

***INFLUENCIA DE PENETRON ADMIX EN
HORMIGÓN MASIVO Y EN OTRAS
PROPIEDADES DE DURABILIDAD DEL
HORMIGÓN***



- ❑ *Definiciones y límites.*
- ❑ *Variables a considerar en hormigón masivo por el proveedor de hormigón y el constructor.*
- ❑ *Causas del deterioro de la estructura por alta t° del hormigón en estructuras masivas.*
- ❑ *Estudio y pruebas sobre la influencia de Penetron Admix en hormigón masivo para el proyecto del Riviera Tower – Grecia.*
- ❑ *Conclusiones del estudio.*
- ❑ *Influencia de Penetron Admix en otras propiedades de durabilidad del hormigón.*

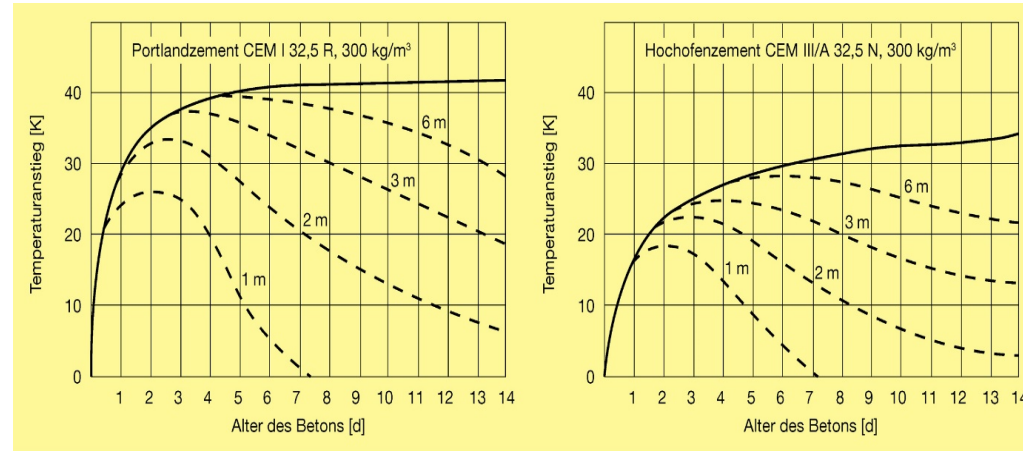
Definiciones y límites para Hormigón Masivo

- ✓ Lo que distingue al hormigón masivo de otra obra de hormigón es el “**comportamiento térmico.**”
- ✓ En elementos que pueden ser clasificados como masivos, se debe *definir el comportamiento térmico del hormigón desde la concepción del diseño estructural y del vaciado como tal, junto con la especificación del hormigón en estado fresco.*
- ✓ Según ACI 211, cuando la **dimensión mínima de la sección transversal es 60 a 90 cm y/o el contenido de cemento supere los 355Kg/m³, se considera hormigón masivo.**
- ✓ Puesto que la reacción entre el agua y el cemento es exotérmica, el aumento de temperatura dentro de una masa grande de hormigón puede ser muy alto, si el calor no es disipado rápidamente al exterior,.
- ✓ **El límite de temperatura máxima en el hormigón** según ACI 201-2R-2016 **lo fija en 70°C.** Si este valor es > 85°C la estructura queda en modo de “colapso”.
- ✓ El **gradiente de temperatura** entre el núcleo y la superficie de la estructura es lo más importante, si > 20°C, se generarán grietas y será necesario tomar acciones para disminuir esta variable.

***VARIABLES A CONSIDERAR EN HORMIGÓN MASIVO
POR EL PROVEEDOR DE HORMIGÓN Y EL
CONSTRUCTOR***

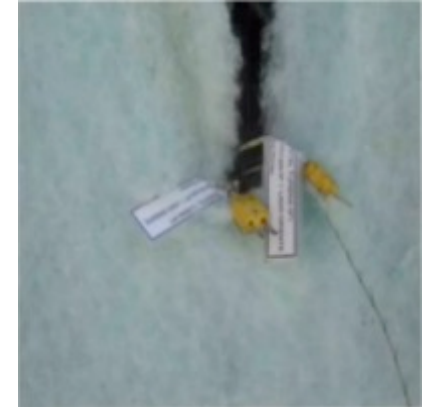
TEMAS RELEVANTES PARA EL PROVEEDOR DE HORMIGÓN

- ✓ Uso de cementos puzolánicos **con bajo calor de hidratación**. Los cementos a usar deben tener los siguientes límites: C3A < 8%. La suma de C3A y C3S < 58% y la generación de calor 70 cal/g hasta 7 días.
- ✓ El mayor efecto sobre la temperatura del hormigón **es bajar la temperatura de los agregados**. Esto se logra mojándolos, aprovechando la evaporación del agua para disminuir su temperatura.
- ✓ Considerar un diseño de mezcla que alcance la resistencia característica especificada, pero **minimizando la dosis de cemento**.
- ✓ Minimizar de la tendencia de sedimentación (exudación) del hormigón, por ejemplo, a través de una **curva de nivelación bien graduada del agregado y minimización del contenido de agua**, teniendo en cuenta los requisitos de temperatura
- ✓ El suministro de hormigón debe ser continuo para no generar juntas frías.



