :

- 1) Elevada densidad de empaquetamiento de la matriz
- 2) Reacciones puzolánicas. $CH + S \rightarrow C-S-H$
- 3) Mejora de la ITZ entre pasta - agregado
- 4) Baja relación agua – conglomerante (w/b)

Organiza:

CEMENTOS
ALION
© 2012 ALION

Patrocina:

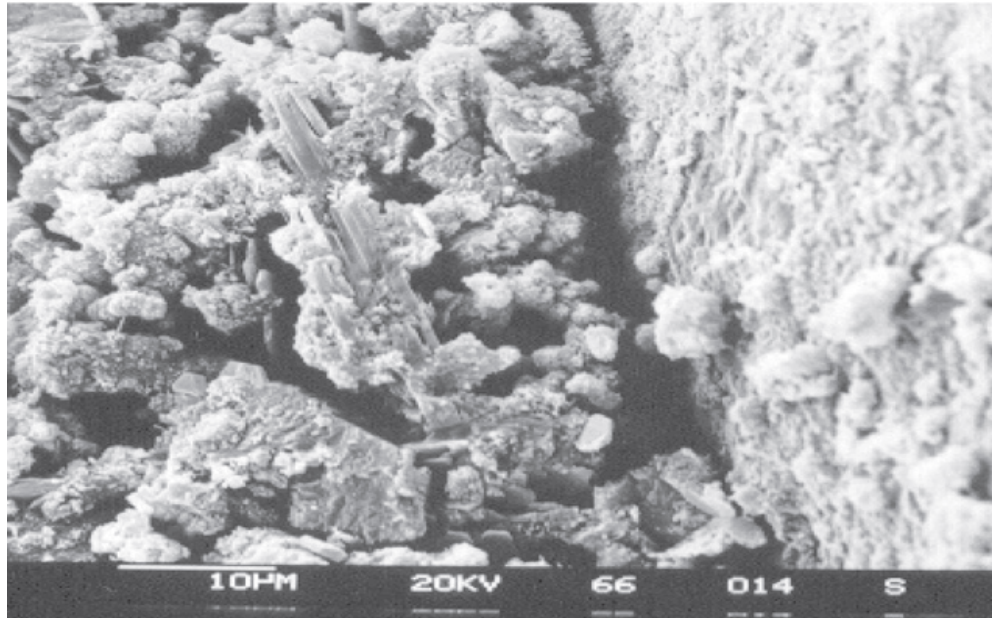
FORTACRET®

Universidad
JAVIERIANA



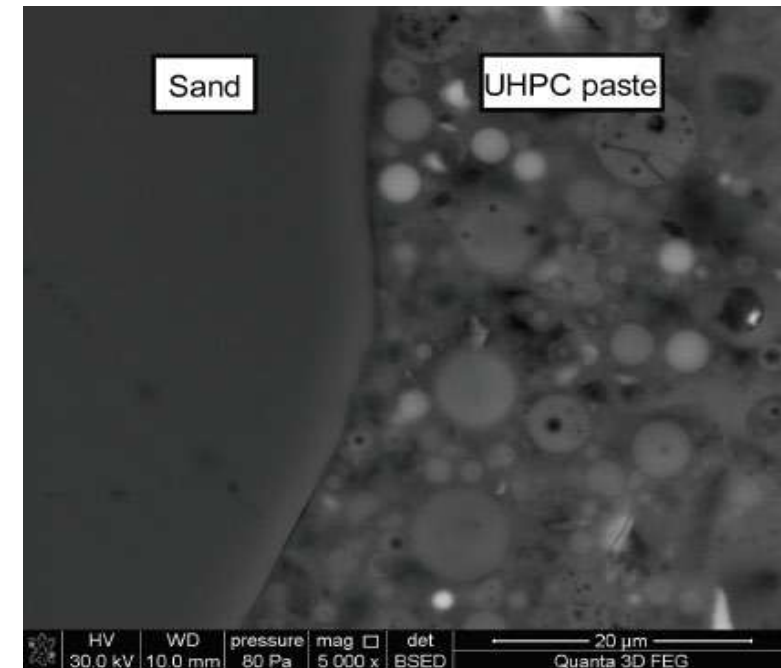
1. MOTIVACIÓN

Microestructura mejorada



ITZ pasta - agregado en concreto convencional
(Shi et al, 2015)

Zona de transición intersticial (ITZ).



ITZ pasta - agregado en concreto con elevada densidad de empaquetamiento
(Gu et al, 2015)

Organiza:

CEMENTOS
ALION
© 2012 CEMENTOS

Patrocina:

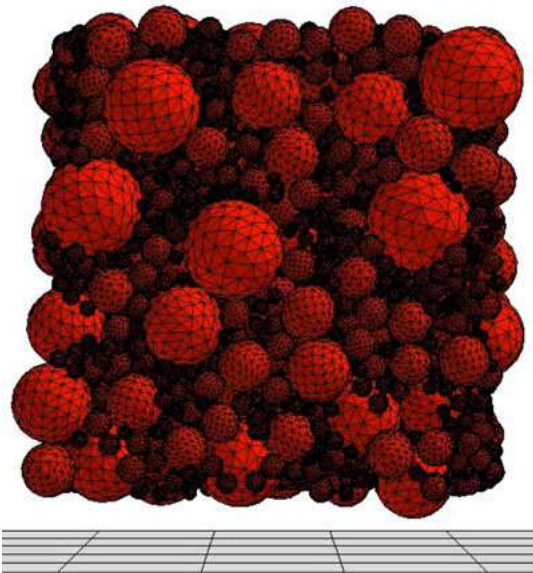
FORTACRET®

Universidad
JAVIERIANA
Cali



2. EMPAQUETAMIENTO DE PARTÍCULAS

2.1. Modelo de empaquetamiento compresivo (F. De Larrard y T. Sedran, 2002)



$$VPD = \min \left\{ \frac{\beta_i}{1 - \sum_{j=1}^{i-1} \left[1 - \beta_i + b_{ij} \beta_i \left(1 - \frac{1}{\beta_j} \right) \right] y_j - \sum_{j=i+1}^n \left[1 - \frac{a_{ij} \beta_i}{\beta_j} \right] y_j} \mid i = 1, \dots, n \right\}$$

$$K = \sum_{i=1}^n \frac{y_i / \beta_i}{1/\varphi - 1/VPD}$$

Organiza:

CEMENTOS
ALION
© 2002 ALION

Patrocina:

FORTACRET®

Practica Universitaria
JAVIERIANA



2. EMPAQUETAMIENTO DE PARTÍCULAS

2.1. Modelo de empaquetamiento compresivo (F. De Larrard y T. Sedran, 2002)

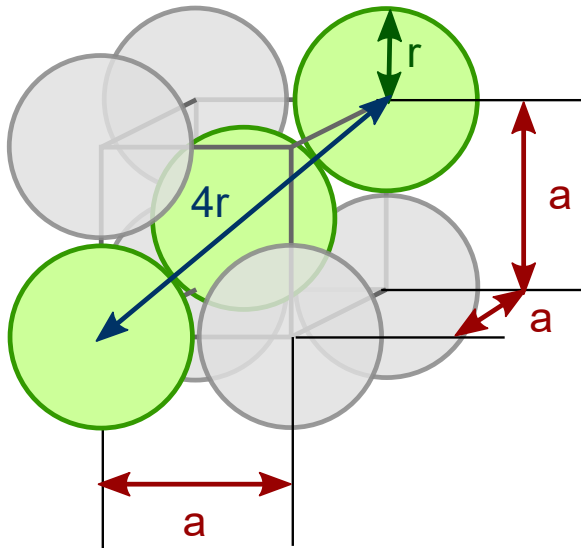
$$VPD = \min \left\{ \frac{\beta_i}{1 - \sum_{j=1}^{i-1} \left[1 - \beta_i + b_{ij} \beta_i \left(1 - \frac{1}{\beta_j} \right) \right] y_j - \sum_{j=i+1}^n \left[1 - \frac{a_{ij} \beta_i}{\beta_j} \right] y_j} \mid i = 1, \dots, n \right\}$$

