



**ICH**  
Instituto del Cemento y  
del Hormigón de Chile

# APROCEM

## Hormigones Masivos



21 y 22 de Julio 2009

# Primera parte



# ACI207-NCh170

Primero analicemos algunas diferencias entre dos de las definiciones más usuales en Chile:

## ACI207

“Cualquier gran volumen de hormigón con dimensiones suficientemente grandes que requieran medidas para enfrentar la generación de calor y para controlar los cambios de volumen, a fin de minimizar el agrietamiento”

...permite, e invita, a aplicar ingeniería...

## NCh170

“Elementos cuyas menor dimensión exceda de 0,80 m”

...sólo permite ejecutar...

# ACI207 y 305-NCh170

...más diferencias conceptuales...

## ACI207.2R-07

### 4.4—Placement temperature

Concrete placement temperatures can be estimated to be approximately equal to or a few degrees higher than the mean monthly ambient temperature. Specifications usually limit the maximum and minimum placing temperatures of concrete for normal and extreme placement conditions.

For hot weather conditions, ACI 305R recommends limiting the initial concrete placement temperature to a maximum of 75 to 100 °F (24 and 38 °C), depending on the

## ACI305R-99

### 2.3—Ambient conditions

2.3.1 In the more general types of hot weather construction (as defined in Section 1.2), it is impractical to recommend a maximum ambient or concrete temperature because the humidity and wind speed may be low, permitting higher ambient and concrete temperatures. A maximum ambient or concrete temperature that will serve a specific case may be unrealistic in others. Accordingly, the committee can only provide information about the effects of higher temperatures in concrete as mentioned in Sections 1.3 and 2.2.1, and advise that at some temperature between approximately 75 and 100 F (24 and 38 C) there is a limit that will be found to be most favorable for best results in each hot weather operation, and such a limit should be determined for the work.

## NCh170

10.3.8 En el momento de colocación, deben cumplirse las siguientes condiciones de temperatura:

- la temperatura del hormigón debe ser menor que 35°C en elementos corrientes y menor que 16°C en elementos cuya menor dimensión exceda de 0,80 m;

...limitante y rígida...¿o no?

# DESAFÍO...Ingeniería

Dado que nuestra preocupación es la de ofrecer un buen hormigón, y que su aplicación sea la más adecuada, exitosa y económica, queremos compartir con las demás etapas del proyecto algunos antecedentes y, así, en conjunto, encontrar siempre las mejores soluciones:

## Temperatura hormigón fresco

### Métodos de enfriamiento

### Temperatura núcleo

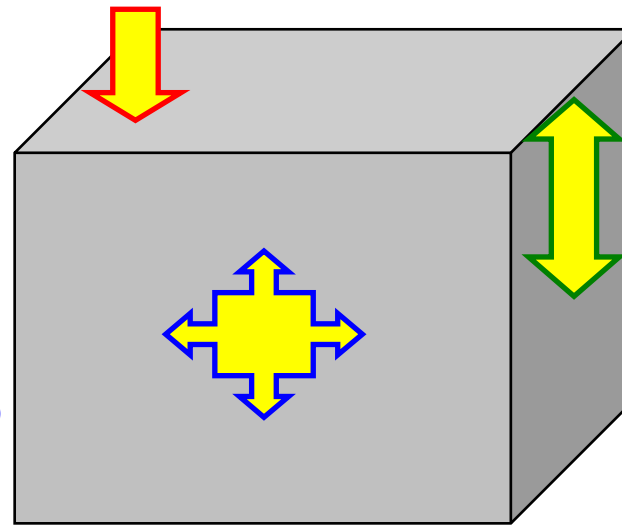
Colocación

Dimensiones del elemento

Docilidad y tamaño máximo del agregado

Altas dosis de cemento por bajas A/C

Calor de hidratación



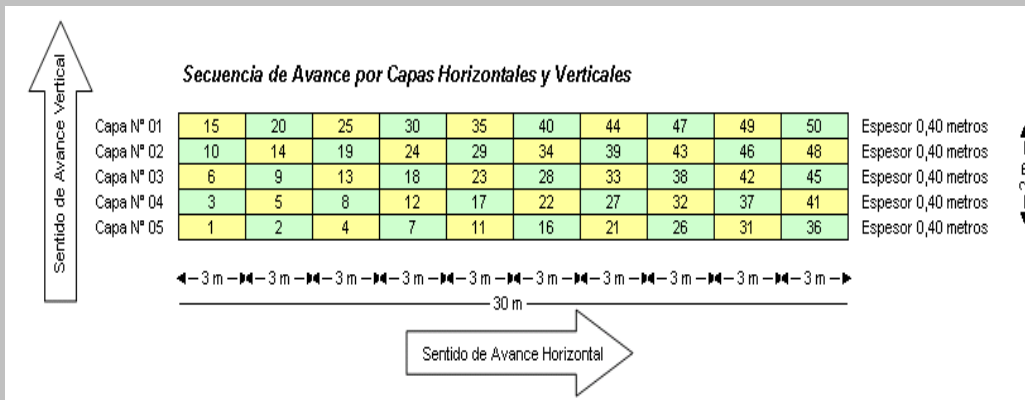
Diferencia núcleo-superficie

Protecciones y plazos

**Todos estos aspectos demuestran la necesidad de una interacción multidisciplinaria entre todas las etapas de materialización de un proyecto...**

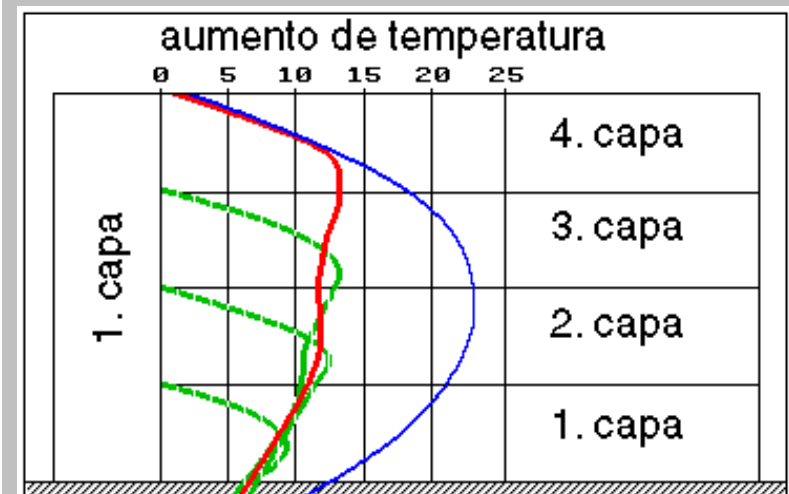
# COLOCACIÓN

Capas escalonadas (espesor 40 cm) con avance a lo ancho y luego a lo largo del elemento, a velocidad que permita potenciar la pérdida de calor y evitar juntas frías



El diseño del hormigón puede aportar mediante el retardo de fraguado necesario para unir adecuadamente cada capa

Capas consecutivas y/o partición del elemento, de forma tal que cada una sea capaz de perder calor en forma previa a recibir la siguiente



# PROTECCIONES Y PLAZOS

La solución al problema no es limitar la elevación de temperatura en el interior sino más bien evitar la pérdida de calor en la superficie. Así, la masa entera de concreto se deja ca-

Properties  
of Concrete

A. M. Neville

Fourth Edition

¿Cuánto proteger?



¿No será mucho...no será poco?

