

**El uso de adiciones minerales para prevenir la reacción
álcali-agregado y el ataque por sulfatos en concretos
en las obras en Panamá**

Grandes transformaciones a través de obras de Concreto

Cinta Costera: Obra donde se efectuaron estudios para prevenir reacciones álcali-agregado y ataque de sulfatos

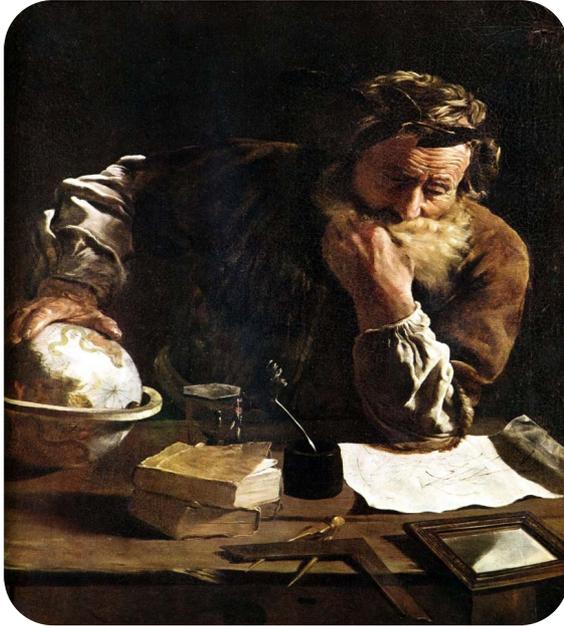


Madden Colón: Obra donde se efectuaron estudios para prevenir reacciones álcali-agregado y ataque de sulfatos





Cómo se efectuaba la investigación para desarrollar la calidad de las estructuras en el pasado?



Estructuras del pasado...



Corbis.com
Corbis.com

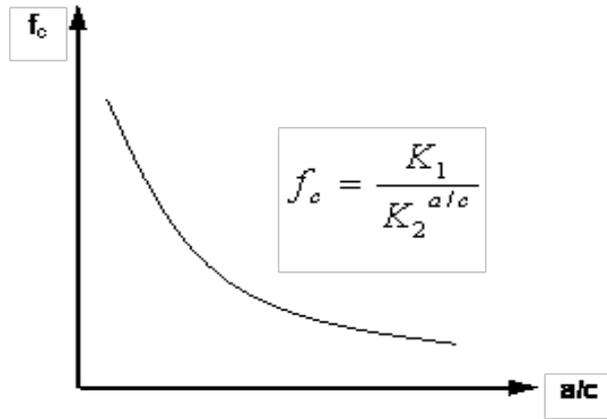
Desde el siglo II hasta XIX fueron muy lentos los avances en la tecnología de la construcción estructural



El descubrimiento del cemento (XIX)

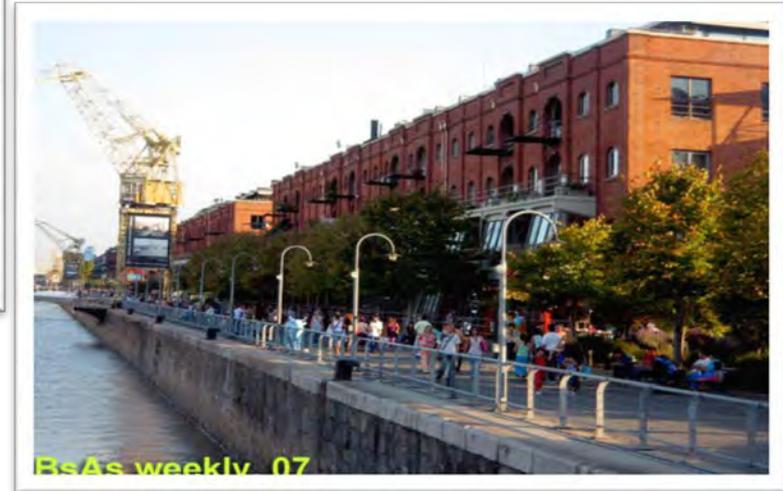


Duff Abrams (1918): descubrió la tecnología del concreto...



Hasta 1918 las estructuras de concreto eran empíricas...

Estructuras del Puerto Madero Buenos Aires: 1916



Esclusas del Canal de Panamá: 1914



“Exceptuando los conflictos bélicos, la construcción del Canal constituyó el esfuerzo más grande y costoso de muchos que se han emprendido en la Tierra.”

David McCullough

Importantes Proyectos de
Construtora Norberto Odebrecht SA en Panamá
hoy, donde el concreto es uno de los más
importantes materiales

Viaductos y puentes



Viaductos y puentes: Cinta Costera



Carreteras en concreto: Madden Colón



Carreteras en concreto: Madden Colón



Sistema de Riego Remigio Rojas



Hidroeléctrica Dos Mares, Chiriquí



Planta de Resíduos - Saneamiento



Túnel del Proyecto Saneamiento



Desarrollos en la tecnología del concreto en el siglo XX

Ejemplos de obras con grandes avances tecnológicos en las estructuras de concreto

Itaipu Dam: 12.5 millones de m³ de concreto



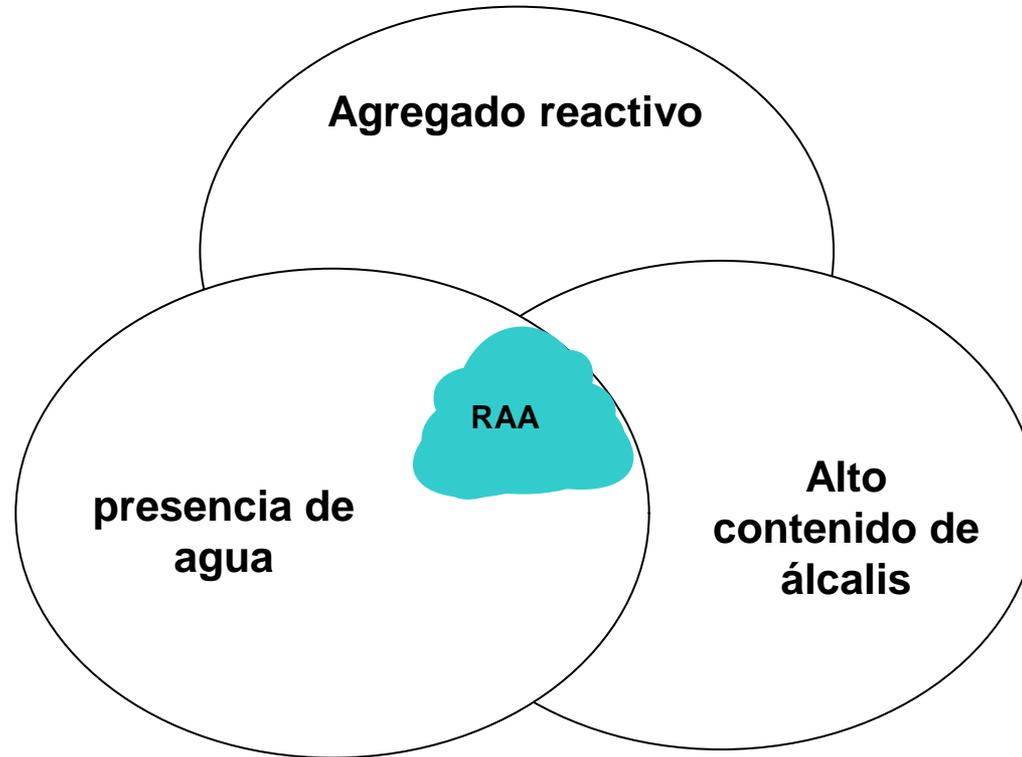
Edificios muy altos en Panamá



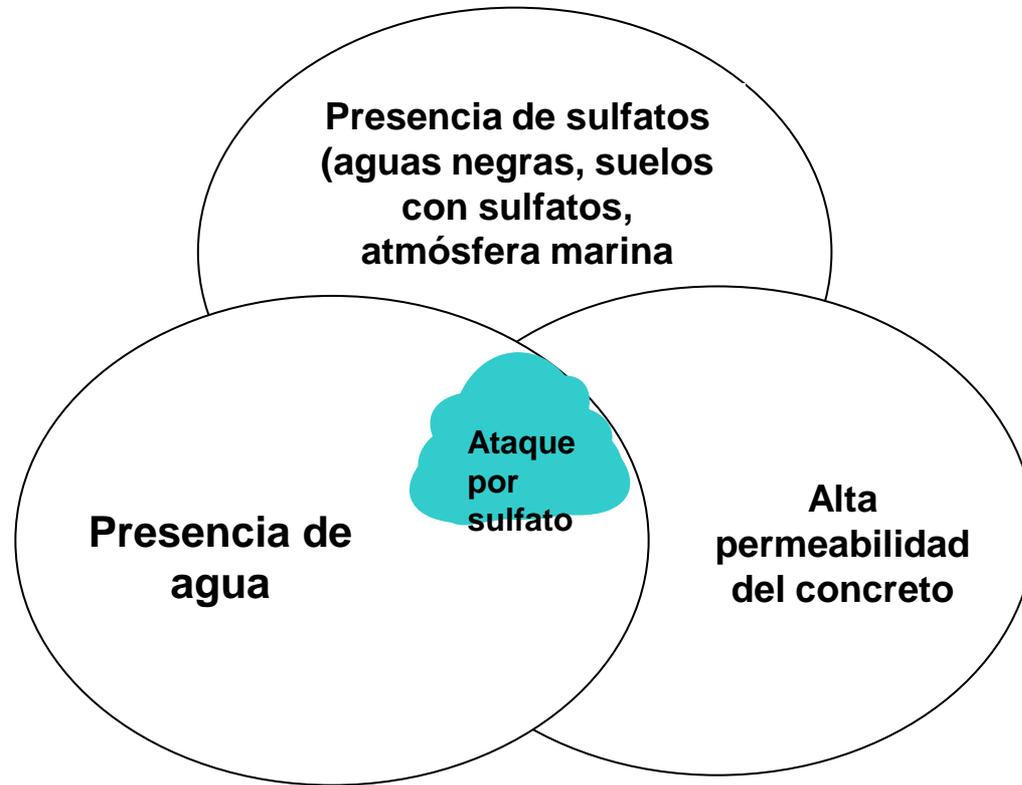
Desafíos en el siglo XXI : Durabilidad de las estructuras

La reacción álcali-agregado

Condiciones para que ocurra la reacción RAA



Condiciones para que ocurra el ataque por sulfatos



En Panamá muchas veces se tienen las condiciones para que las dos patologías ocurran juntas

La Reacción álcali-agregado



Casos graves en el mundo

AÑO	Nº Casos
Hasta 1940	1-3
1940-1980	20
1980 - 2000	140
2000-2010	500

Casos graves en el mundo en los últimos 10 años

Regiones	Nº Casos
América del Norte	180
Europa	130
África	50
América del Sur	110
Ásia	30
Total de casos	500