β_i : densidad de empaquetamiento residual del componente i

2. EMPAQUETAMIENTO DE PARTÍCULAS

2.1. Modelo de empaquetamiento compresivo (F. De Larrard y T. Sedran, 2002)

β_i : densidad de empaquetamiento residual del componente i



$$\beta_i = \frac{\pi}{\sqrt{18}} \approx 0.74$$



Organiza:

CEMENTOS
ALION
© 2012 ALION

Patrocina:

FORTACRET®

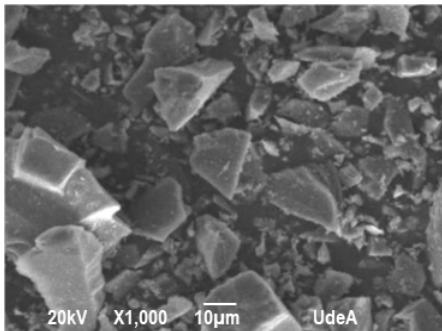
Practica Universitaria
JAVIERIANA



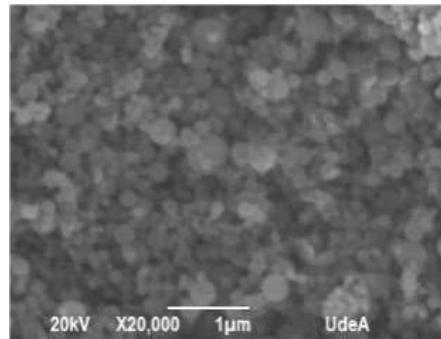
2. EMPAQUETAMIENTO DE PARTÍCULAS

2.1. Modelo de empaquetamiento compresivo (F. De Larrard y T. Sedran, 2002)

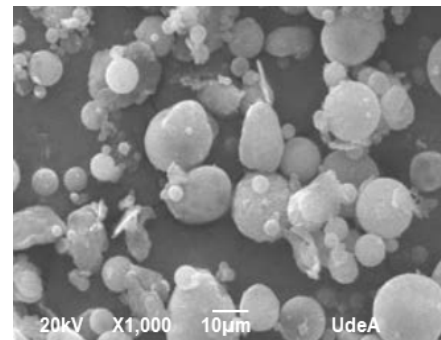
β_i : densidad de empaquetamiento residual del componente i



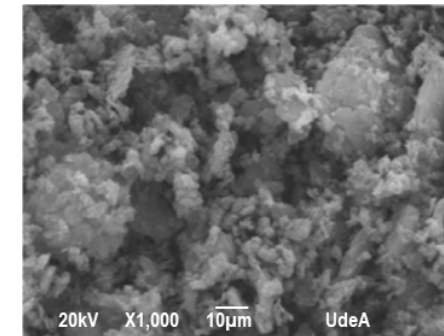
cemento



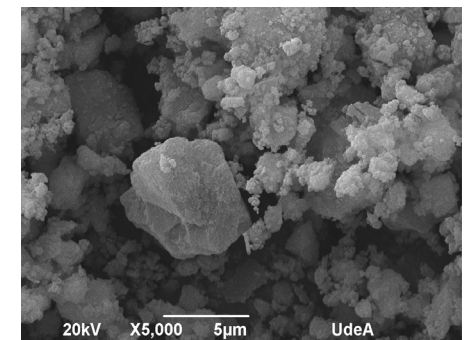
Humo de sílice



Ceniza volante



Metacaolín



GGBSF

2. EMPAQUETAMIENTO DE PARTÍCULAS

2.1. Modelo de empaquetamiento compresivo (F. De Larrard y T. Sedran, 2002)

β_i : densidad de empaquetamiento residual del componente i

Residual packing density (β)											
C	SF	FA	GGBSF	GP	RHA	FC3R	MK	LP	QP	Sand	CA*
0.553	0.720	0.629	0.567	0.554	0.567	0.551	0.567	0.552	0.567	0.567	0.567

(J. Abellán-García, 2020)

2. EMPAQUETAMIENTO DE PARTÍCULAS

2.1. Modelo de empaquetamiento compresivo (F. De Larrard y T. Sedran, 2002)

$$VPD = \min \left\{ \frac{\beta_i}{1 - \sum_{j=1}^{i-1} \left[1 - \beta_i + b_{ij}\beta_i \left(1 - \frac{1}{\beta_j} \right) \right] y_j - \sum_{j=i+1}^n \left[1 - \frac{a_{ij}\beta_i}{\beta_j} \right] y_j} \mid i = 1, \dots, n \right\}$$

β_i : densidad de empaquetamiento residual del componente i

y_i : dosificación en volumen del componente i

a_{ij} : imposición de la partícula j sobre la partícula i ($d_j < d_i$)

b_{ij} : imposición de la partícula j sobre la partícula i ($d_j > d_i$)

$$a_{ij} = \sqrt{1 - \left(1 - \frac{d_j}{d_i} \right)^{1.02}}$$

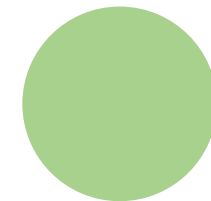
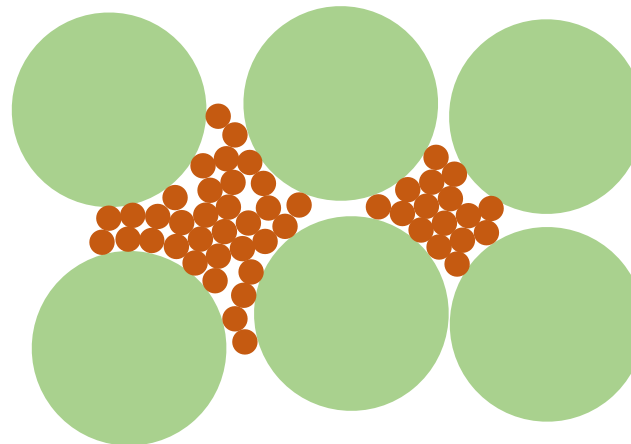
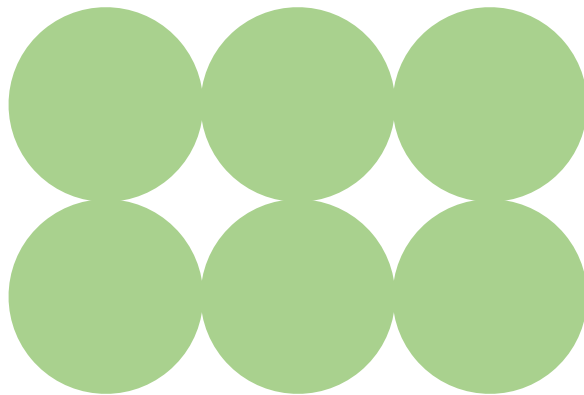
$$b_{ij} = 1 - \left(1 - \frac{d_i}{d_j} \right)^{1.50}$$

2. EMPAQUETAMIENTO DE PARTÍCULAS

2.1. Modelo de empaquetamiento compresivo (F. De Larrard y T. Sedran, 2002)

a_{ij} : Efecto de soltura del componente más fino j sobre el componente más grueso i

$$a_{ij} = \sqrt{1 - \left(1 - \frac{d_j}{d_i}\right)^{1.02}}$$



componente i



componente j

Organiza:



Patrocina:

FORTACRET®

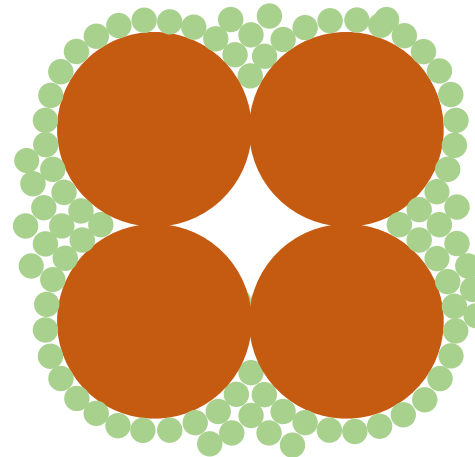
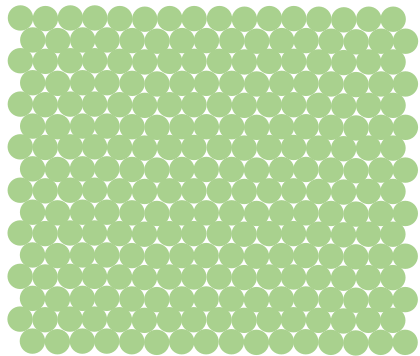


2. EMPAQUETAMIENTO DE PARTÍCULAS

2.1. Modelo de empaquetamiento compresivo (F. De Larrard y T. Sedran, 2002)

b_{ij} : Efecto muro del componente más grueso j sobre el componente más fino i

$$b_{ij} = 1 - \left(1 - \frac{d_i}{d_j}\right)^{1.50}$$



● componente i

● componente j

Organiza:

CEMENTOS
ALION
© 2002 CEMENTOS

Patrocina:

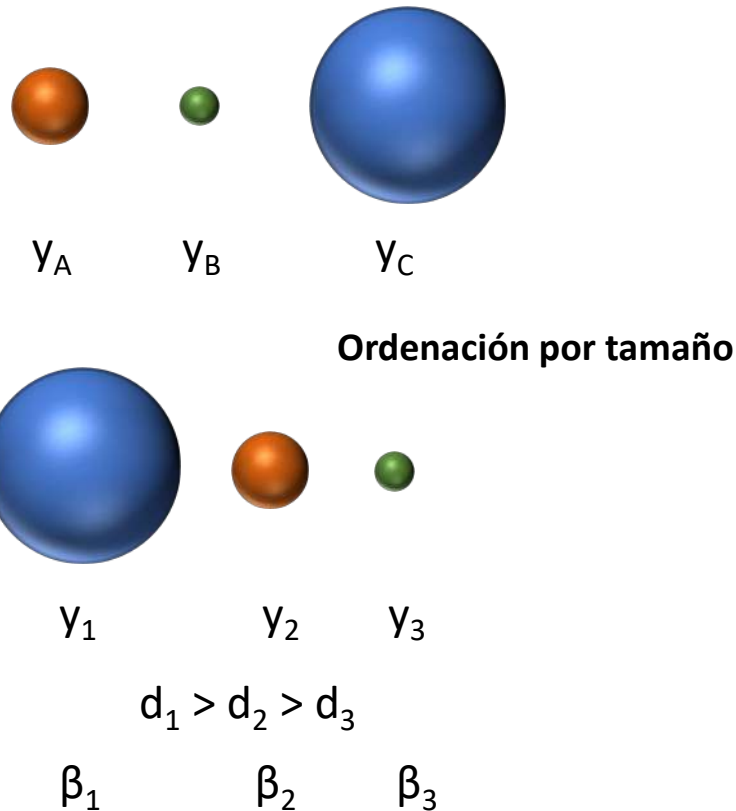
FORTACRET®

Practica Universidad
JAVERIANA



2. EMPAQUETAMIENTO DE PARTÍCULAS

2.1. Modelo de empaquetamiento compresivo (F. De Larrard y T. Sedran, 2002)



$$VPD_1 = \frac{\beta_1}{1 - \left[1 - \frac{a_{12}\beta_1}{\beta_2} \right] y_2 - \left[1 - \frac{a_{13}\beta_1}{\beta_3} \right] y_3}$$

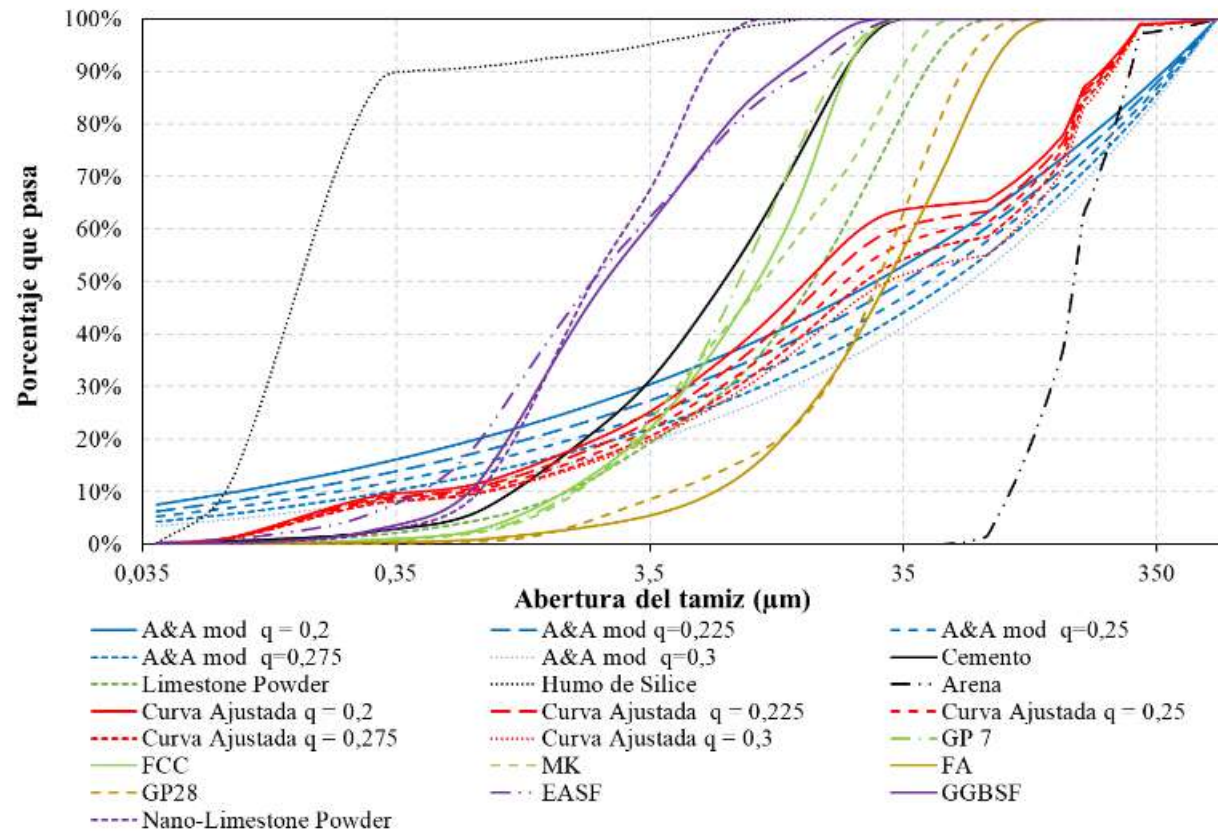
$$VPD_2 = \frac{\beta_2}{1 - \left[1 - \beta_2 + b_{21}\beta_2 \left(1 - \frac{1}{\beta_1} \right) \right] y_1 - \left[1 - \frac{a_{23}\beta_2}{\beta_3} \right] y_3}$$

$$VPD_3 = \frac{\beta_3}{1 - \left[1 - \beta_3 + b_{31}\beta_3 \left(1 - \frac{1}{\beta_1} \right) \right] y_1 - \left[1 - \beta_3 + b_{32}\beta_3 \left(1 - \frac{1}{\beta_2} \right) \right] y_2}$$

$$VPD = \text{Min}\{VPD_1, VPD_2, VPD_3\}$$

2. EMPAQUETAMIENTO DE PARTÍCULAS

2.2. Modelo de Andreasen y Andersen modificado (J.E. Funk y D. Dinger, 1994)



$$\frac{CPFT}{100\%} = \frac{D^q - D_{Min}^q}{D_{Max}^q - D_{Min}^q}$$

Organiza:

CEMENTOS
ALION
© 2012 ALION

Patrocina:

FORTACRET®

Practica Universidad
JAVERIANA



2. EMPAQUETAMIENTO DE PARTÍCULAS

2.2. Modelo de Andreasen y Andersen modificado (J.E. Funk y D. Dinger, 1994)



Organiza:

CEMENTOS
ALION
© 2012 ALION

Patrocina:

FORTACRET®

Universidad
JAVIERIANA

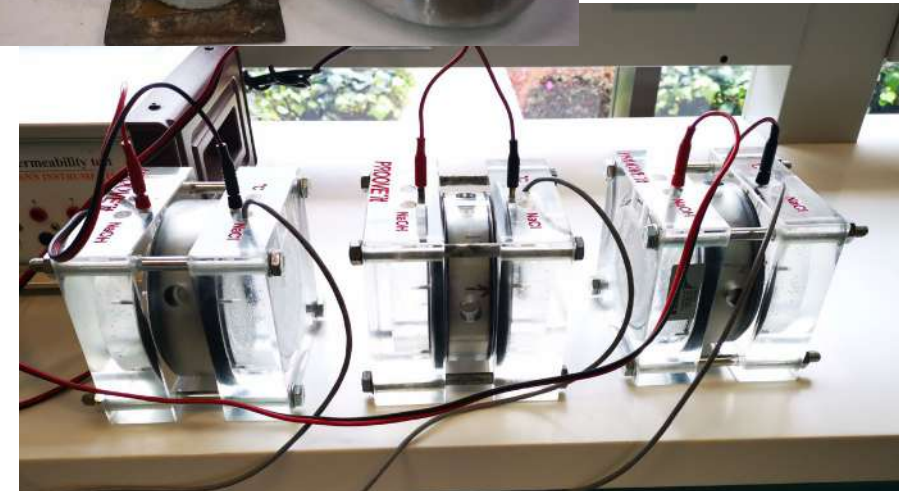
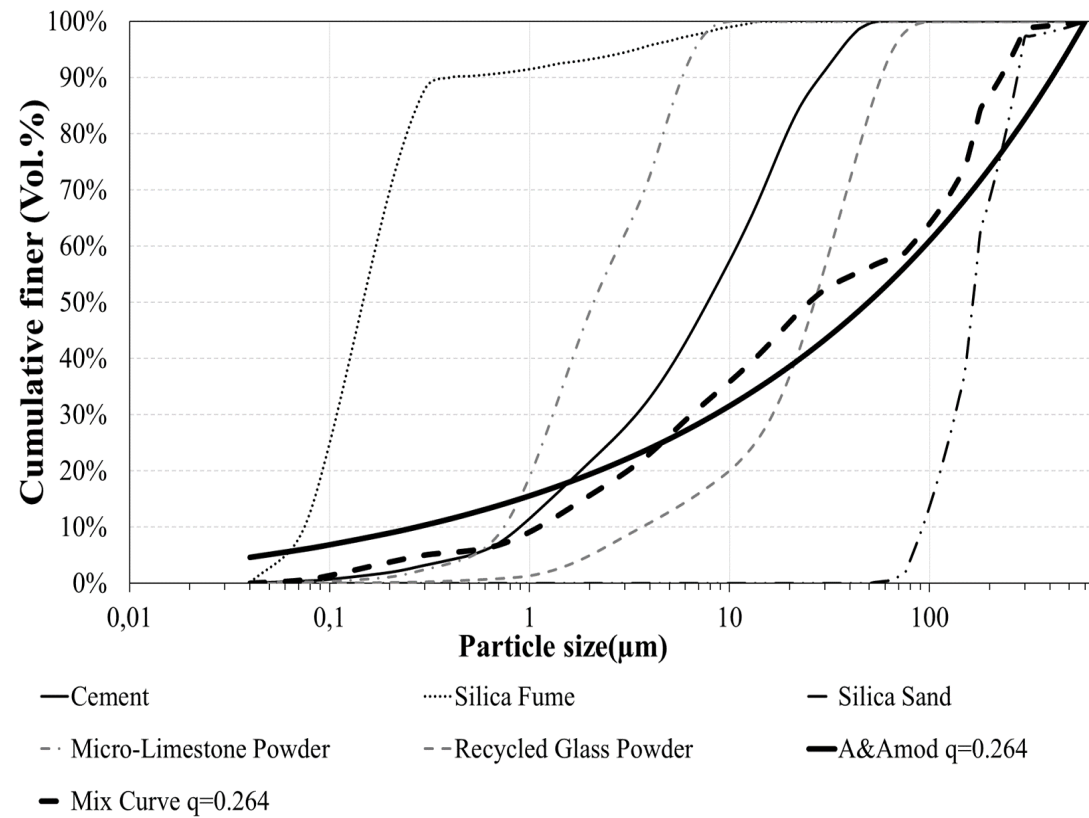


3. EFECTOS DEL EMPAQUETAMIENTO

VPD_{REF-1}: 0.79

VPD_{DOE04}: 0.77

VPD_{DOE05}: 0.81



(J. Abellán-García, 2021)

3. EFECTOS DEL EMPAQUETAMIENTO

Dosificación	Resistencia a compresión (MPa)				Modulus de Elasticidad (MPa)			Vacíos (%)			Carga (Coulombs)		
	1-día	7-días	28-días	90-días	7-días	28-días	90-días	7-días	28-días	90-días	7-días	28-días	90-días
REF-1	74	120	167	168	40,415	48,539	57,810	3.8%	2.6%	2.1%	1,161	80	49
DoE04	63	84	145	153	42,077	44,165	50,862	4.3%	3.2%	1.8%	2,178	531	80
DoE05	51	97	154	161	42,837	44,528	52,423	4.2%	3.6%	2.5%	1,231	420	75