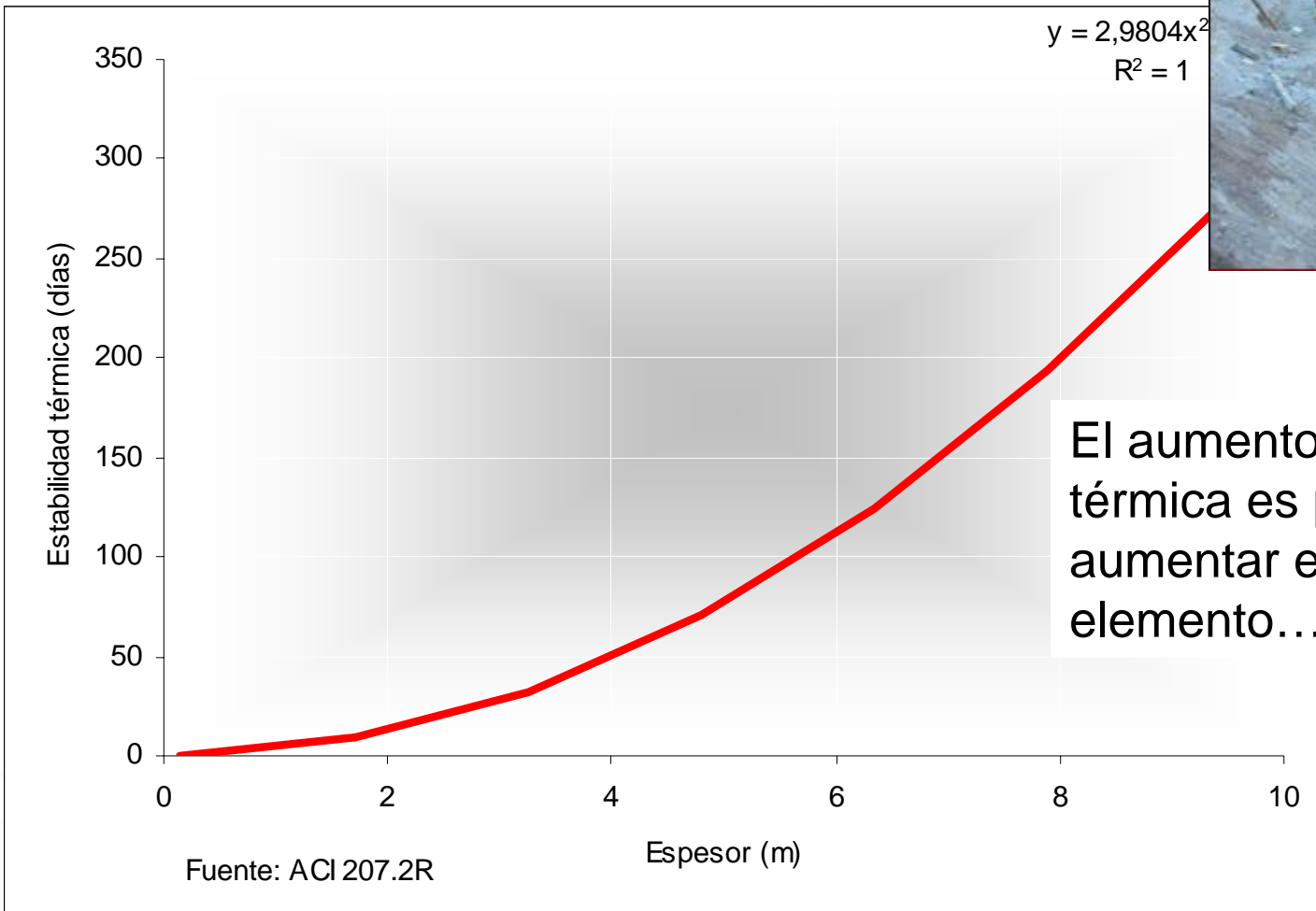


¿peligroso?

# PROTECCIONES Y PLAZOS



$$y = 2,9804x^2$$
$$R^2 = 1$$



El aumento de la protección térmica es proporcional a aumentar el espesor del elemento...

Es necesario aplicar protecciones que permitan controlar las diferencias admisibles de temperaturas. Pero si no se aprovechan las resistencias, se puede llegar a plazos excesivos...