Hasta 1940



Vertical cracks



Map cracks

1965- Puente en Sierra Nevada



Naval Air Station Point Mugu, California - 1985



1990 – Furnas Dam - Brasil



2000- Pavimento en concreto- Argentina



Aeroporto 2006 - Brasil



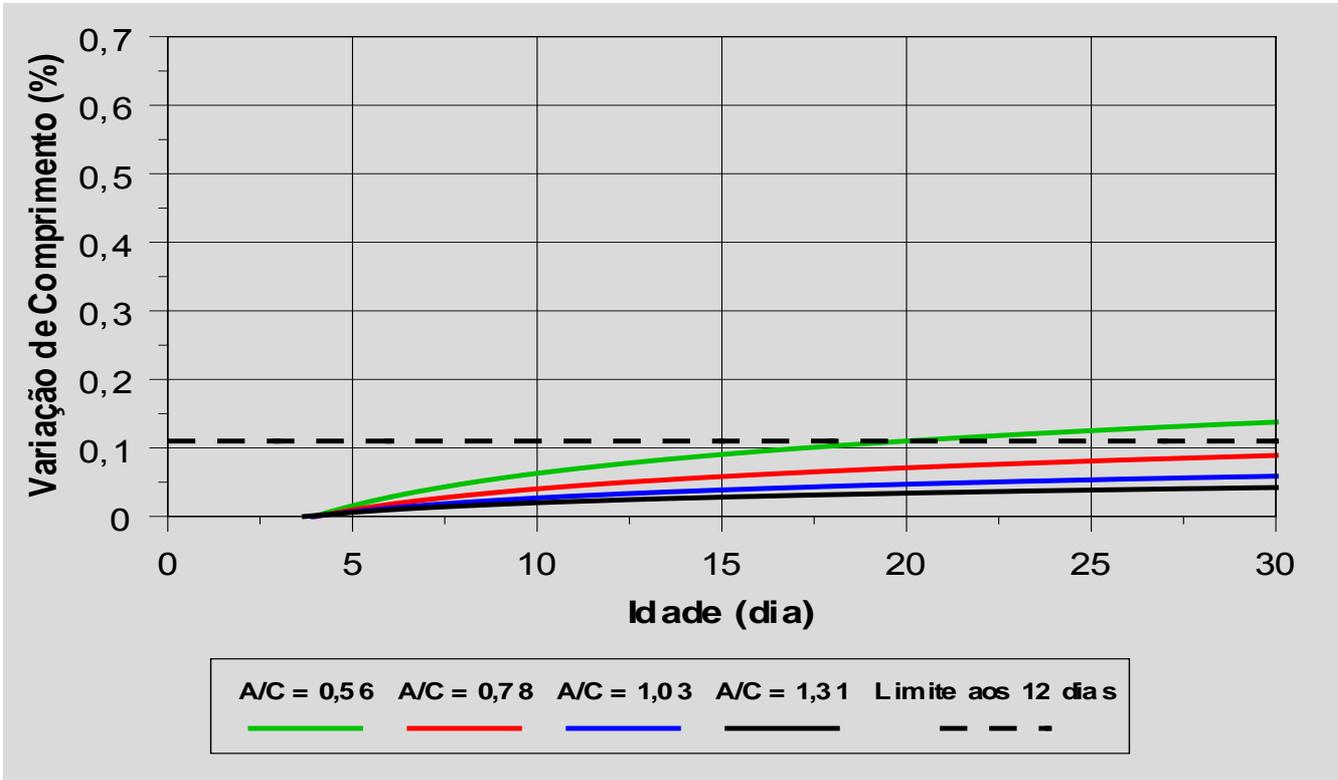
Puente en Canadá



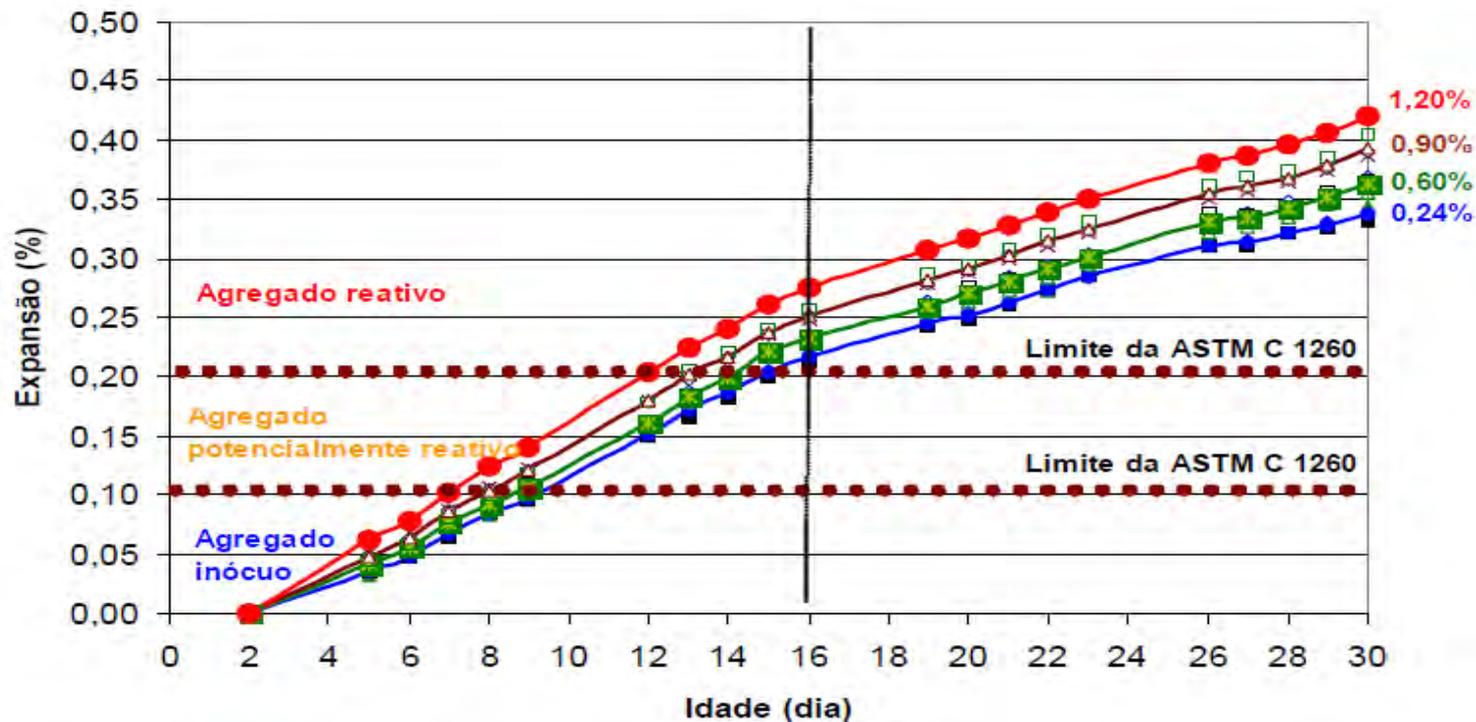
Porque en el pasado la ocurrencia de RAA era menos frecuente, mientras los agregados muchas veces se presentaban reactivos?

Probables explicaciones para el incremento de las patologías

Influencia de la a/c en la RAA



Alcalis



Finura del cemento

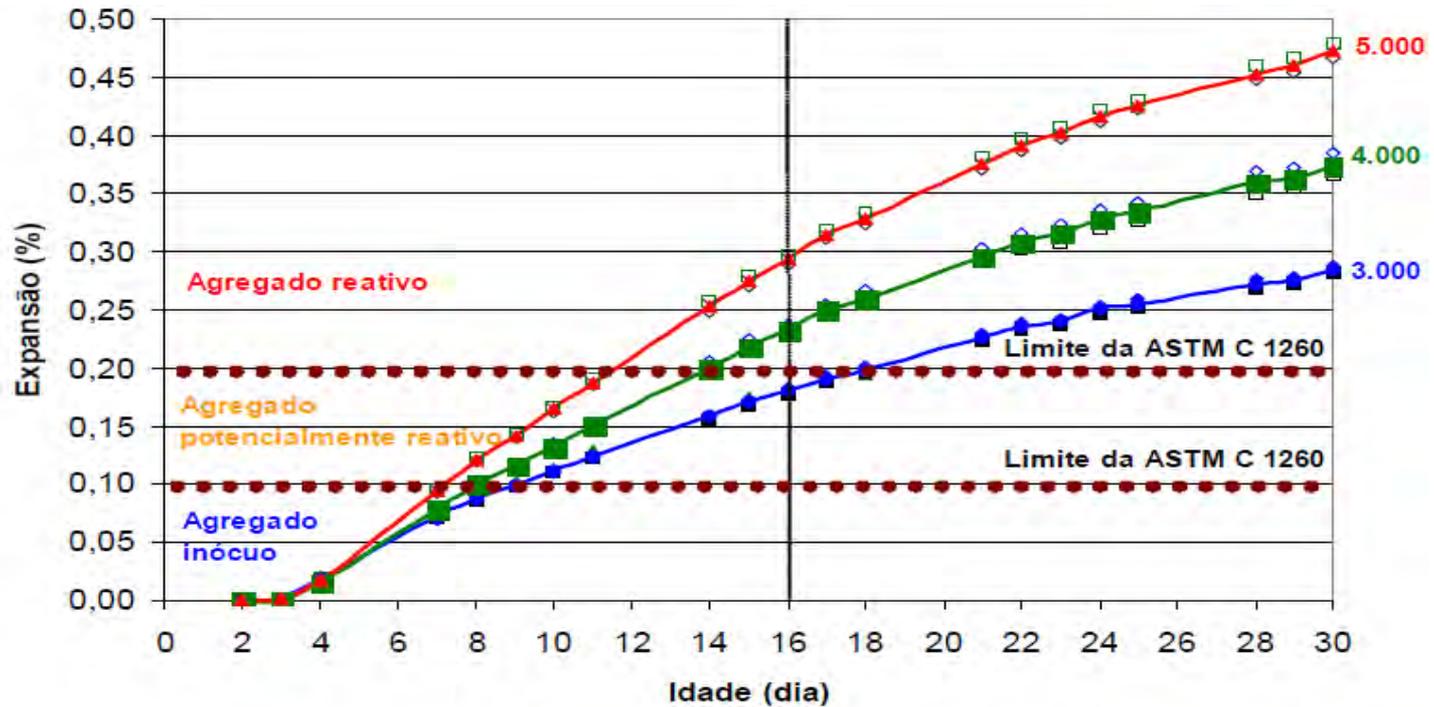


Figura 3 - Resultados de expansão ao longo do tempo para o estudo da finura.

Cómo ocurre la RAA?



Microestructura de la reacción RAA?



Mag= 250 X 100µm
4-Sep-1998 Detector= QBSD EHT=20.00 kV

Ejemplos de expansión en pavimentos



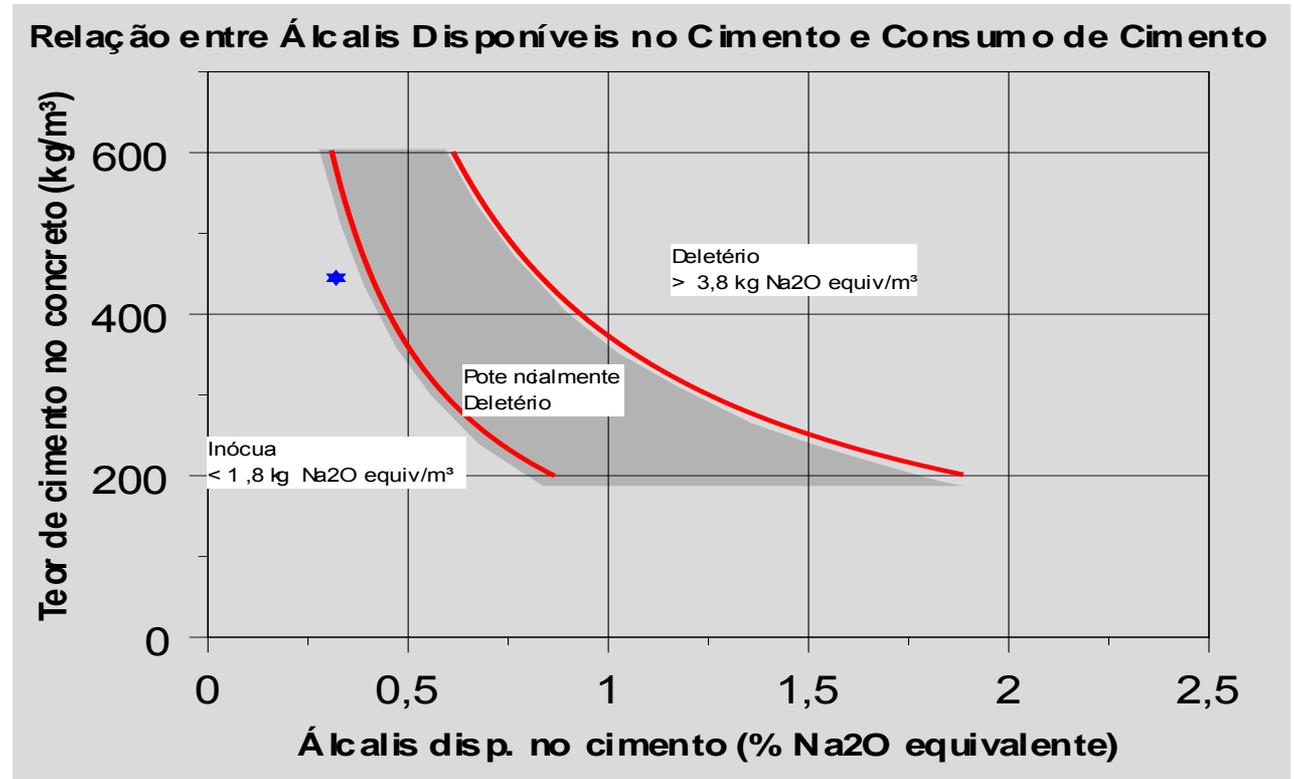
Ejemplos de expansión en pavimentos



Investigación de RAA

Programa de investigación de RAA en Proyectos en Panamá

Análisis del cemento (alcalis)