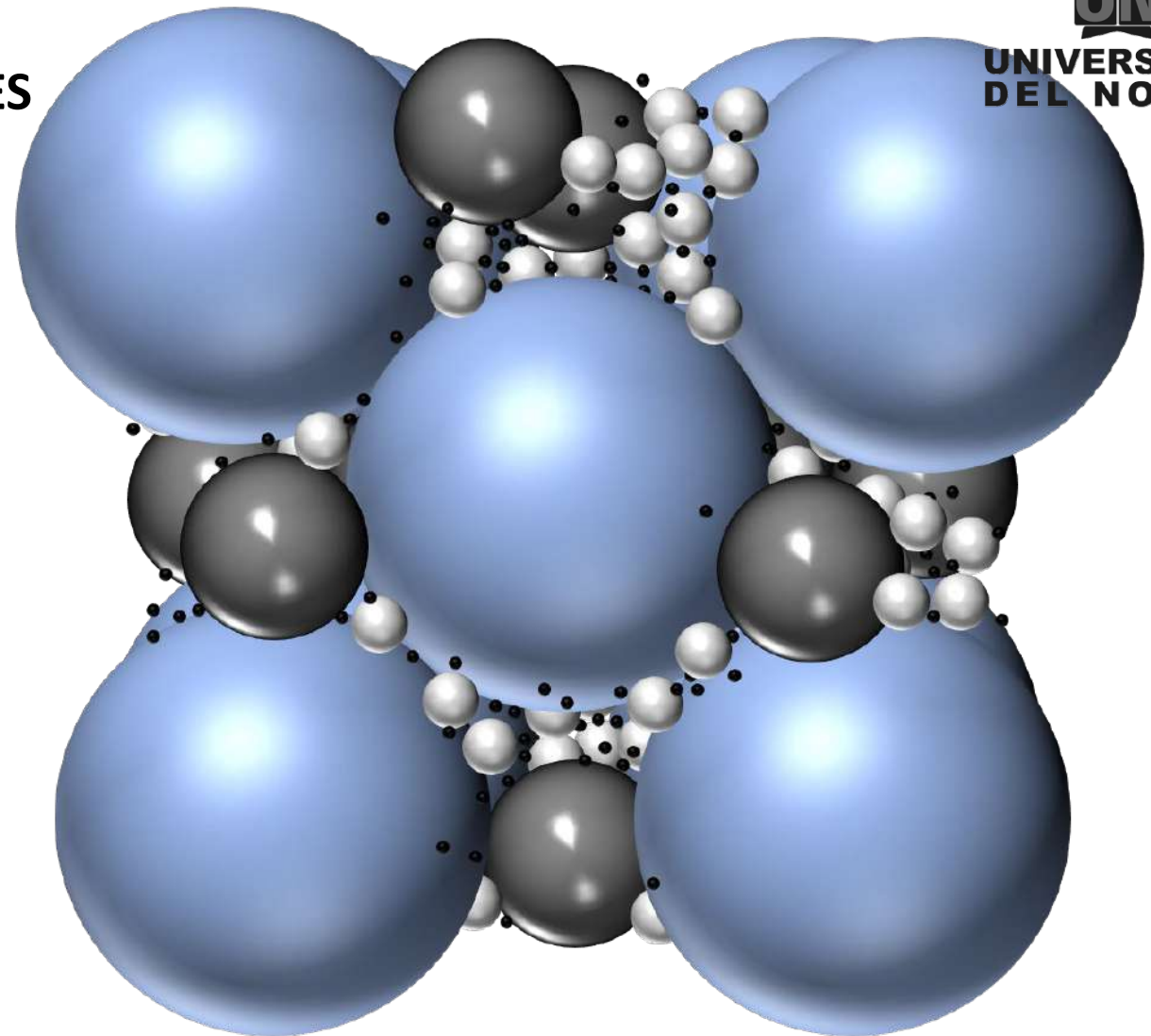
Dosificación	ISAT 10 min			ISAT 20 min			ISAT 30 min			Velocidad de pulso (m/s)		
	7-días	28-días	90-días	7-días	28-días	90-días	7-días	28-días	90-días	7-días	28-días	90-días
REF-1	0.054	0.047	0.029	0.029	0.027	0.021	0.020	0.015	0.014	4,674	4,960	5,199
DoE04	0.066	0.027	0.025	0.055	0.023	0.024	0.051	0.020	0.019	4,258	4,491	4,737
DoE05	0.074	0.042	0.032	0.063	0.036	0.025	0.048	0.030	0.018	4,353	4,777	4,886

Dosificación	Contracción seca del UHPC (µm/m)											
	1-día	2-días	3-días	4-días	5-días	6-días	7-días	8-días	9-días	10-días	11-días	12-días
REF-1	-128	-235	-285	-352	-415	-457	-483	-520	-537	-565	-574	-583
DoE04	-98	-160	-262	-277	-311	-345	-395	-438	-452	-517	-495	-510
DoE05	-58	-115	-127	-233	-265	-273	-298	-346	-393	-395	-432	-435

Dosificación	Contracción seca del UHPC (µm/m)												
	13-días	14-días	15-días	16-días	17-días	18-días	19-días	20-días	21-días	22-días	23-días	24-días	25-días
REF-1	-588	-597	-618	-620	-605	-645	-647	-633	-590	-617	-643	-683	-643
DoE04	-523	-538	-563	-578	-601	-606	-574	-573	-570	-603	-620	-627	-630
DoE05	-485	-492	-507	-515	-522	-557	-565	-600	-585	-570	-586	-580	-591

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Mayor densidad de empaquetamiento
Menor porosidad y mayor durabilidad
2. Necesidad de seleccionar componentes
Tamaño (DTP, β)
Propiedades puzolánicas
3. Empleo de teorías de empaquetamiento
CPM
 $A \& A_{\text{mod}}$
4. Bajas relaciones agua - conglomerante
5. Proporcionar un adecuado curado



Organiza:

CEMENTOS
ALION
© 2012 ALION

Patrocina:

FORTACRET®

Practica Universidad
JAVERIANA



5. REFERENCIAS

1. De Larrard F., Sedran T. Optimization of ultra-high-performance concrete by the use of a packing model. Cement and Concrete Research . 1994; 24(6):997-1009. doi:10.1016/0008-8846(94)90022-1
2. De Larrard F., Sedran T. Mixture-proportioning of high-performance concrete. Cement and Concrete Research 2002; 32(11):1699-1704. doi:10.1016/S0008-8846(02)00861-X
3. Funk J.E., Dinger D.R. Predictive Process Control of Crowded Particulate Suspensions: Applied to Ceramic Manufacturing. (Springer Sci. and Bus. Media., ed.). New York: Springer Science; 1994. doi:10.1007/978-1-4615-3118-0
4. Abellán-García J. Four-layer perceptron approach for strength prediction of UHPC. Construction and Building Materials. 2020;256. doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.119465
5. Abellán-García J. Dosage optimization and seismic retrofitting applications of Ultra-High Performance Fiber Reinforced Concrete (UHPFRC). PhD Thesis. Polytechnic University of Madrid 2020.

Organiza:



Patrocina:

FORTACRET®



Gracias por su atención!

jabellan@uninorte.edu.co

Organiza:



Patrocina:

FORTACRET®



Las dos velocidades de sorción: cómo medirlas.

Juan Fernando Arango-L, PhD. Jefe de Soporte Técnico en Cementos Alión

Maria Fernanda Rojas-N. Ing Civil y Estudiante de Maestría en Ing. Civil con Énfasis en Estructuras. Pontificia Universidad Javeriana

Organiza:

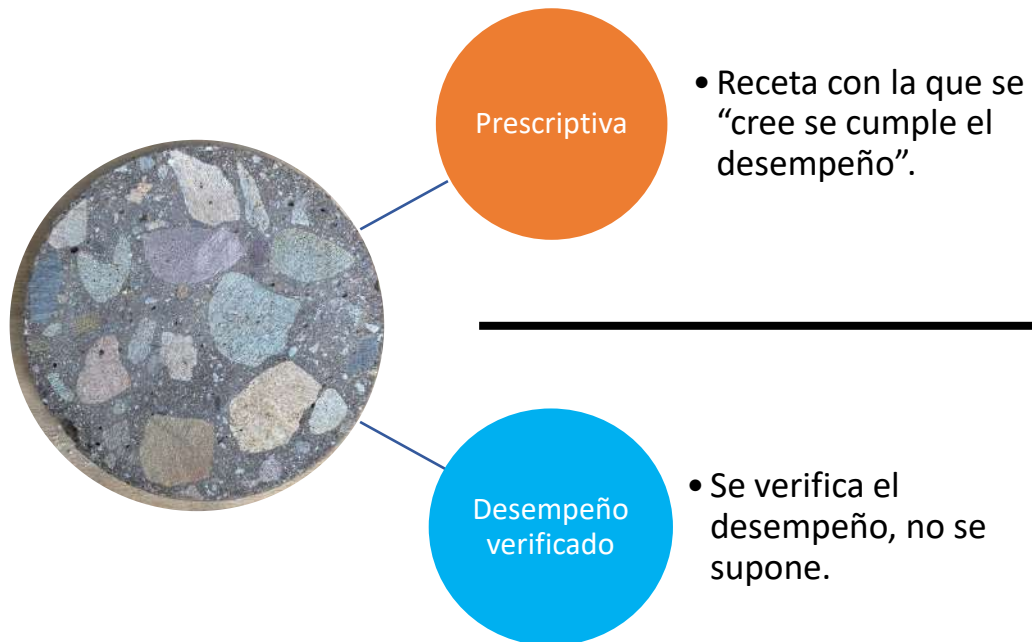


Patrocina:

FORTACRET®



El desempeño verificado



Ventajas

- Más conocido.
- Facilidad: siga la receta.
- Económico para proyectos pequeños.