# PROTECCIONES Y PLAZOS

Estamos acostumbrados a los 20 o 25°C como diferencial admisible. Sin embargo, la evaluación de un caso específico invita a mejorar la estimación del gradiente admisible del caso en interés y, así, del plazo óptimo de protección

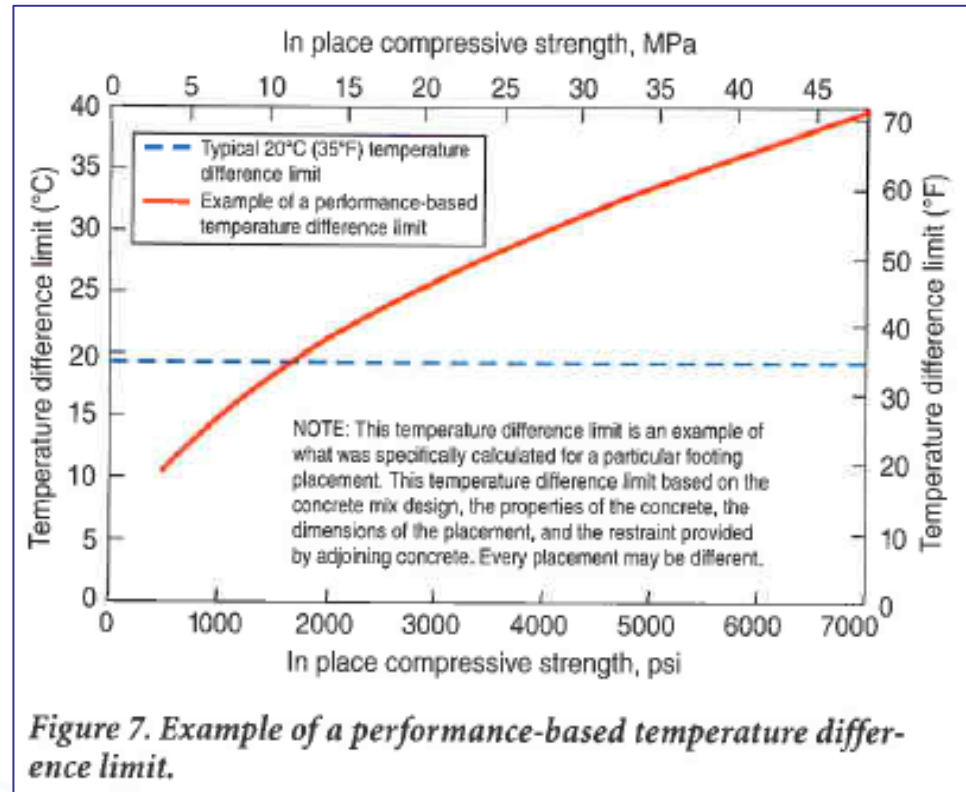
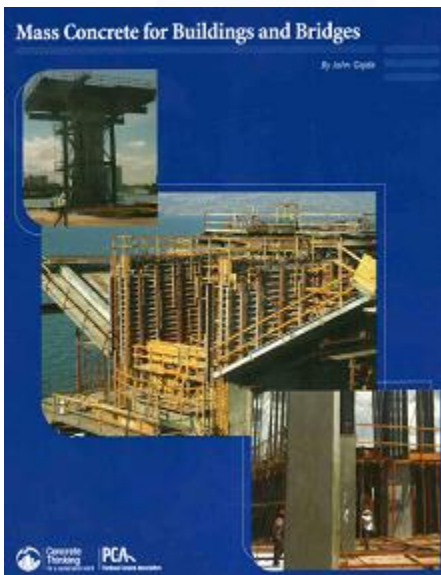


Figure 7. Example of a performance-based temperature difference limit.