TEMAS RELEVANTES PARA EL CONSTRUCTOR

- ✓ Control de la temperatura del hormigón-Descimbre, mediante termocuplas u otro dispositivo.
 - Temperatura máxima en el hormigón 70°C.
 - Gradiente térmica entre el núcleo y la superficie máximo 20°C.
- ✓ Limitar la temperatura del hormigón fresco. Hay un dicho que dice: "*si no se puede mantener el hormigón frío, manténgalo caliente*". Normalmente las estructuras tienen moldaje, que ayuda a proteger al hormigón y la cara expuesta debe protegerse para regular la pérdida de calor.
- ✓ Elegir períodos de hormigonado a baja temperatura, especialmente para el núcleo de la estructura.
- ✓ Evitar el resecamiento superficial con un curado suficientemente largo e intensivo para proteger contra la deshidratación rápida y el enfriamiento (frazadas térmicas).
- ✓ Es muy importante *las juntas o cortes en hormigones*, para minimizar la fisuración aleatoria, acomodar los cambios volumétricos y también para facilitar la construcción. Los tipos de juntas utilizados son de contracción y de construcción, (ACI 224-3R).
- ✓ El descimbre debe hacerse cuando se tenga los valores de control de temperatura que justifique la acción y cuando el hormigón al *menos tenga el 70% de la resistencia de un G20*.
- ✓ Condiciones adecuadas de entrega e instalación que garanticen un hormigonado ininterrumpido.



- ✓ Juntas adecuadas para transferir esfuerzos de corte y flexión a través de la junta. La continuidad de los esfuerzos de flexión está asegurada con la continuidad de las armaduras de refuerzo a través de la junta y con largo suficiente el anclaje de éstas. El esfuerzo de corte es transmitido a través de la fricción propia de ambas caras de los elementos (antiguo-nuevo) o bien mediante dowels. (ACI 224-3R)



- ✓ Protección para enfriamiento gradual entre el núcleo y la superficie: Curado continuo min. 7 días.



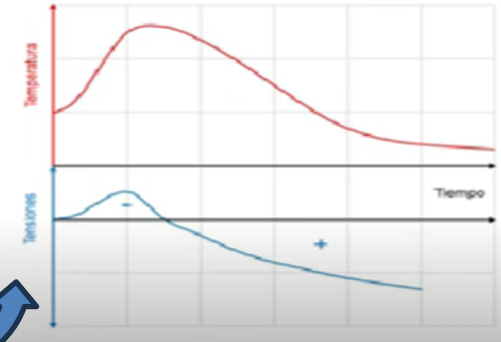
CAUSAS DEL DETERIORO DE LA ESTRUCTURA POR ALTA T° DEL HORMIGÓN EN ESTRUCTURAS MASIVAS

Causas del deterioro de la estructura por alta T° del hormigón en estructuras masivas

Tensiones térmicas

Enfriamiento de la estructura

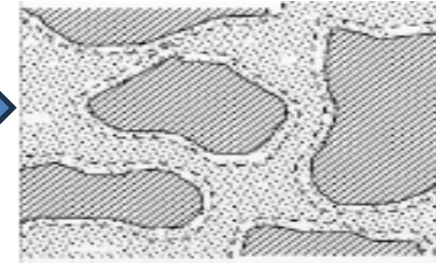
Si las tensiones de tracción por restricciones al acortamiento > resistencia a la tracción a edades tempranas = **Fisuración**



Dilatación térmica diferencial

El coeficiente de dilatación térmica de los agregados es muy $\neq$ al de la pasta de cemento

Microfisuración en interfase agregado - pasta de cemento o mortero



Hidratación anormal del cemento

Si el cemento es curado a elevada T° , los compuestos de hidratación difieren de los que se forman entre 5 y 20°C

> resistencia inicial pero > porosidad y < **resistencia final**

Formación de etringita diferida

Compuesto formado por reacción de los sulfatos contenidos en el H° con los aluminatos del cemento.

Ataque interno de sulfatos = **Fisuración a mediano y largo plazo producto del yeso del cemento curado a alta T°**



***ESTUDIO Y PRUEBAS SOBRE LA INFLUENCIA DE
PENETRON ADMIX EN HORMIGÓN MASIVO PARA
PROYECTO DEL RIVIERA TOWER, PARTE DEL
MEGAPROYECTO DE "THE HELLINIKON", EN LA
EX-ATENAS-AEROPUERTO-GRECIA - 2023.***

ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

- En este megaproyecto en Grecia la consultora internacional de hormigón de grandes proyectos en Grecia, ***Courtel International Consulting Ltd.***, solicitó a Penetron Grecia, un estudio sobre influencia del producto Penetron Admix en hormigones masivos con distintos tipos de cemento.
- En el estudio se consideraron varios tipos de cemento con puzolana y con escoria para un mismo diseño de mezcla de hormigón.
- Los cementos utilizados fueron aportados por Cementos Lafarge y Cementos Titan que se fabrican en Grecia.
- El estudio se realizó sobre especímenes de 1x1x1 m con hormigón de camión mixer.