ASTM C 295 - Análisis petrográfico



ASTM C 295 - Análisis Petrográfico

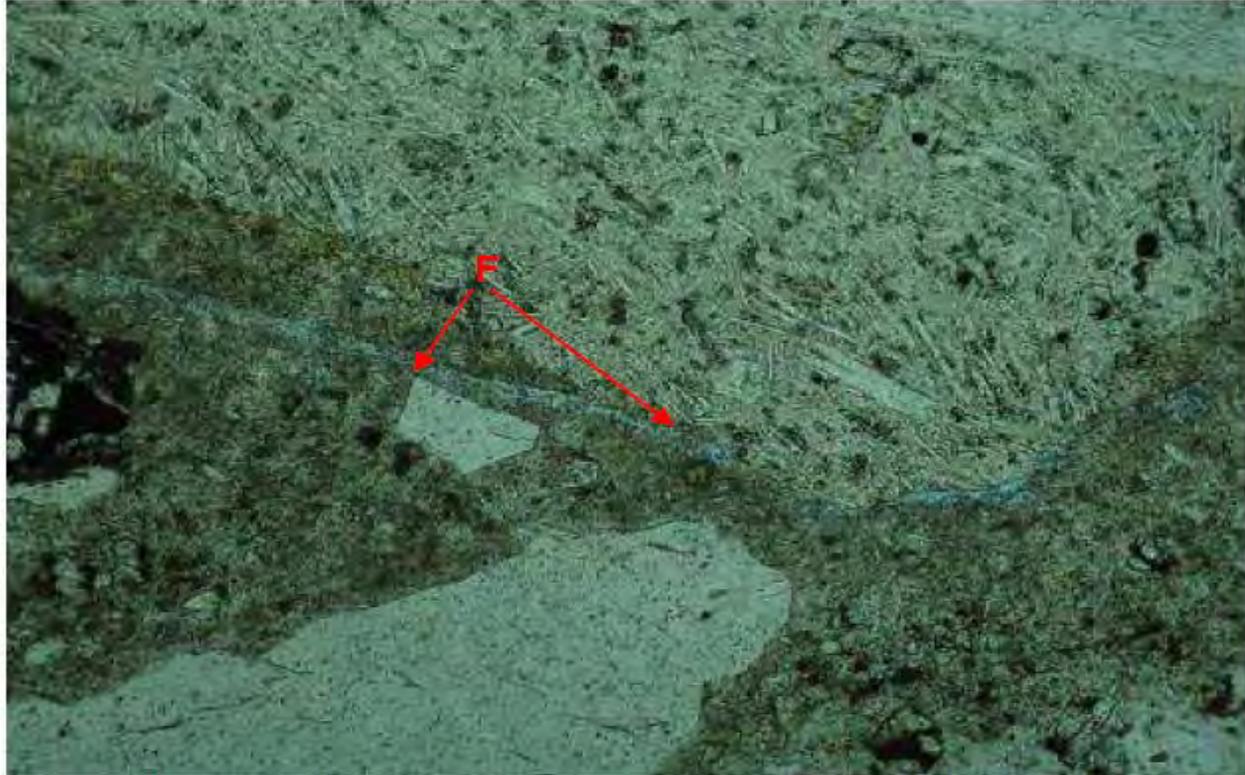
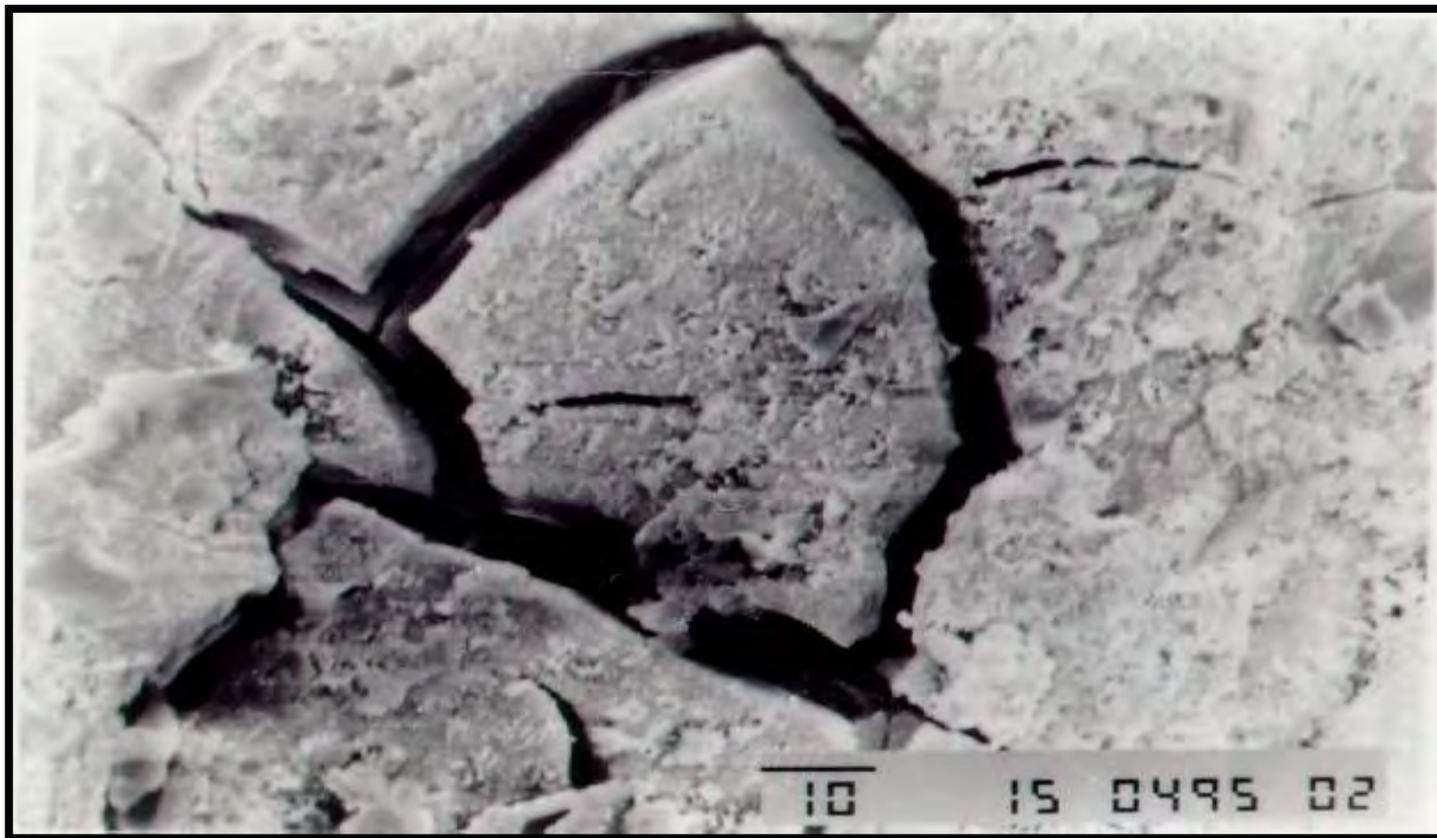


Figura 5 – Aspecto do concreto no qual se observa fissura (F) no contato agregado/argamassa. Microscópio de luz transmitida. Nicóis paralelos. Ampliação 40x.

ASTM C 295 - Análisis petrográfico



ASTM C-1260/05 (2005)