Desventajas

- No se sabe si se cumplirá o no con el tiempo de servicio.
- Solo se pueden usar materiales “aptos” para la receta: no es sostenible.
- Responsabilidad en los especificadores.

- Se pide lo que se realmente se necesita para la obra y sus condiciones de exposición: sostenibilidad y economía.
- Se conoce la confiabilidad del diseño de la mezcla.
- El dueño de la obra sabe qué obtiene.
- Se precalifica la mezcla de concreto y se verifica la calidad alcanzada en la obra.
- Responsabilidad en el constructor y productor de concreto.
- Promueven la industrialización de la producción de concreto.

- Menos conocido, aunque cada vez se conoce más.
- Puede tener un costo alto en obras pequeñas que hacen el concreto: más ensayos y tiempo.

Organiza:

CEMENTOS
ALION
© 2022 ALION

Patrocina:

FORTACRET

Practica Universidad
JAVERIANA



La sorción

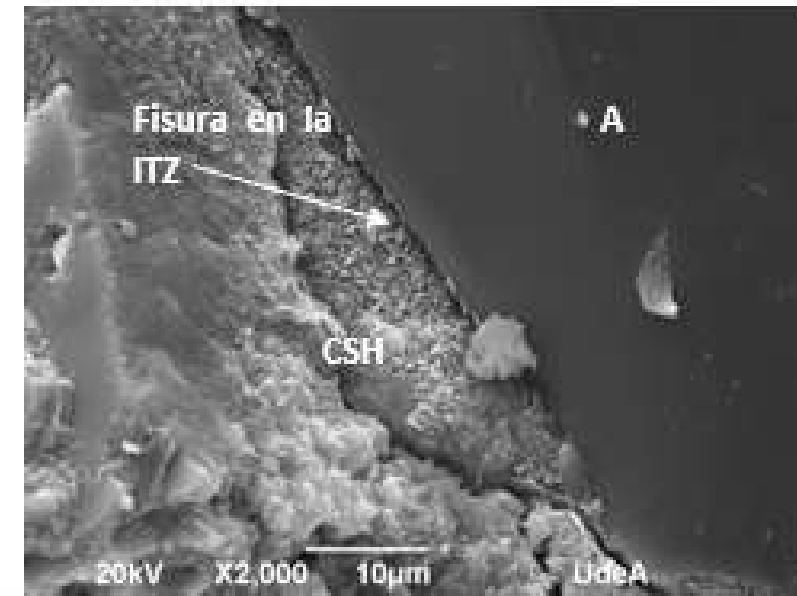
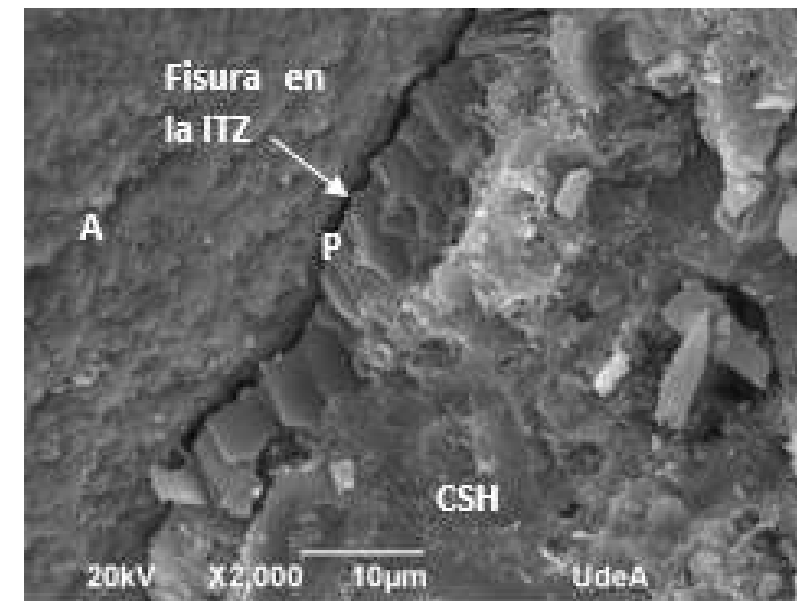
Es un proceso mediante el cual una sustancia, el **sorbato**, es **absorbido y adsorbido** por un material, al que se le denomina **absorbente**. Su antónimo es la desorción.

La sorción se produce por la combinación de varios fenómenos físicos y químicos:

- La absorción –capacidad de incorporar agua
- La adsorción de agua – adherida por fuerzas de Van de Waals
- La capilaridad – fuerzas que no están en equilibrio
- El intercambio de iones - fenómenos de cargas
- La viscosidad y densidad del líquido –fenómenos de flujo
- La estructura interna del absorbente y cómo se conecta con la superficie: porosidad, la presencia de fisuras y la compacidad, entre otros.
- Las características de la zona de transición de fases (ITZ). Mayores espacios en la zona de contacto entre agregados y pasta.

Debido a que intervienen tantos fenómenos, en la actualidad las características de la sorción y desorción de un material se hacen de manera experimental.

Foto: arriba, ITZ en contacto pasta-agregado; abajo, ITZ de menor tamaño por el uso de Fortacret®



Organiza:

CEMENTOS
ALION
© 2012 ALION

Patrocina:

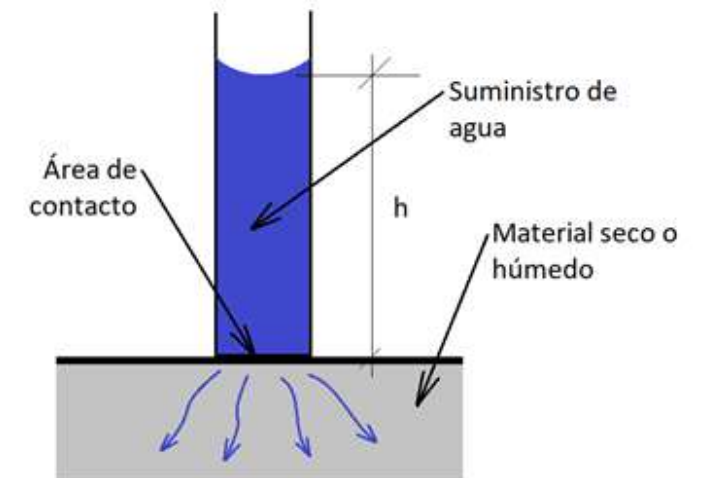
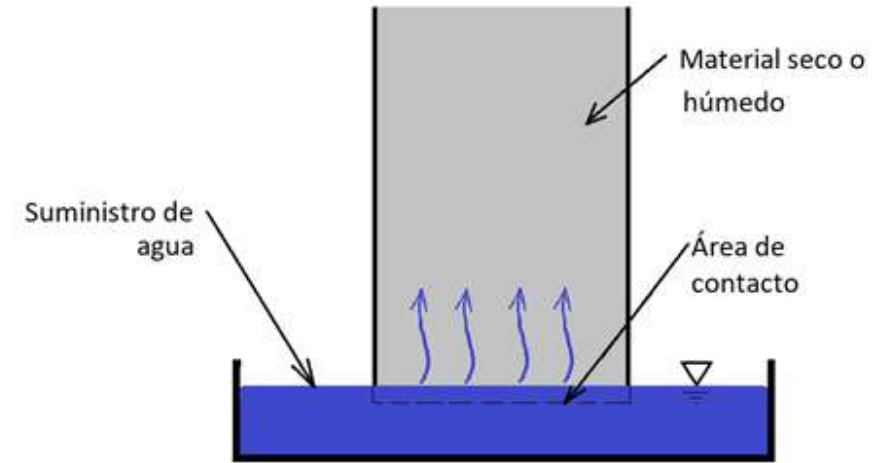
FORTACRET®