**TIPO DE HORMIGÓN,
CEMENTO Y PARÁMETROS CONTROLADOS**

Características del hormigón:

C30/37	: Resistencia característica cilíndrica a compresión $f_k \geq 30\text{MPa}$ /mínima cúbica a compresión 37 MPa.
XA2	: Ambientes químicos agresivos.
S5	: Asentamiento de cono (slump) > 220 mm.
Penetron Admix	: Dosis 0,8% del peso del cemento

Cementos:

Cemento Tipo III 32,5 B-SR,
Cemento Tipo IV 32,5 B (P) y
Cemento Tipo III 42,5 B-SR

Parámetros controlados:

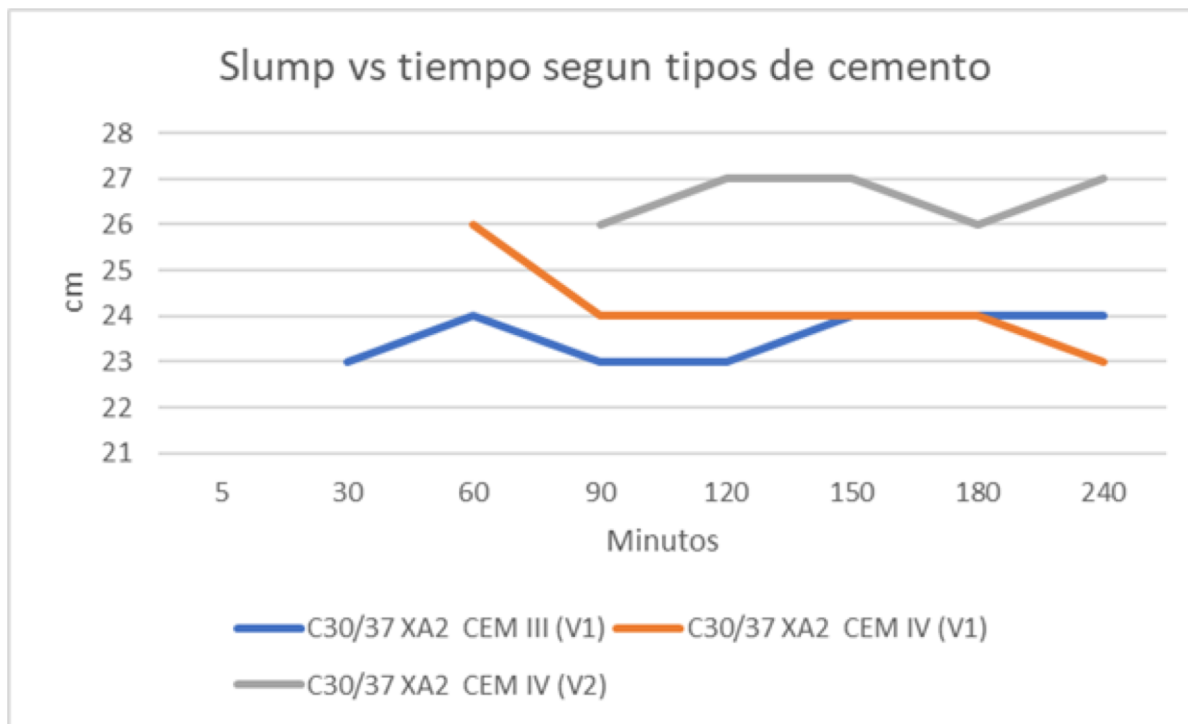
- Determinación de asentamiento de cono (slump) y fluidez,
- Temperatura del hormigón,
- Resistencia a compresión,
- Contenido de aire y
- Densidad para hormigones en masa, de categoría C30/37 XA2 S5