ASTM C 1260 y ASTM C 1567



Foto 1 - Conjunto de Tanques



Foto 2 - Vista Interna do Tanque



Foto 3 - Retirada da Barra

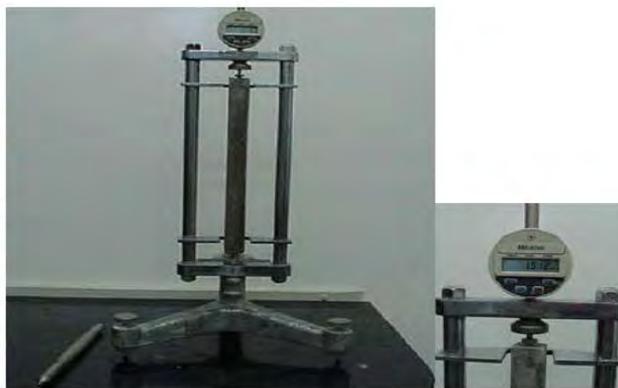


Foto 4 - Leitura/Relógio Comparador Digital

ASTM C 1260 y ASTM C 1567



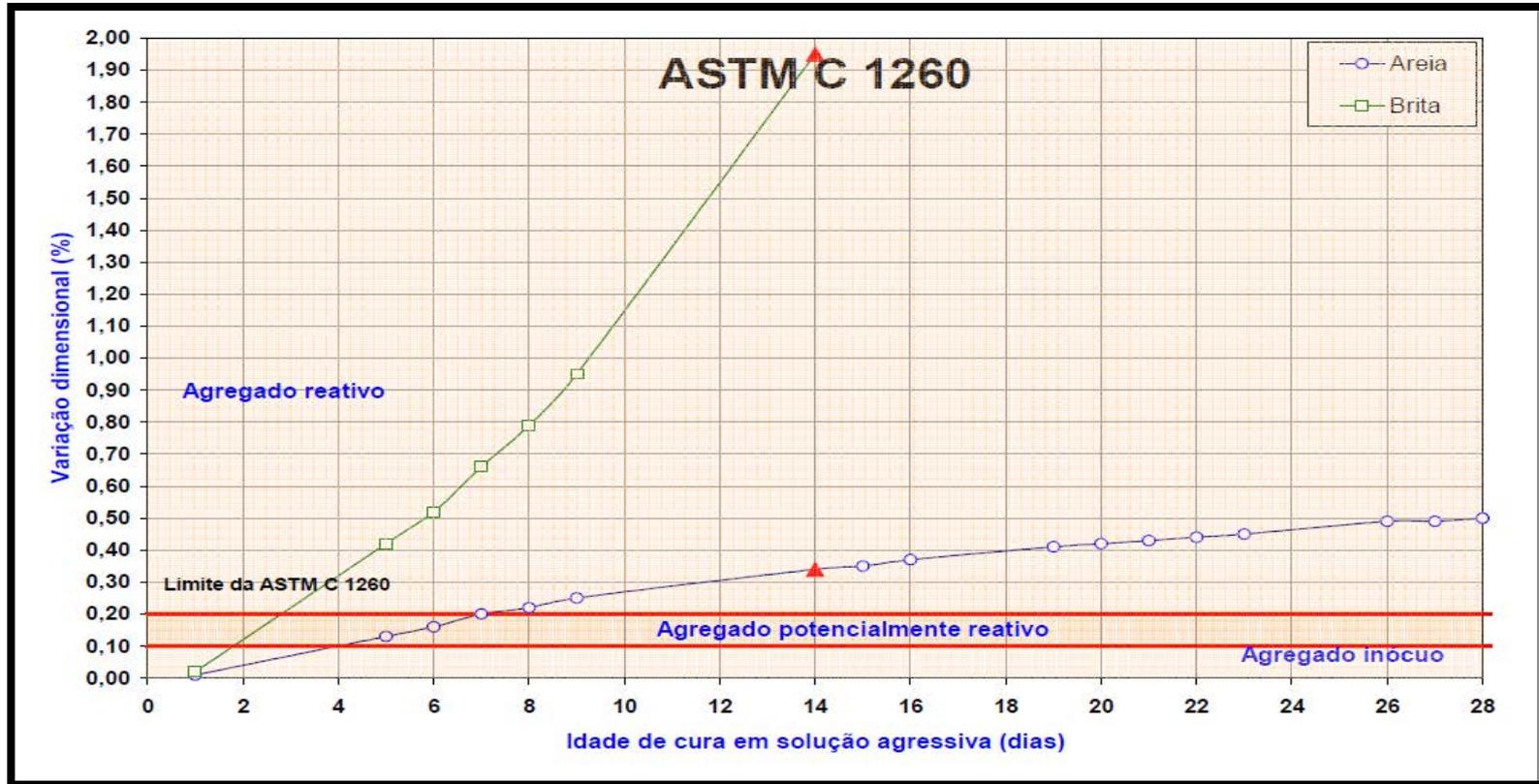
ASTM C 1260 y ASTM C 1567



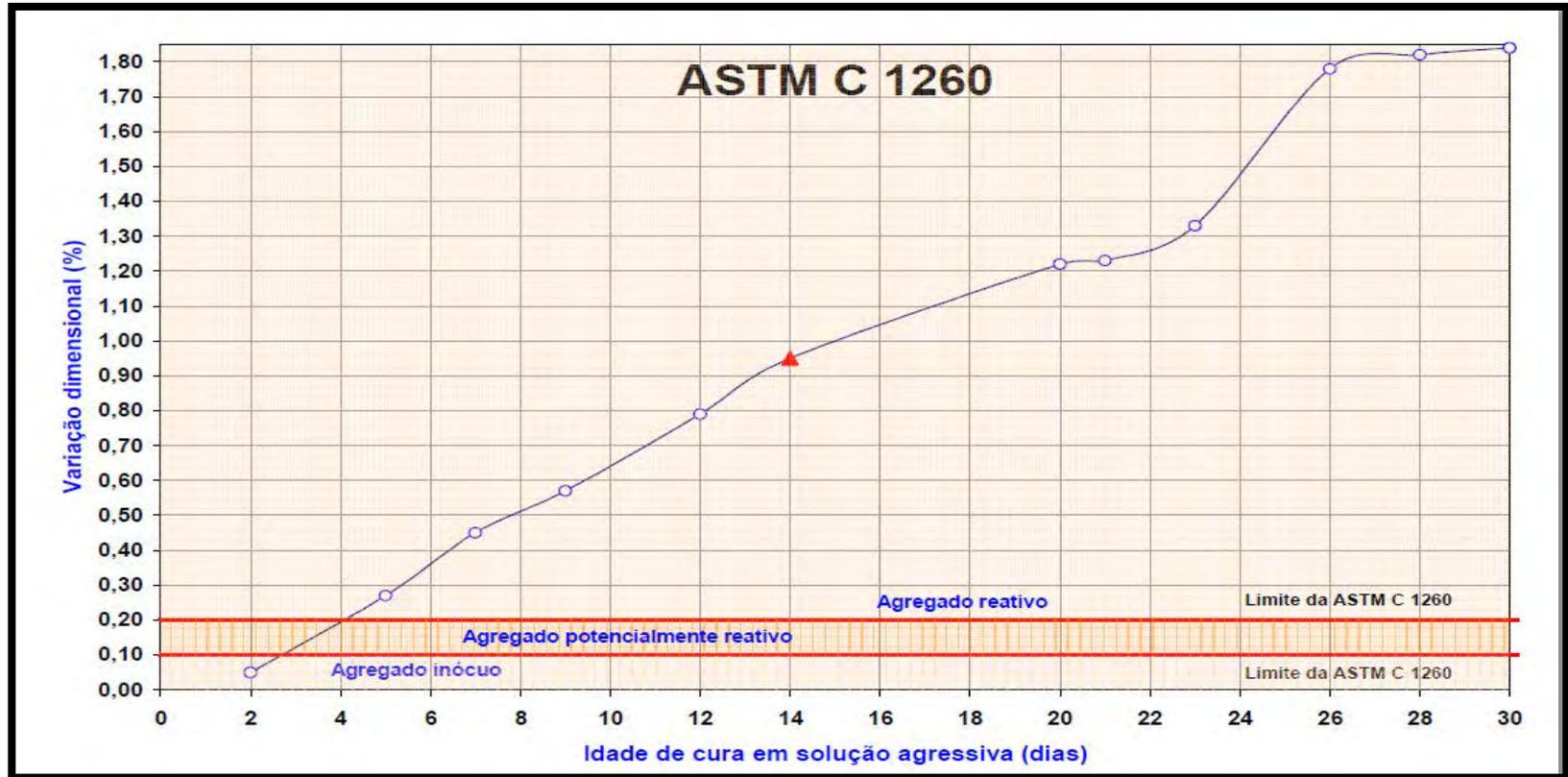
ASTM C 1260 y ASTM C 1567



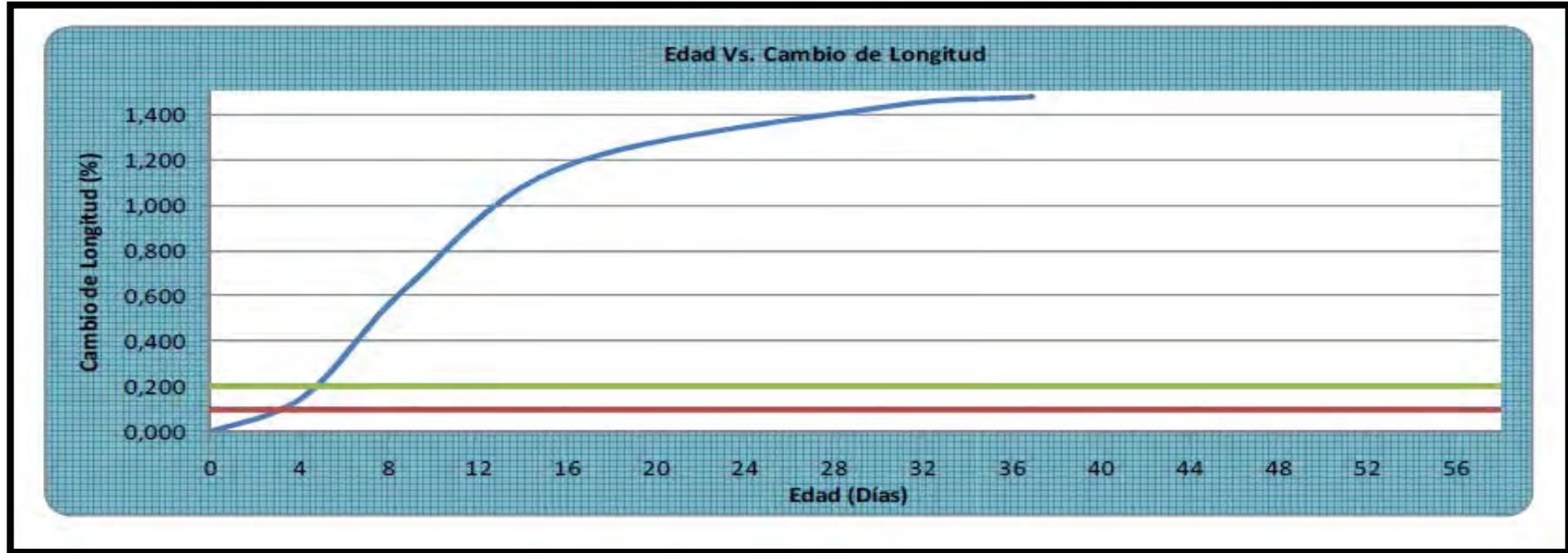
Pruebas con materiales de Panamá - ASTM C 1260



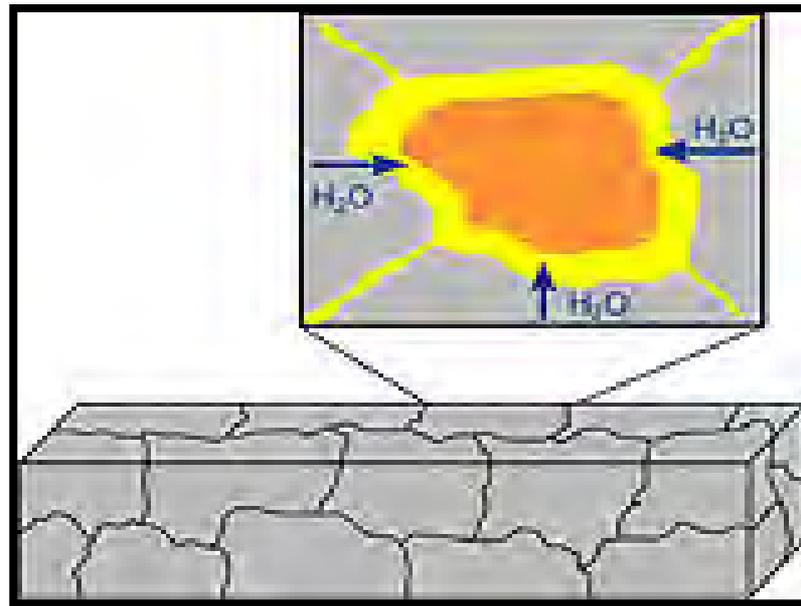
Pruebas con materiales de Panamá - ASTM C 1260



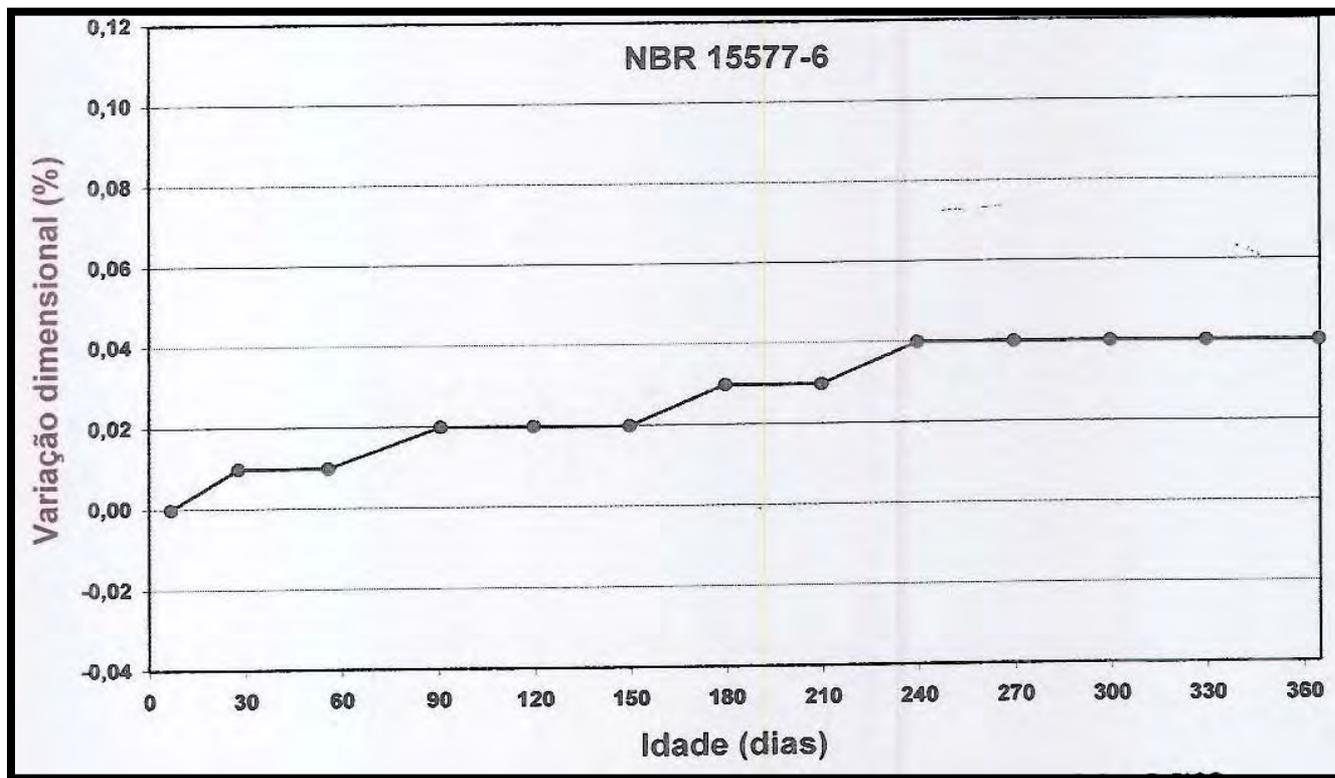
Pruebas con materiales de Panamá - ASTM C 1260