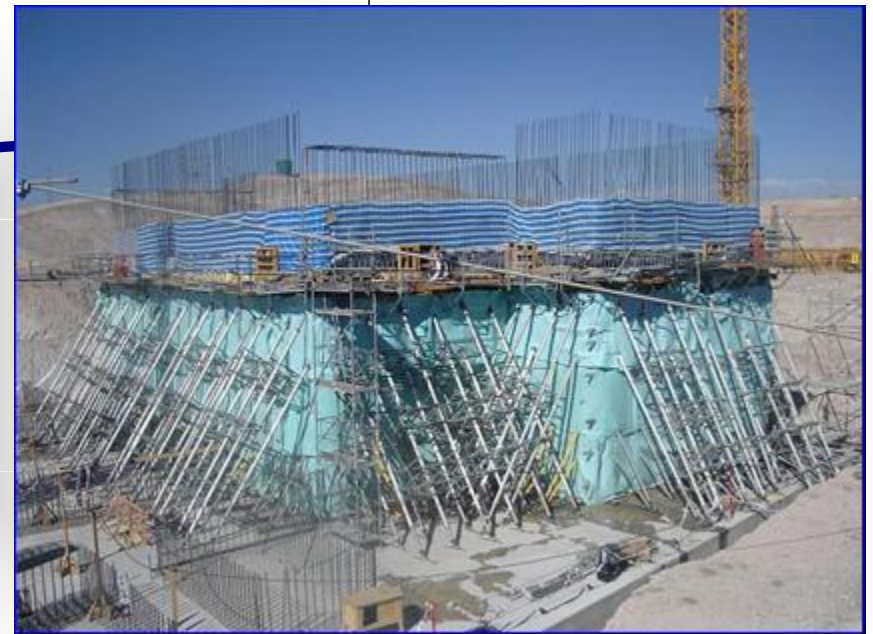
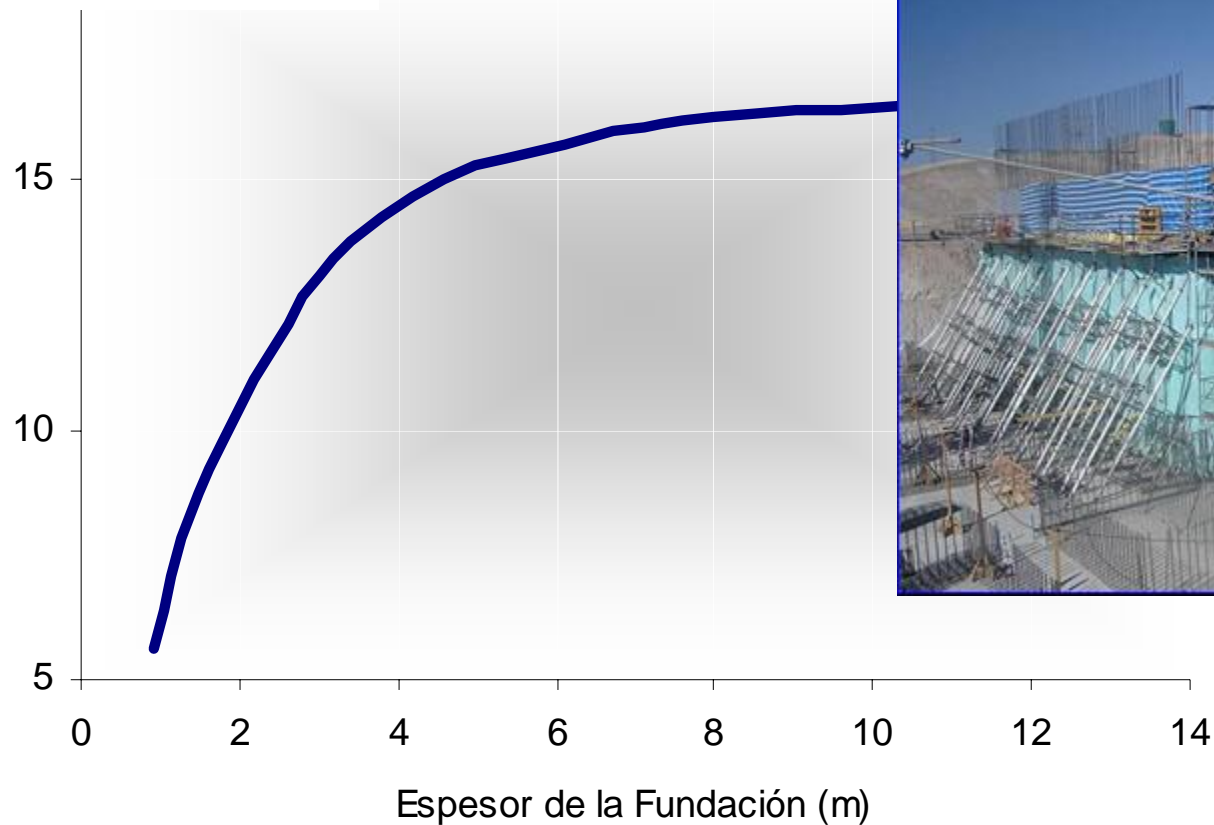
Estamos acostumbrados a diseñar con resistencias a 28 días, ¿ se solicitará el elemento realmente a esa edad ?