TIPOS DE CEMENTO UTILIZADOS

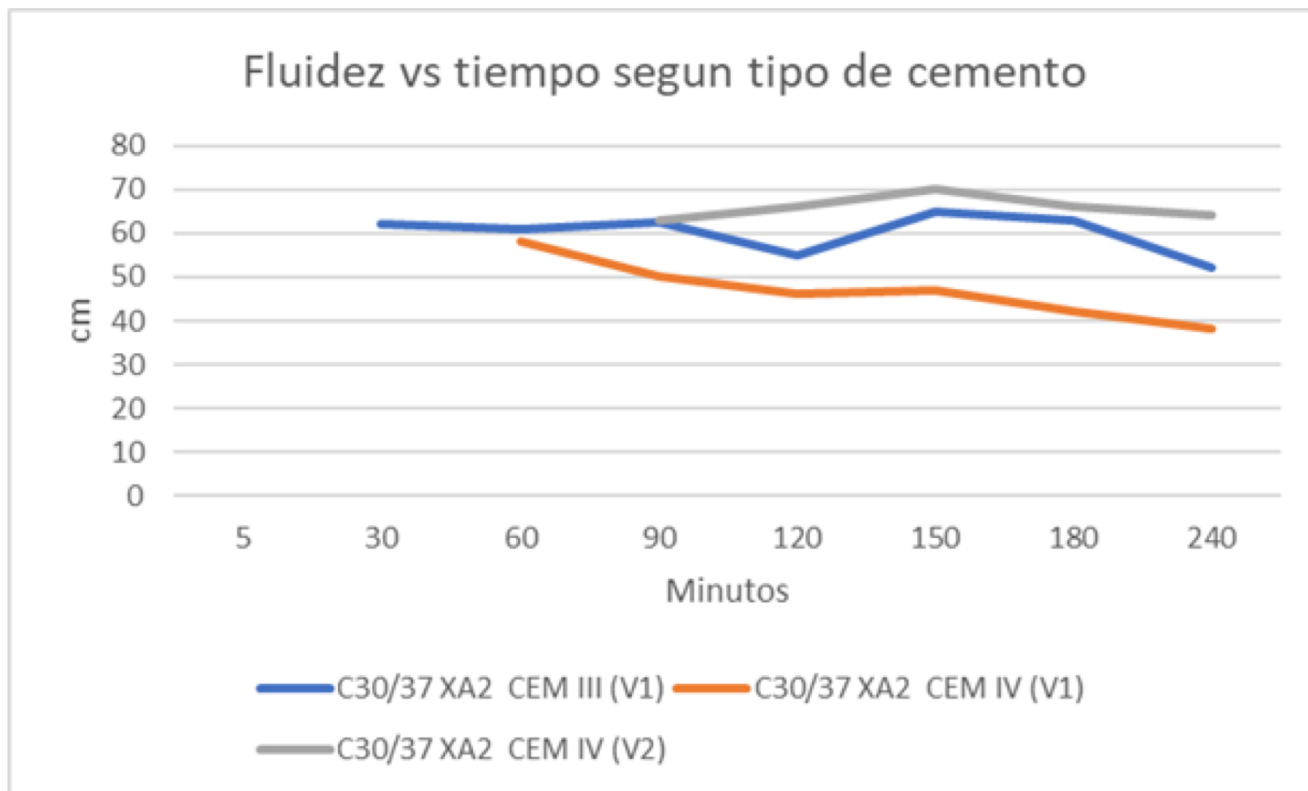
Cemento III 32,5 B-SR,
Cemento IV 32,5 B (P) y
Cemento III 42,5 B-SR

<i>Tipo de cimento Norma Europea</i>	<i>Resistencia a Compresión</i>	<i>B</i>	<i>Escoria alto horno</i>	<i>SR</i>	<i>P Puzolana natural</i>	<i>Uso</i>
Tipo III	32,5 MPa	Bajo contenido de Clinker 20-34%	66-80%	Sulforesistente, alta resistencia inicial		Ambientes agresivos con sulfatos, ambiente marino y uso áridos reactivos
Tipo III	42,5 MPa	Bajo contenido de Clinker 20-34%	66-80%	Sulforesistente, alta resistencia inicial		
Tipo IV	32,5 MPa	Contenido medio de Clinker 45-64%		Sulforesistente, alta resistencia inicial	35-65%	