ASTM C – 1293 – Método de prismas de concreto para reactividad álcali-agregado (Método lento)



ASTM C – 1293 – Método de prismas de concreto para reactividad álcali-agregado (Método lento)



El uso de adiciones minerales para prevenir la reacción álcali-agregado en concretos en las obras en Panamá

Adiciones Minerales

Tipo	Actuación	Porcentual promedio	Ahorro de cemento
Cenizas volantes Fly ash Escória de alto horno	Moderada	30 – 60%	Substitución Adición: cemento 1:1
Microssílica Metacaulim	Fuerte	5-15%	Adición: cemento 1:2

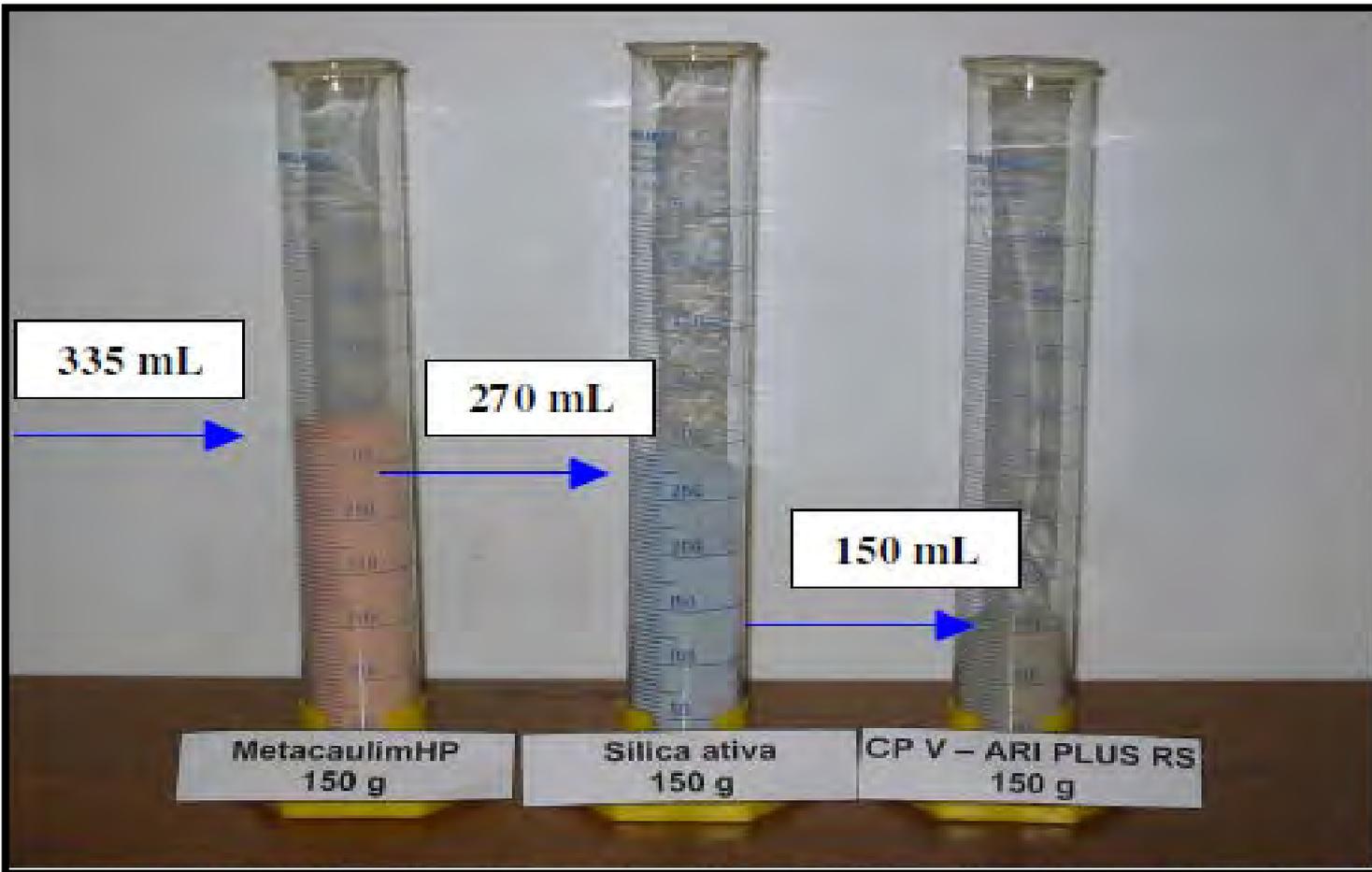
Fuertes adiciones o Adiciones más nobles

Microsilica



Metacaulim





335 mL

270 mL

150 mL

MetacaulimHP
150 g

Silica ativa
150 g

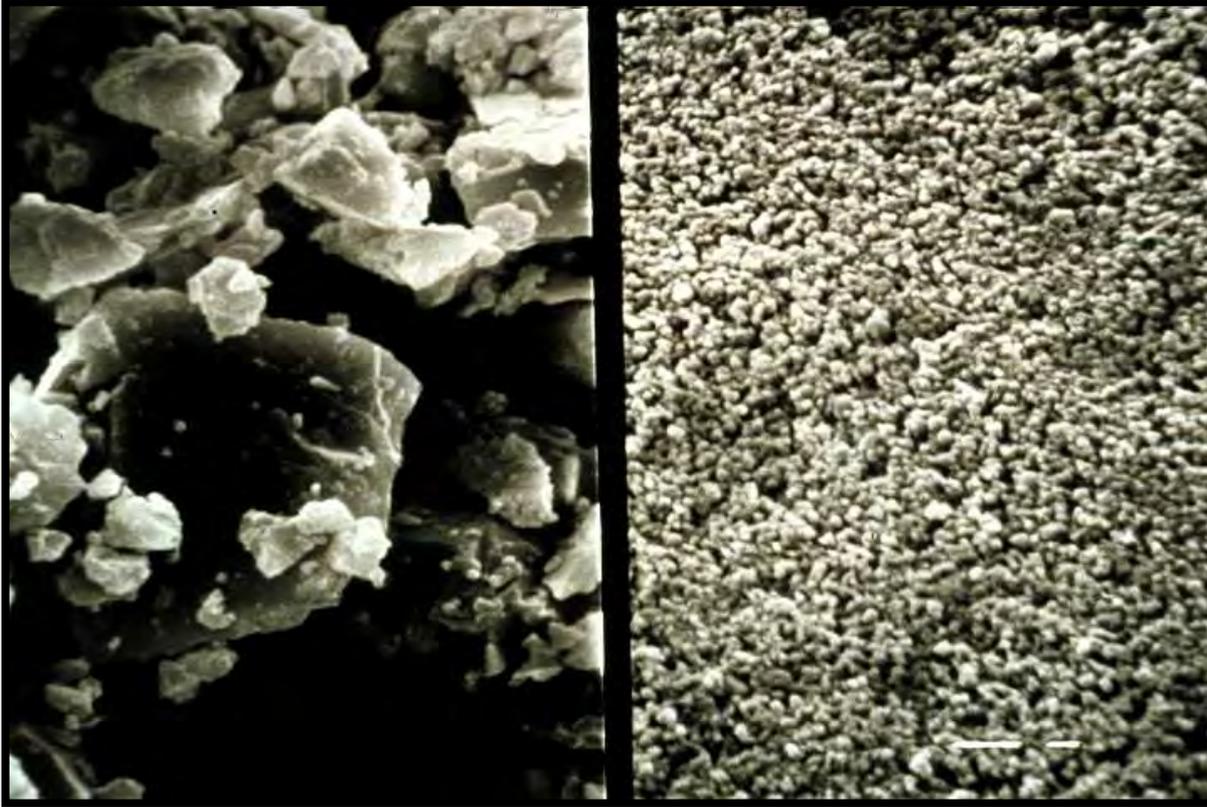
CP V - ARI PLUS RS
150 g

Características físicas y químicas del Microsilica

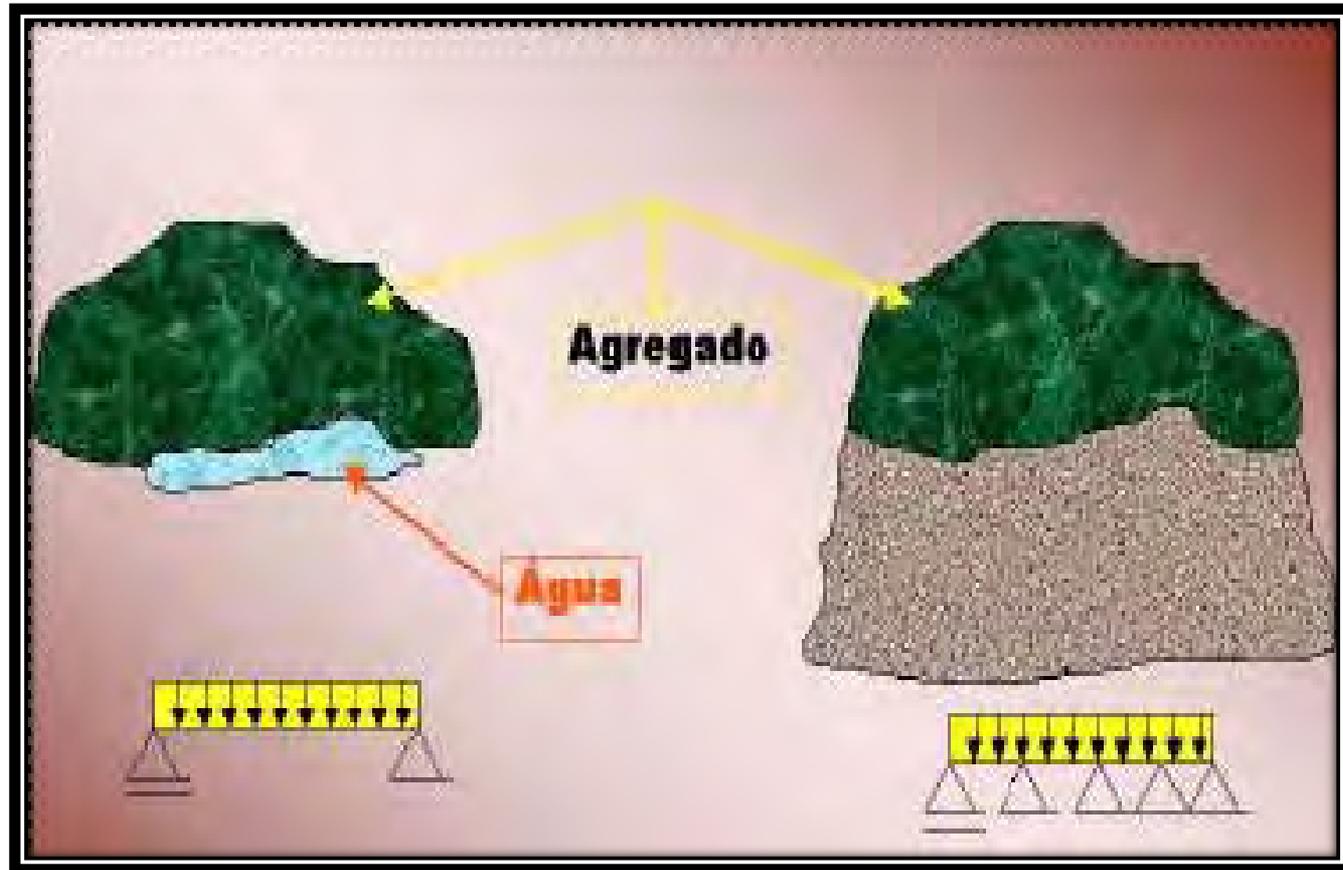
Características físicas y químicas del Metacaulim