Universidad
JAVIERIANA
© 2012 JAVIERIANA



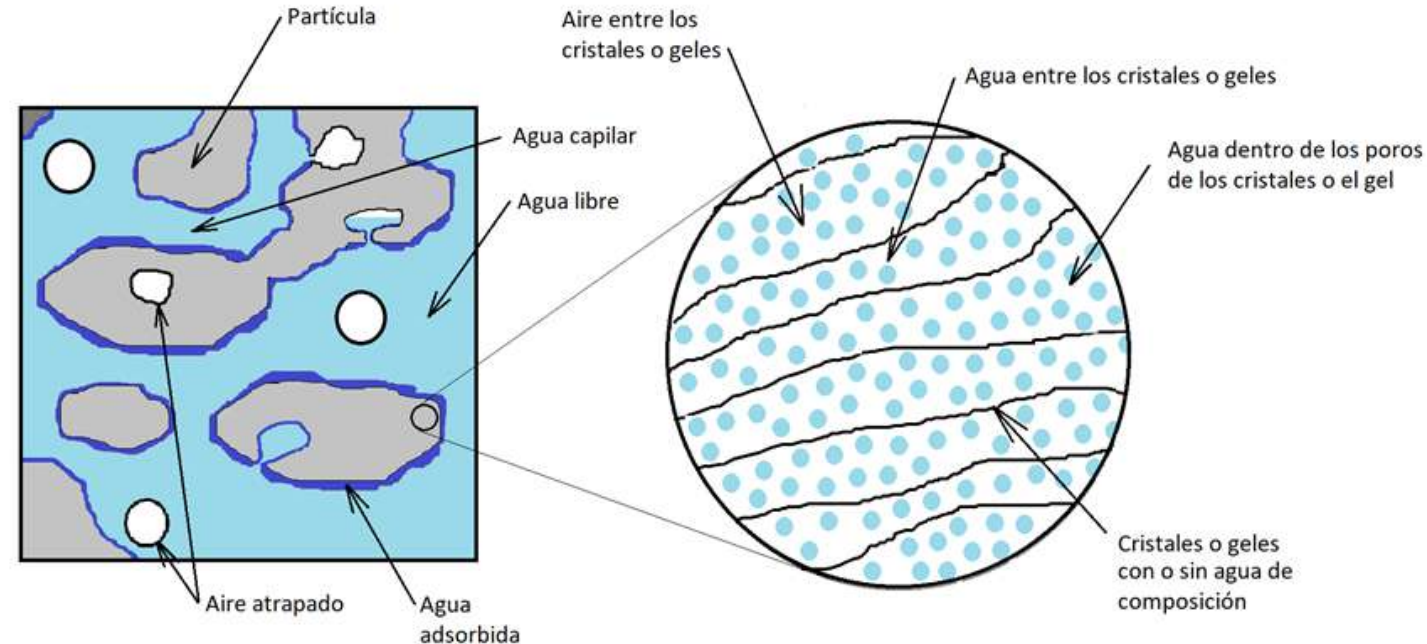
La sorcibildiad

- Hay muchos tipos de ensayos, que sirven para campo y laboratorio. Todos de baja complejidad y costo.
- La humedad inicial del material influye mucho en el resultado. Por eso se debe asegurar que se inicie desde una condición conocida y controlada.
- **Recomendación:** estado seco y que la humedad esté distribuida de manera uniforme en todo el material.
- Prácticamente todos colocan el material en contacto con el agua, y se permite que esta sea succionada: ISAT, Tubo Karsten y la que usaremos en ***El Reto Alión y Fortacret***, que es la ASTM C1585.
- La sorción depende del tiempo de exposición al agua: en la medida que los poros se van llenando, disminuye la velocidad de ingreso del agua en el tiempo.



¿Cómo ocurre el proceso de sorción?

1. Primero se llenan los capilares más próximos a la superficie que está en contacto con el agua.
2. Luego se van llenando otros poros de mayor diámetro
3. Finalmente se llenan los poros (de diferentes tamaños) que están más alejados de la superficie.
 - Los capilares tienen baja conductividad y el agua debe interactuar con el aire para desplazarlo y poder ocupar su lugar.
 - Hay pérdidas de conductividad de agua, asociadas a la fricción.
 - Y el agua debe interactuar con los diferentes constituyentes de los materiales.



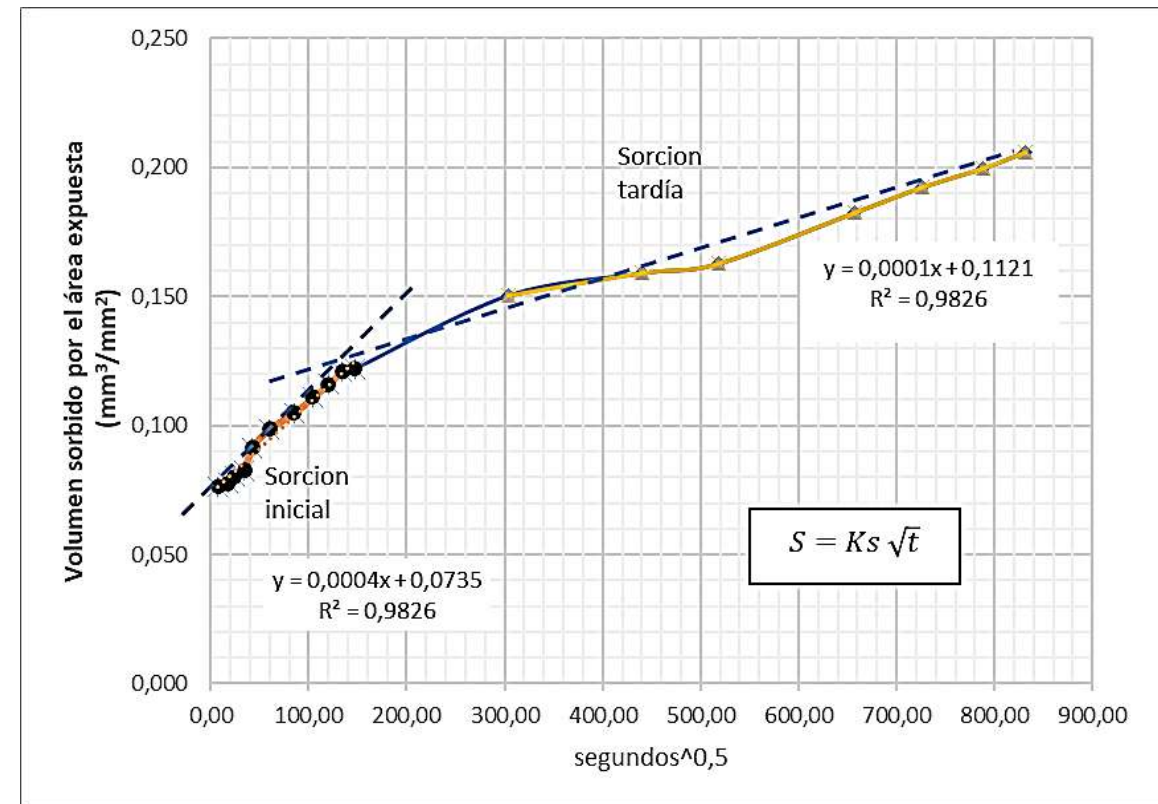
La norma ASTM C1585

- Presenta un método para determinar la sorción, que denotan como “ I ”, en unidades de mm. Es el volumen sorbido por área expuesta (mm^3/mm^2).
- Usa porciones de cilindros, que se obtienen mediante un corte con sierra.
- Las muestras se preparan para que tengan una condición correcta de humedad antes de iniciar el ensayo (secado y reposo).
- Se sellan todas las caras de la muestra, menos una de las áreas circulares, que estará en contacto con el agua.
- Se coloca el área expuesta en contacto con el agua y se van pesando para determinar el incremento de masa, que será el volumen de agua absorbido.