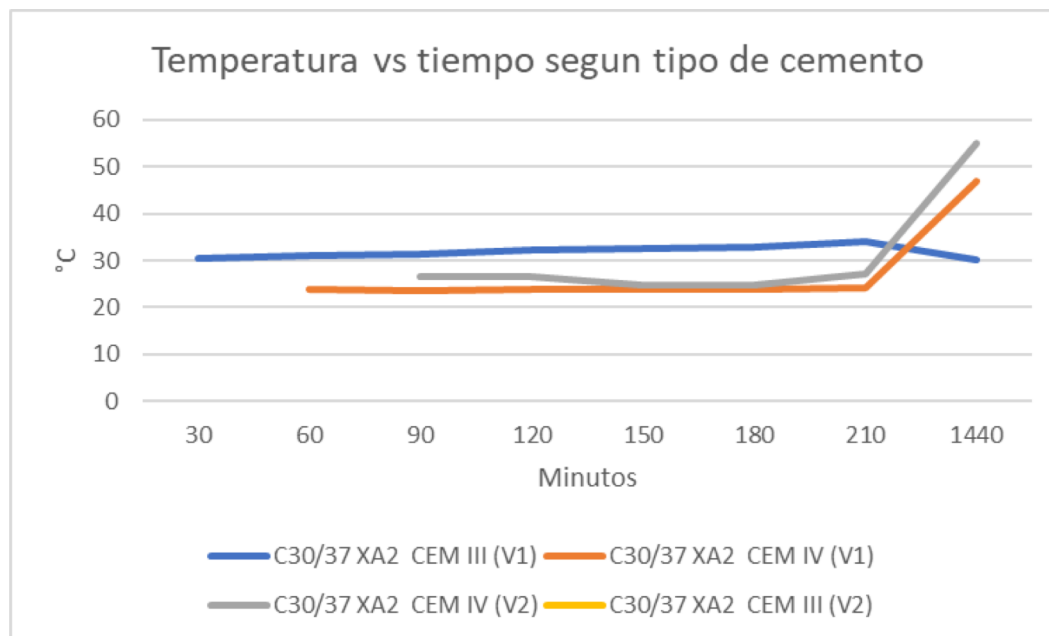
<i>Diseño de Mezcla</i>	<i>C30/37 XA2 CEM III (V1)</i>	<i>C30/37 XA2 CEM IV (V1)</i>	<i>C30/37 XA2 CEM IV (V2)</i>	<i>C30/37 XA2 CEM III (V2)</i>
CEM III 32,5 B SR (Kg) S5	370			
CEM IV 32,5 B (P) SR (Kg) S5		368	382	
CEM III 42,5 B SR (Kg)				370
Agua total (Kg)	170	162	179	170
PENETRON ADMIX 0,8% pc	2,96	2,96	3,04	2,96
Contenido de Aire %	1,6	1,7	1,7	1,7
Slump 5 min/cm /fluidez		54		
Slump 30 min/cm /fluidez	23/62-61		27,5/64,5	
Slump 60 min/cm /fluidez	24/61-60	26/58		
Slump 90 min/cm /fluidez	23/63-60	24/50	26/63	
Slump 120 min/cm /fluidez	23/57-53	24/46	27/66	
Slump 150 min/cm /fluidez	24/65-64	24/47	27/70	
Slump 180 min/cm /fluidez	24/63-61	24/42	26/65,5	
Slump 240 min/cm /fluidez	24/52-52	23/38	27/64	
Densidad del hormigón Kg/m3	2393	2390	2372	2404
Temperatura del hormigón t30	30,5			
Temperatura del hormigón t60	31,1	23,8		
Temperatura del hormigón t90	31,3	23,5	26,6	
Temperatura del hormigón t120	32,3	24	26,5	
Temperatura del hormigón t150	32,5	24	24,7	
Temperatura del hormigón t180	32,9	23,8	24,8	25,6
Temperatura del hormigón t210	33,9	24,3	27,1	
Temperatura del hormigón t24 horas	30	47	55	
Temperatura máxima hormigón a 3 ds	69	54	65	69
Prom Rcomp a 3 días		35,45	36,4	40,15
Prom Rcomp a 7 días		46,95	46,35	59,05
Prom Rcomp a 28 días		57,25	56,7	75,7



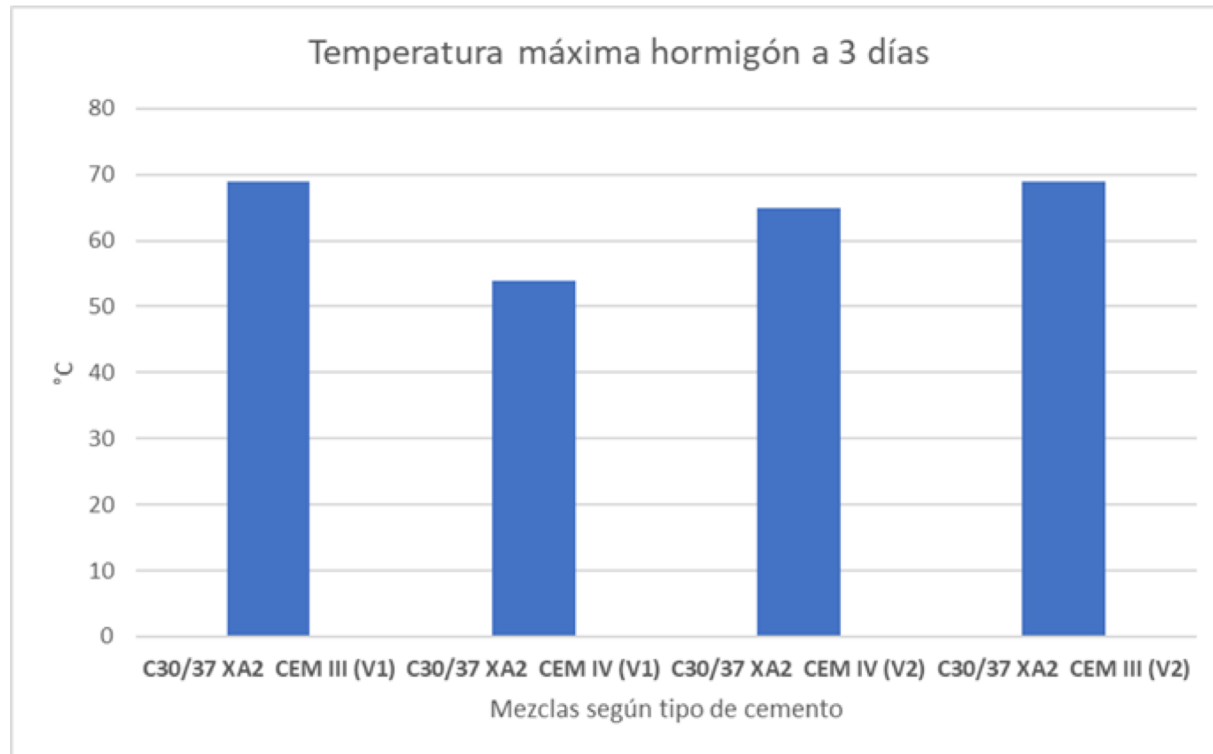
- ✓ En 4 horas de control, el tipo de cemento que genera menos variación del slump, es la mezcla C30/37 XA con CEM IV (V2), con un rango de 26-27 cm.
- ✓ Las otras mezclas tienen un rango un poco menor de 23-26 cm.
- ✓ Los valores de las 3 mezclas muestran que la evaporación del agua en el tiempo ha sido lenta y no generó mayores descensos de slump.