Cemento
Blaine 4000

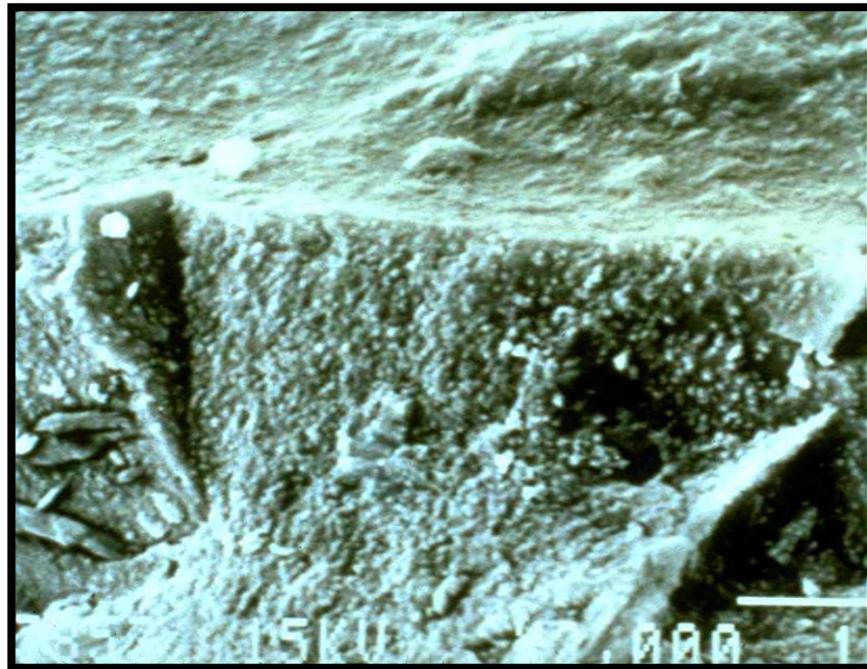
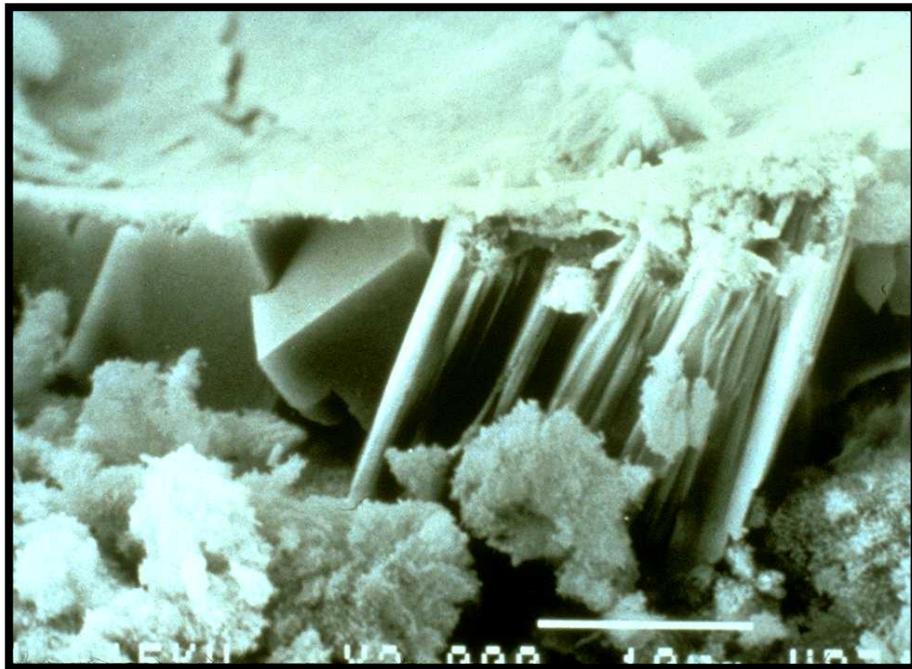
Microsilica o Metacaulim
Blaine > 20.000 m²/kg