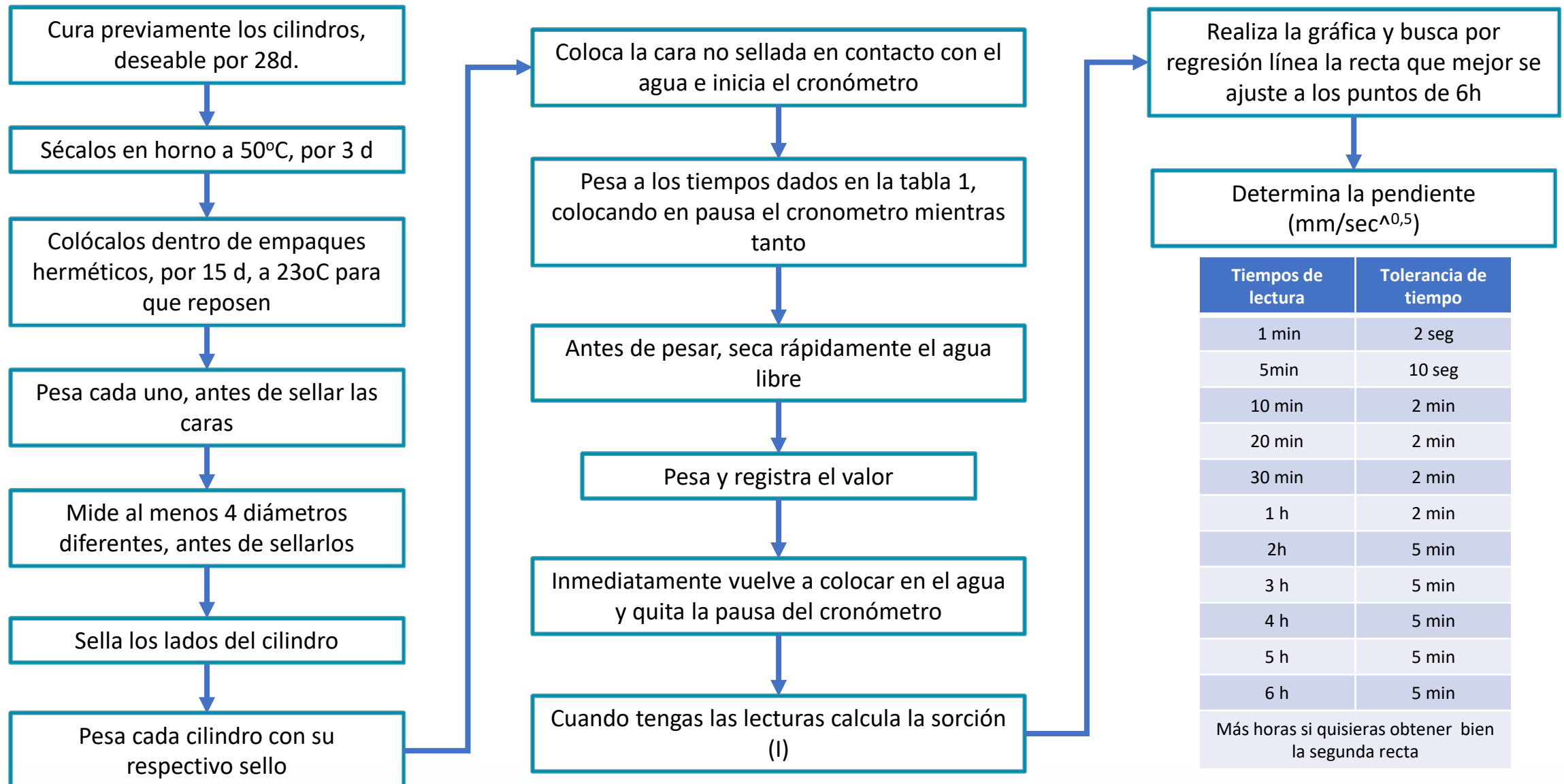
Los datos se grafican usando eje X en unidades de tiempo^{0,5} y el eje Y en mm para el valor de I .

Se buscan las dos rectas que mejor se ajustan a los puntos. Su pendiente es la velocidad de sorción (sorcibilidad), K_s .

En El Reto evaluaremos la velocidad de sorción inicial, usando los puntos hasta 6h, en unidades de $[\text{mm}/\text{segundos}^{\wedge}2]$. No se incluirán los puntos cercanos a 6h que se muestran un claro cambio de pendiente.



Flujograma de la ASTM C1585, reducido



Organiza:

CEMENTOS
ALION
© 2012 ALION

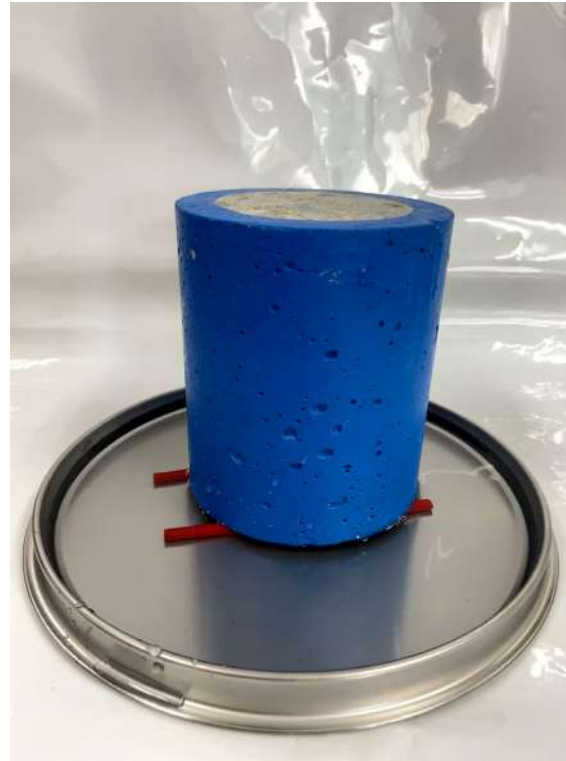
Patrocina:

FORTACRET®

Practica Universitaria
JAVIERIANA



Algunas imágenes de guía



Organiza:

CEMENTOS
ALION
© 2022 CEMENTOS

Patrocina:

FORTACRET®

Practica Universitaria
JAVERIANA



Nuestros consejos para resolver El Reto

Sobre la norma ASTM C1585

- ¡No es necesario que cortes los cilindros!
- Mide siempre sobre la cara inferior del cilindro que queda en contacto con la formaleta. No combines las caras!
- No es necesario que uses pintura epóxica para sellar la probeta. Puedes usar una cinta pegante, resistente al agua, que impida que se ingrese agua por las paredes del cilindro.
- Determina la sorcibilidad en las primeras 6 horas: ese es el tiempo que se evaluará en El Reto Alión y Fortacret.

Para tu trabajo

- Realiza varias mezclas de prueba para precalificarlas.
- Escoge diferentes tipos de agregados.
- Empaqueta las partículas.
- Elige un método de compactación que puedas emplear en Bogotá.
- Selecciona la mezcla con menor sorcibilidad.
- Lleva los agregados a Bogotá para hacer la mezcla concursante.
- En Bogotá te daremos el cemento Alión ART y el Fortacret® que proviene de la misma muestra para todos los equipos.
- Usa los recursos que facilitará el laboratorio de la Pontificia Universidad Javeriana.

Organiza:



Patrocina:

FORTACRET®



¡Gracias!

Juan Fernando Arango-Londoño, PhD.
Jefe de Soporte Técnico en Cementos Alión
jfarangol@alioh.com.co

Maria Fernanda Rojas-N
Ing. Civil y Estudiante de Maestría en Ing. Civil con Énfasis en Estructuras.
Pontificia Universidad Javeriana
mf_rojasn@javeriana.edu.co

Organiza:



Patrocina:

FORTACRET®