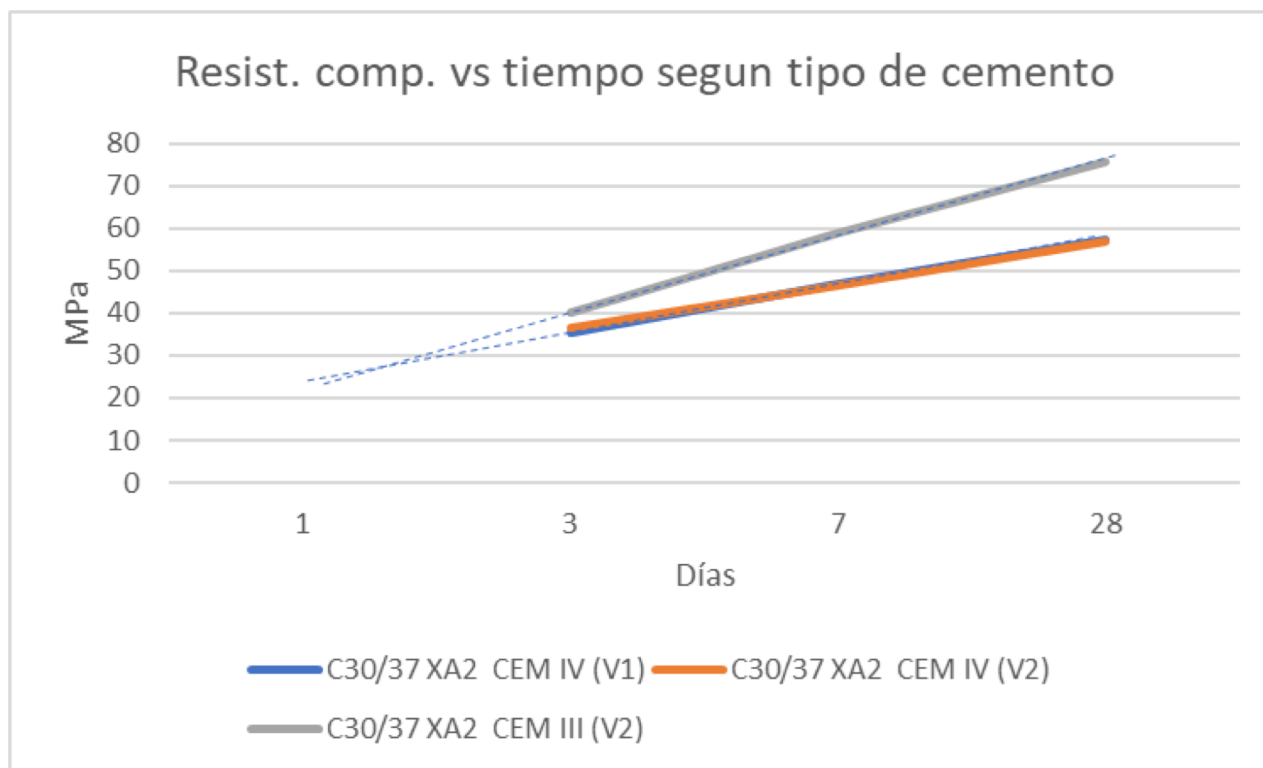
- ✓ La fluidez del hormigón en 4 horas de control mantiene la misma tendencia de descenso del slump,
- ✓ La mezcla C30/37 XA con CEM IV (V2) la que muestra menos variación en el tiempo.



- ✓ La temperatura del hormigón, en las mezclas C30/37 XA2 CEM IV (V1) y C30/37 XA2 CEM IV (V2), se mantiene con muy poca variación hasta 3,5 horas, sin embargo, aumenta hasta alcanzar 47 y 55°C, respectivamente.
- ✓ Lo más importante en este control es que, la mezcla **C30/37 XA2 CEM III (V1)**, aun cuando el rango de temperatura de 30 a 33,9°C es mayor en 7°C promedio, **mantiene la temperatura por sobre las 24 horas**, tiempo en el cual, el hormigón alcanza la resistencia mecánica suficiente para evitar el agrietamiento que es el objetivo principal cuando se trata de hormigón masivo, por lo tanto,
- ✓ La mezcla más indicada a usar es la que contiene cemento tipo III 32,5 con escoria de alto horno y bajo contenido de Clinker.