Efecto de las adiciones en la mezcla de concreto



Efecto de las adiciones en la mezcla de concreto

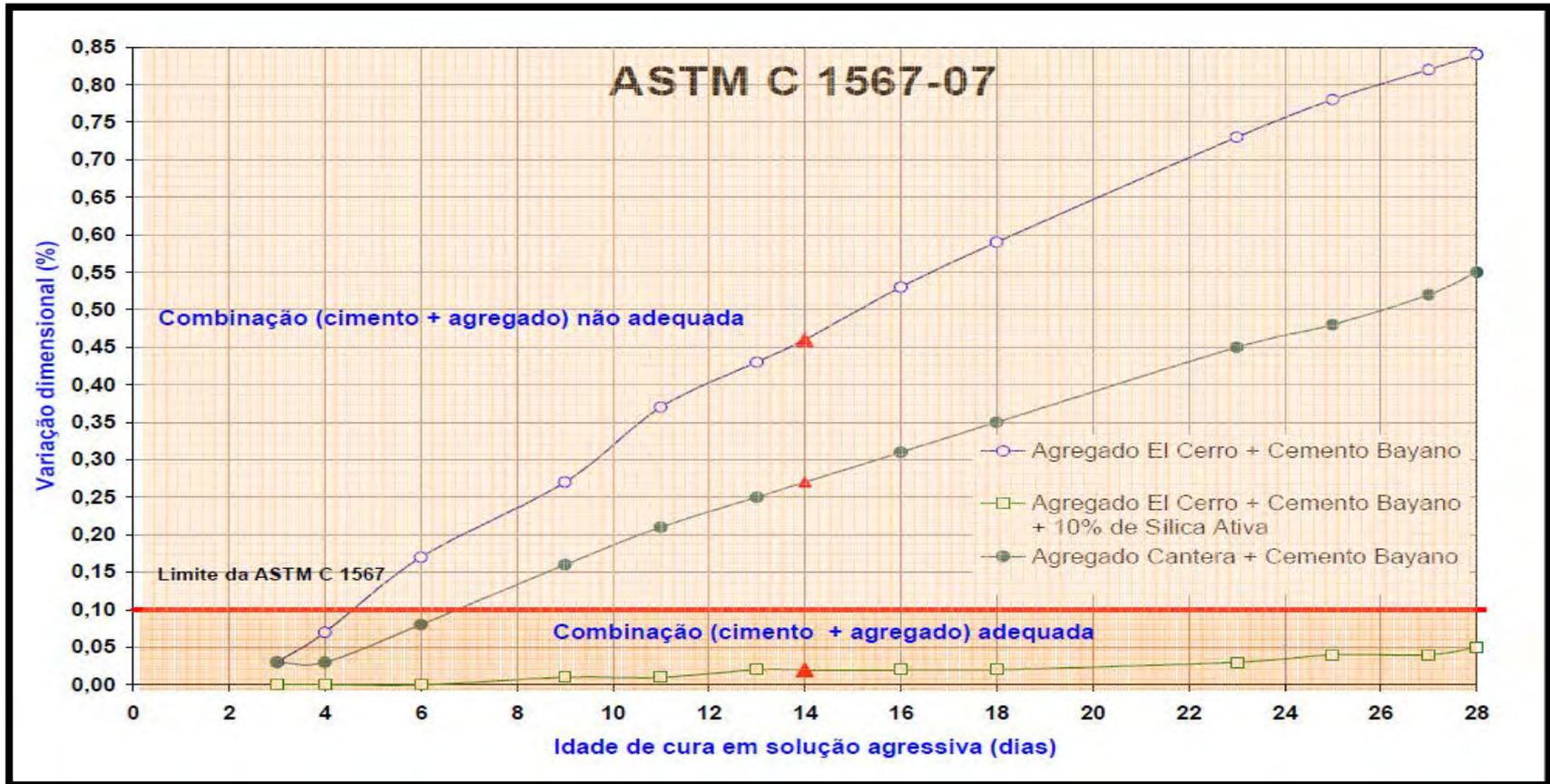


Factores generales que actúan en las adicciones para prevenir RAA

Factores principales de la actuación de las fuertes adiciones

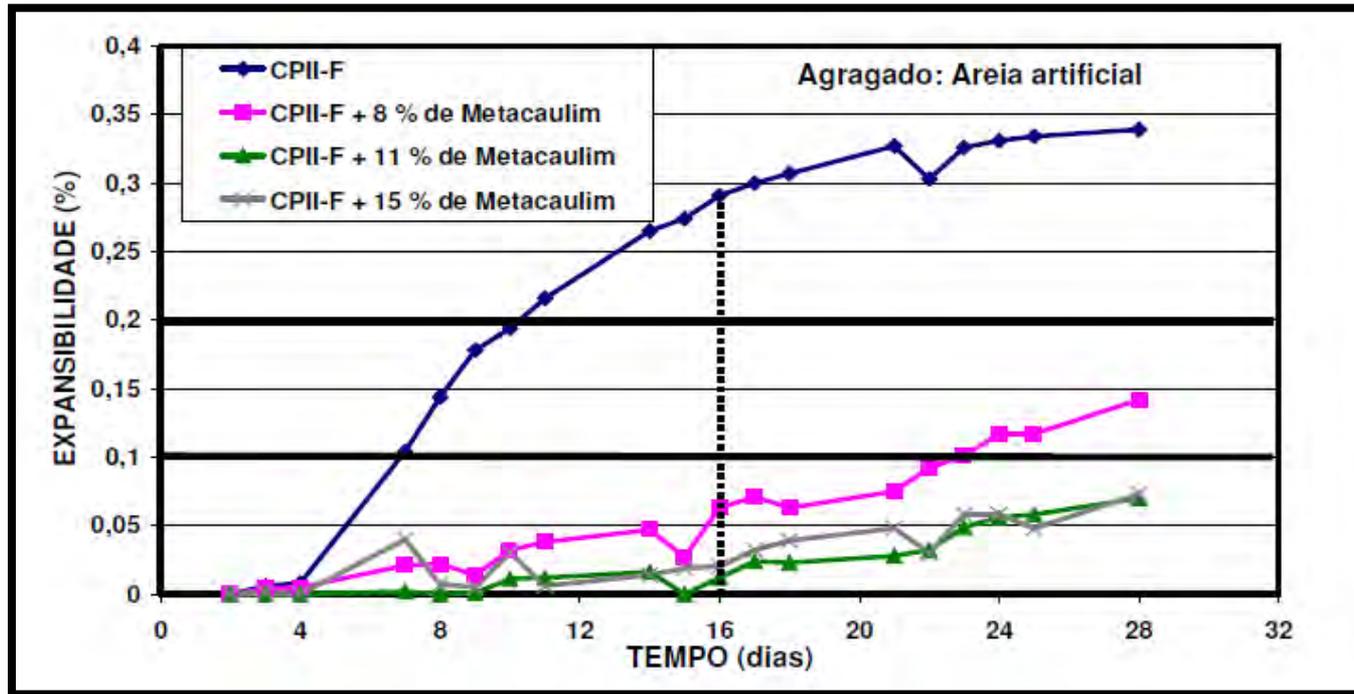
Reacción Alcali-agregado

Efecto de la microsílca en la prevención en Panamá

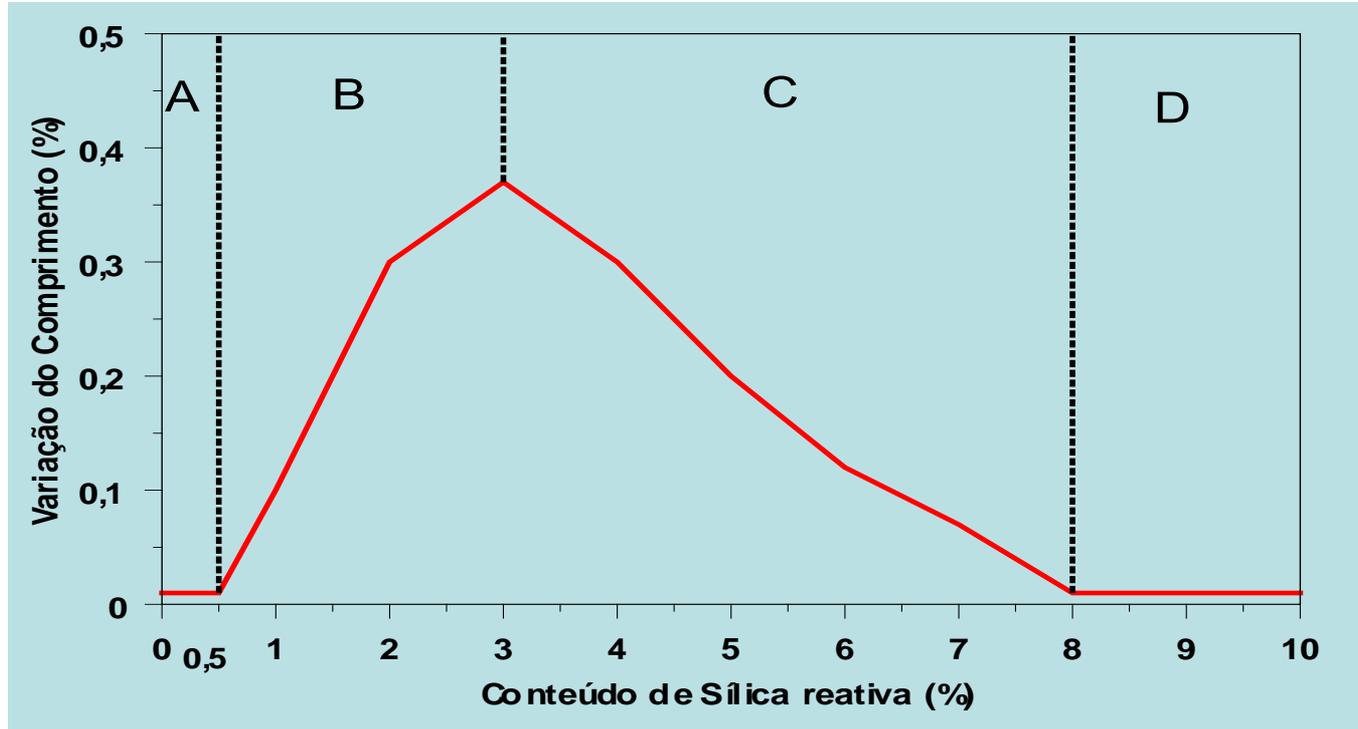


Reacción Alcali-agregado

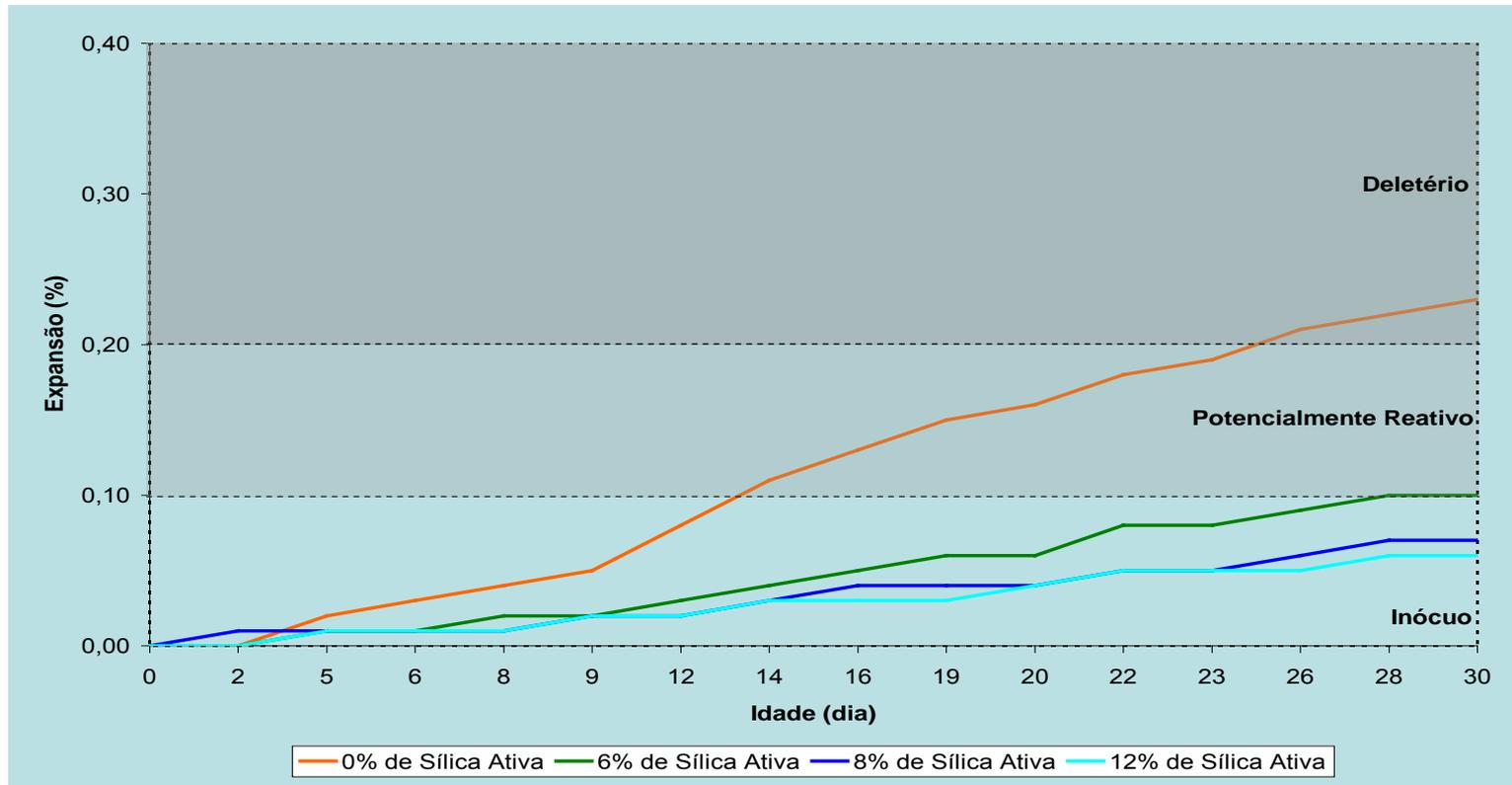
Efecto del metacaulim



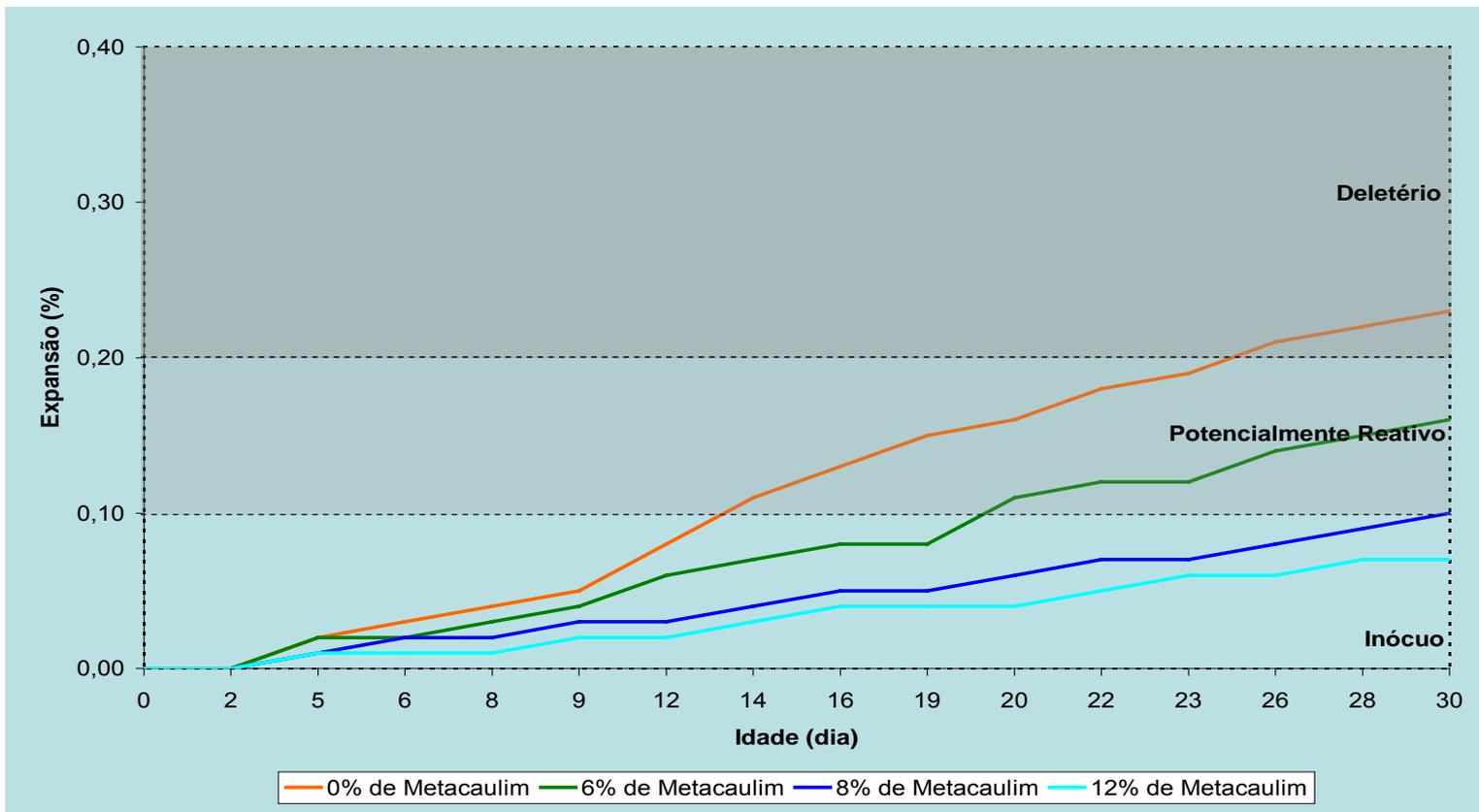
Contenido óptimo de las adiciones



RAA- distintos porcentajes de microsíllica en un agregado muy reactivo



RAA- distintos porcentajes de metacaulim en un agregado muy reactivo



Porqué se utilizan adiciones minerales en lugar de otros aditivos químicos?

Porqué se utilizan adiciones minerales en lugar de otros aditivos químicos?

Comparación f_c Metacaulim x Microsilica

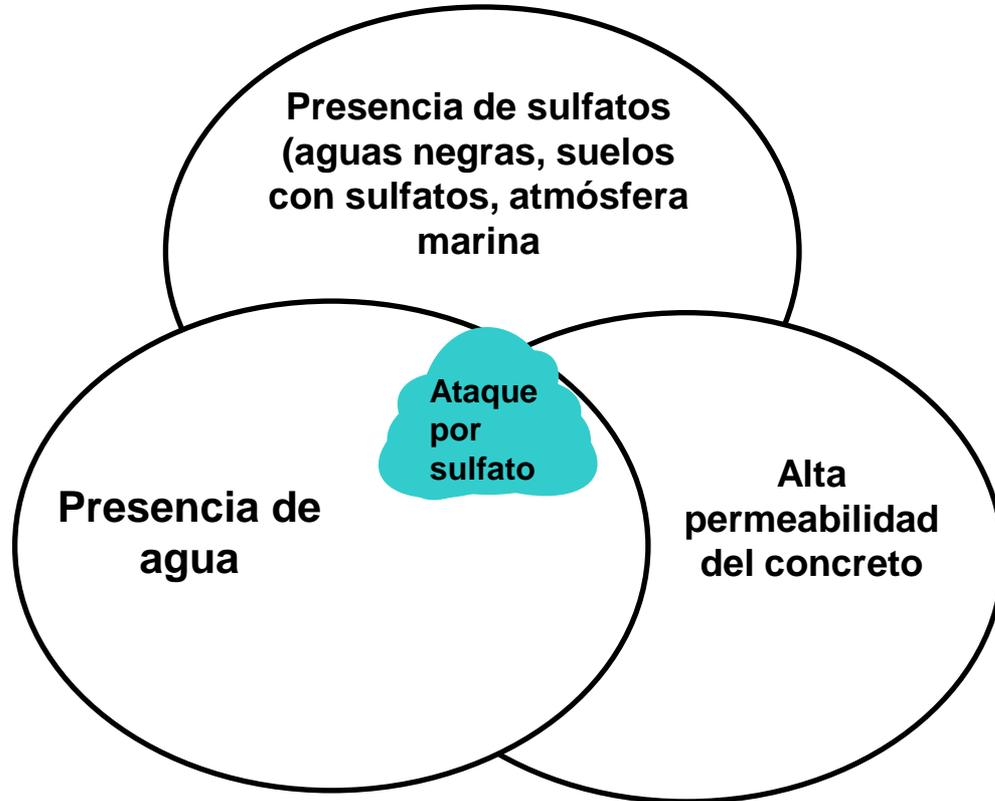
Mezclas	Resistencia a compresión (MPa)		
	3 dias	7 dias	28 dias
Cemento CP II + 6% Microsilica	22,5	28,8	42,7
Cemento CP II + 8% Microsilica	21,7	29,2	43,3
Cemento CP II + 12% Microsilica	23,4	32,7	49,3
Cemento CP II + 6% de metacaulim	21,2	30,2	34,0
Cemento CP II + 8% de metacaulim	22,4	30,8	35,1
Cemento CP II + 12% de metacaulim	22,6	33,7	36,8
Cemento CP II	21,1	24,6	29,9

Desafíos en el siglo XXI : Durabilidad de las estructuras

- El ataque por sulfatos

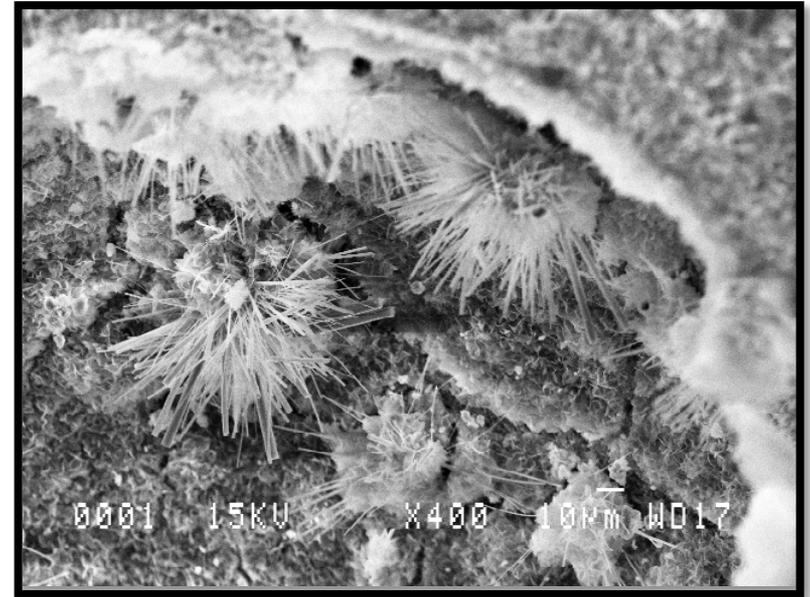
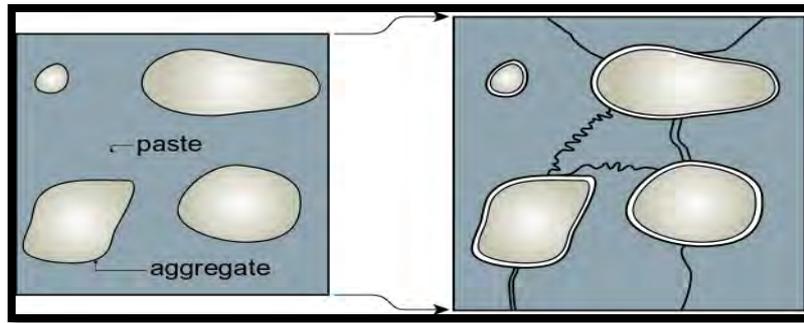
Ataque por sulfatos

Condiciones para que ocurra el ataque por sulfatos



Actuación de las adiciones para prevenir el Ataque por sulfatos

Efecto del ataque por sulfatos: La fisuración



Efecto del ataque por sulfatos: La fisuración



PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN DE PROTECCIÓN AL ATAQUE POR SULFATOS

ACI 318

TABLA 4.3.1 — REQUISITOS PARA CONCRETOS EXPUESTOS A SOLUCIONES QUE CONTIENEN SULFATOS

Exposición a sulfatos	Sulfato acuoso soluble (SO ₄) en suelo, porcentaje en peso	Sulfato (SO ₄) en el agua, ppm	Tipo de Cemento	Concreto de peso normal, relación máxima agua-material cementante en peso*	Concreto de peso normal y ligero, f' _c mínimo, MPa*
Insignificante	0.00 ≤ SO ₄ < 0.10	0 ≤ SO ₄ < 150	—	—	—
Moderada [†]	0.10 ≤ SO ₄ < 0.20	150 ≤ SO ₄ < 1 500	II, IP(MS), IS(MS), P(MS), I(PM)(MS), I(SM)(MS)	0.50	28
Severa	0.20 ≤ SO ₄ < 2.00	1 500 ≤ SO ₄ < 10 000	V	0.45	31
Muy severa	SO ₄ > 2.00	SO ₄ > 10 000	V más puzolana‡	0.45	31

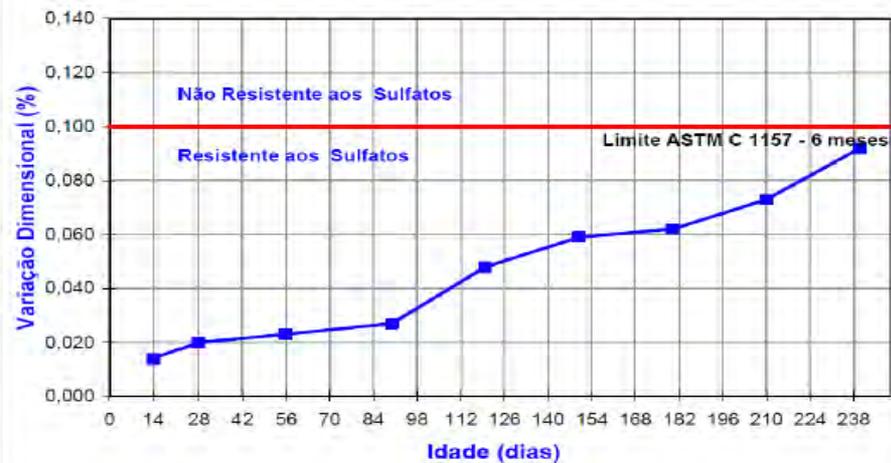
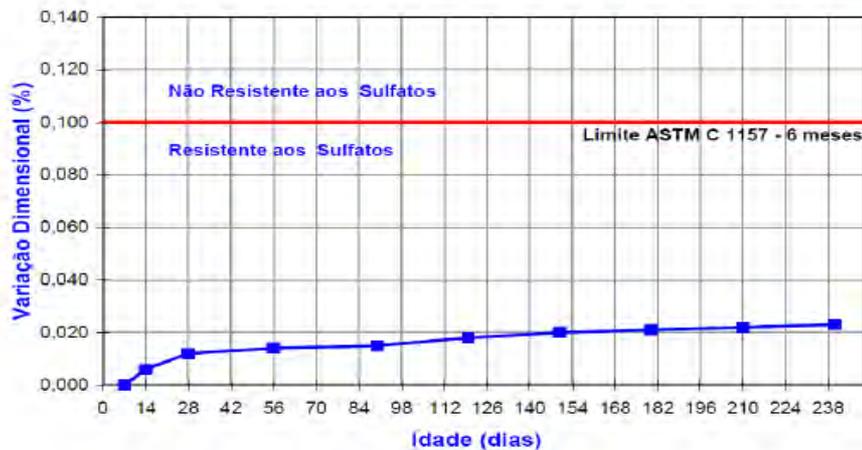
* Cuando se consideran los ensayos Tablas 4.2.1 y 4.2.2, se debe usar la menor relación máxima agua-material cementante aplicable y el mayor f'_c mínimo.

En Panamá no hay cementos adecuados a la protección a
severo ataque por sulfatos (Tipo V)

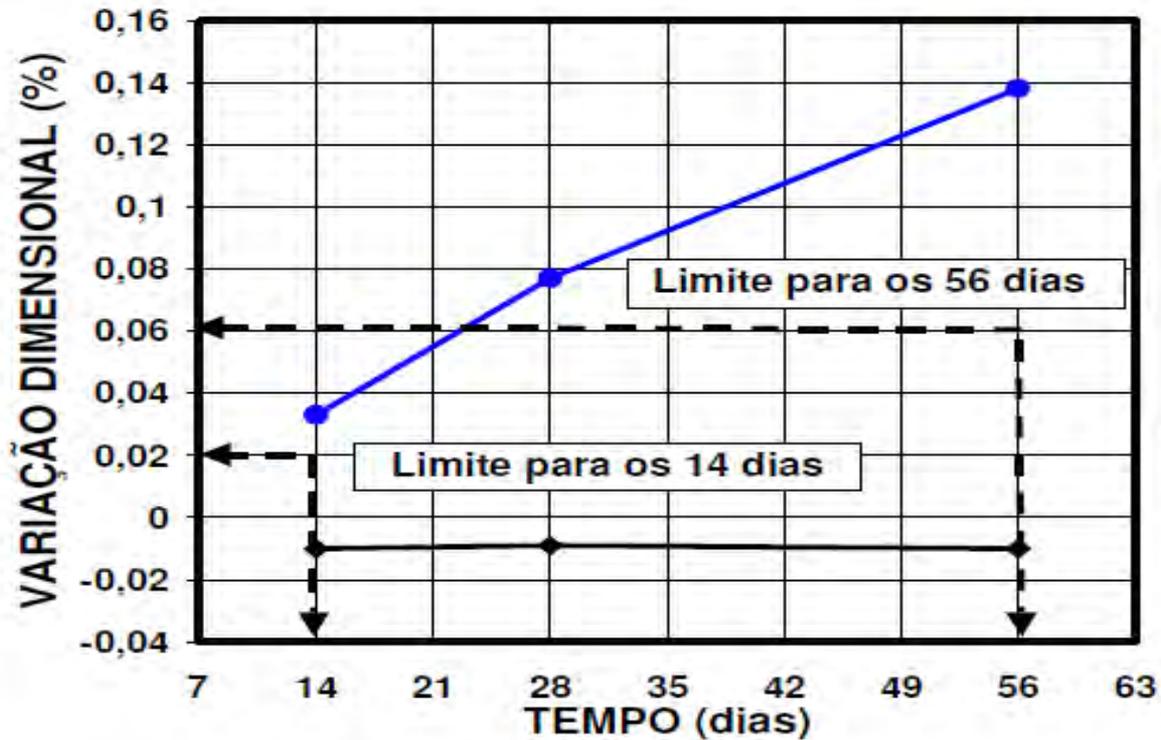
Recomendaciones de la ACI 318/2008 en la resistencia al sulfato en el ensayo ASTM 1012

Clase de exposición	Expansión máxima usando a ASTM C 1012 (%)		
	6 meses	12 meses	18 meses
Moderada (S1)	0,10%		
Severa (S2)	0,05%	0,10% *	
Muy Severa (S3)			0,10%

ASTM C 1012 – Efecto de la microssilica



Efecto del Metacaulim NBR 13583





PREGUNTAS....