- ✓ El rango de los valores de temperatura a la edad de 3 días, para hormigón con distintos tipos de cemento, es de 54 a 69 °C.
- ✓ Estos valores de temperatura máxima son consecuentes con los valores reales de desarrollo de la resistencia a compresión a esta misma edad.
- ✓ **Indica que no hay riesgo de agrietamiento por aumento de temperatura, puesto que a 3 días la resistencia a compresión es superior a 30 MPa.**



- ✓ Los valores promedio de resistencia a compresión alcanzan la resistencia característica especificada a los 3 días.
- ✓ Extrapolando estos valores a 1 día se alcanza una resistencia a compresión **sobre los 20 MPa**, suficiente en hormigón masivo para resistir las tensiones generadas y con ello, minimizar el agrietamiento por el aumento de la temperatura y la evaporación de agua de las diferentes mezclas.

CONCLUSIONES DEL ESTUDIO REALIZADO EN GRECIA

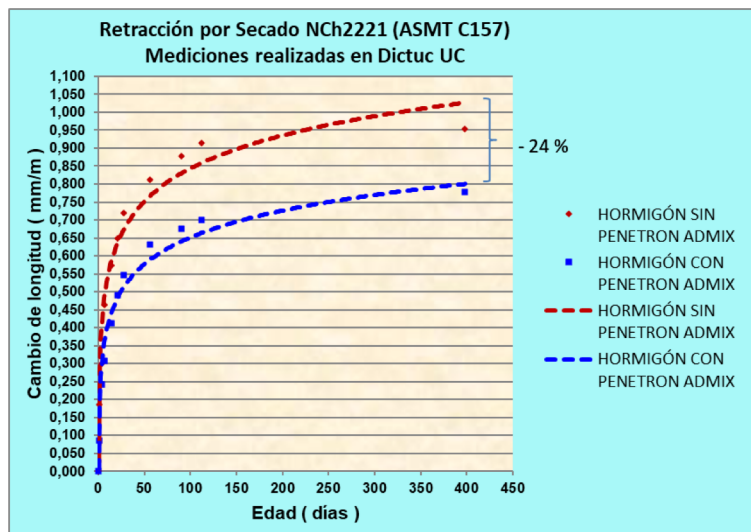
CONCLUSIONES DEL ESTUDIO:

- ✓ En hormigón masivo, los componentes que influyen en el desarrollo de temperatura son: *el tipo de cemento, ya que controla en mayor medida el desarrollo de temperatura del hormigón una vez colocado en la estructura, la dosis de cemento y el control y protección de la estructura de hormigón para evitar la pérdida de humedad y enfriamiento abrupto.*
- ✓ El aditivo impermeabilizante por cristalización Penetron Admix *no tiene influencia* en el desarrollo de la temperatura del hormigón, sin embargo, es conocido que la formación de cristales de este aditivo en los capilares, poros y fisuras de la masa del hormigón *proporciona evaporación gradual del agua.*
- ✓ Todos los parámetros controlados en el estudio de los hormigones con Penetron Admix, con distintos tipos de cemento, muestran que *Penetron Admix WT no produce ninguna alteración en los valores obtenidos.*
- ✓ La dosis de Penetron Admix de 0,8% del peso del cemento *no altera ningún parámetro medido en hormigones con cementos con adiciones de escoria y de puzolana natural.*
- ✓ En cuanto a temperatura del hormigón y ambiente de exposición, el hormigón diseñado con *cemento Tipo III 32,5 XA2 (Ambiente de una moderada agresividad química), cemento de alta resistencia inicial, es el más adecuado* para hormigón masivo en ambientes agresivos.

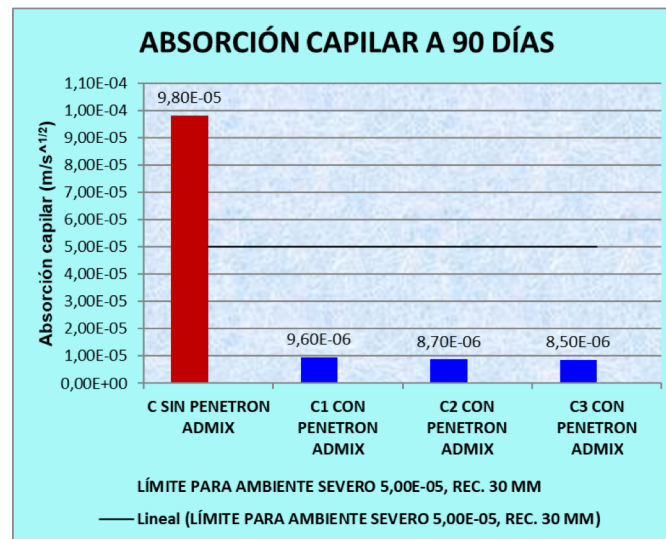
***INFLUENCIA DE PENETRON ADMIX EN OTRAS
PROPIEDADES DE DURABILIDAD DEL HORMIGÓN
MASIVO Y CONVENCIONAL***

- ✓ Si la estructura de hormigón se encuentra emplazada en zonas donde existe ataque de ambiente agresivo, como alta humedad, napas, baja temperatura ambiente, cloruros y sulfatos, entre otros, existe respaldo de ensayos realizados con cementos y agregados chilenos y Penetron Admix que nos indican que:

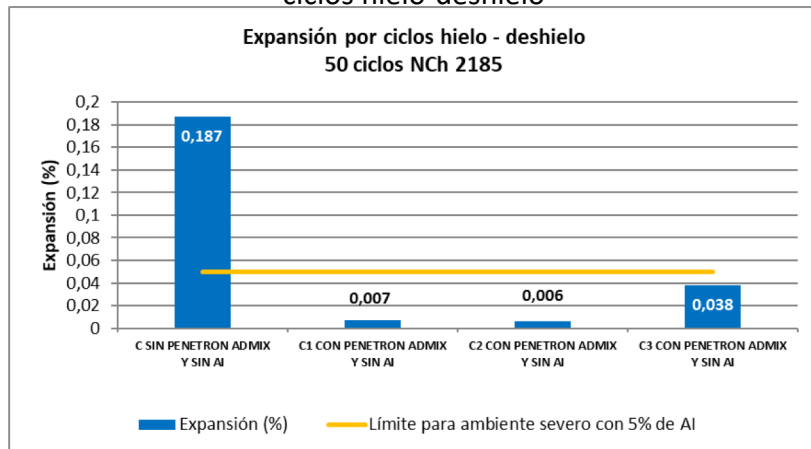
Retracción por secado **24% menor** medida a 1 año muy importante en Hormigón Masivo



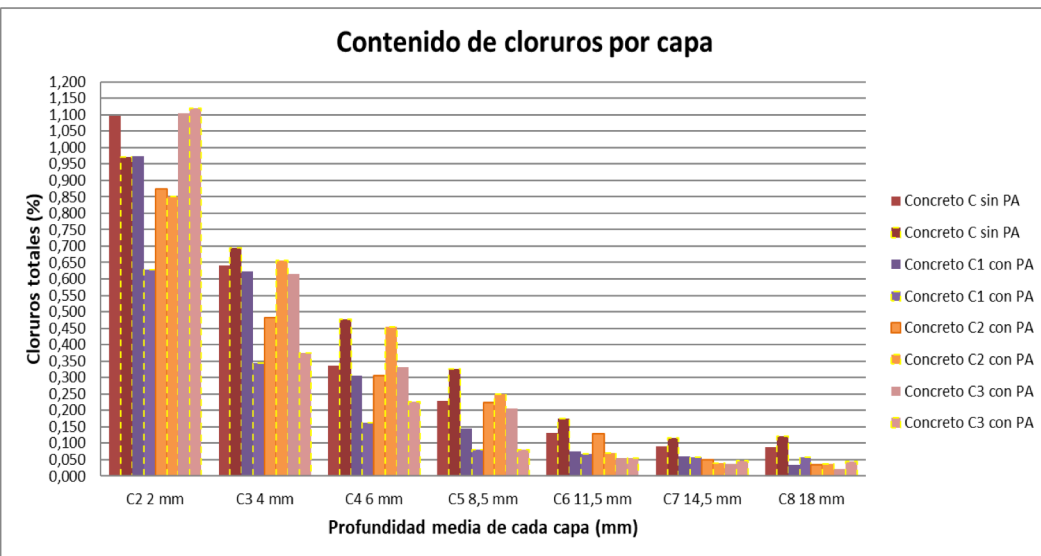
Absorción Capilar **10 veces menor** ASTM C1585



10 a 20 veces más de resistencia a la expansión por ciclos hielo-deshielo

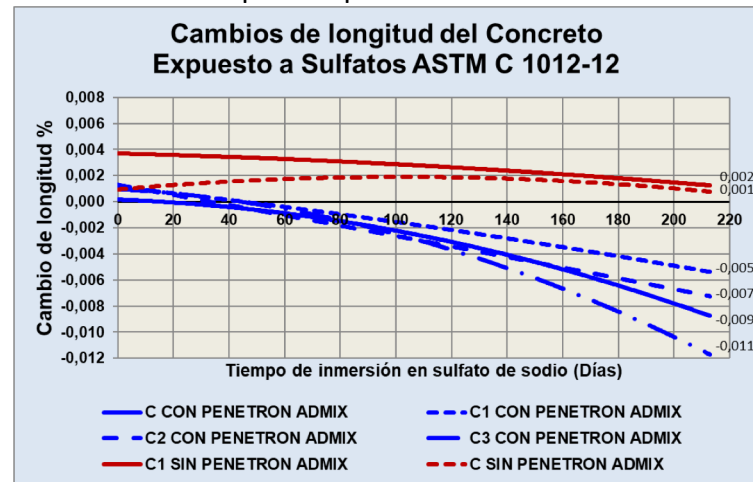


Contenido de ión cloruro por capas **tiende a cero** antes de llegar al acero de refuerzo.



INFLUENCIA DE PENETRON ADMIX EN OTRAS PROPIEDADES DE DURABILIDAD DEL HORMIGON

No presenta cambios de longitud (expansión) por ataque de sulfatos



Aumenta 60 años la vida útil mediante proyección por difusión de Cloruros (2da Ley de Fick)