# DIMENSIONES...

Recordemos que los incrementos de temperatura, por sobre la temperatura del hormigón fresco, son más importantes mientras mayores son las dimensiones de la estructura...**quizás se debe contemplar serpentines enfriadores u otros...**

Incremento de Temperatura  
(°C / 100 kg cemento Tipo II)



Fuente: ACI207

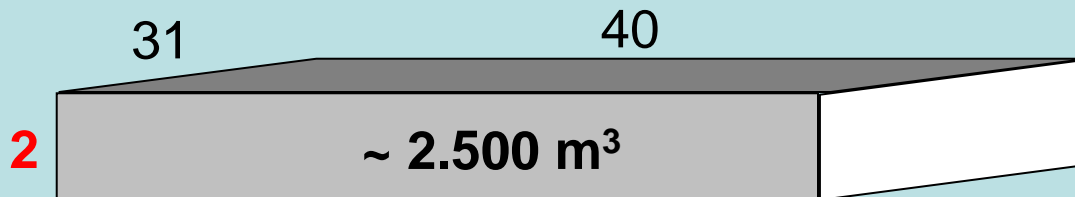
# Segunda parte



# ...VEAMOS UN CASO REAL

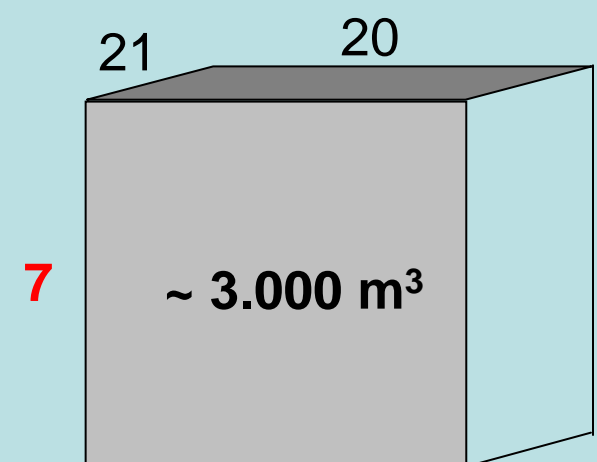
Se solicita un H40 ( $A/C=0,40$ ), que deriva en  $480 \text{ kg/m}^3$  de cemento AR, para 2 fundaciones cuyas diferencias son sólo sus dimensiones. Analicemos los incrementos de temperaturas de los núcleos para cada una utilizando el ACI207 recién visto:

## Fundación 01



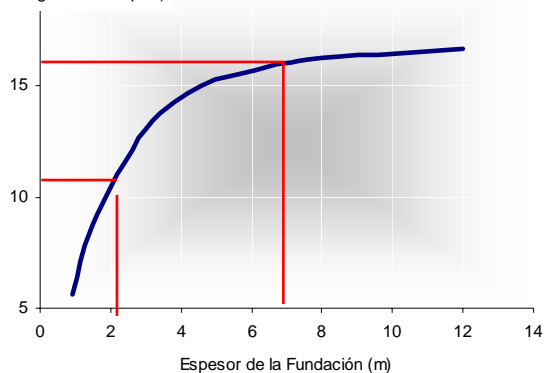
Incremento estimado de temperatura en el núcleo, por sobre la temperatura del hormigón fresco =  $11 \times 4,80 = 53^\circ\text{C}$

## Fundación 02



Incremento estimado de temperatura en el núcleo, por sobre la temperatura del hormigón fresco =  $16 \times 4,80 = 77^\circ\text{C}$

Incremento de Temperatura  
( $^\circ\text{C} / 100 \text{ kg cemento Tipo II}$ )

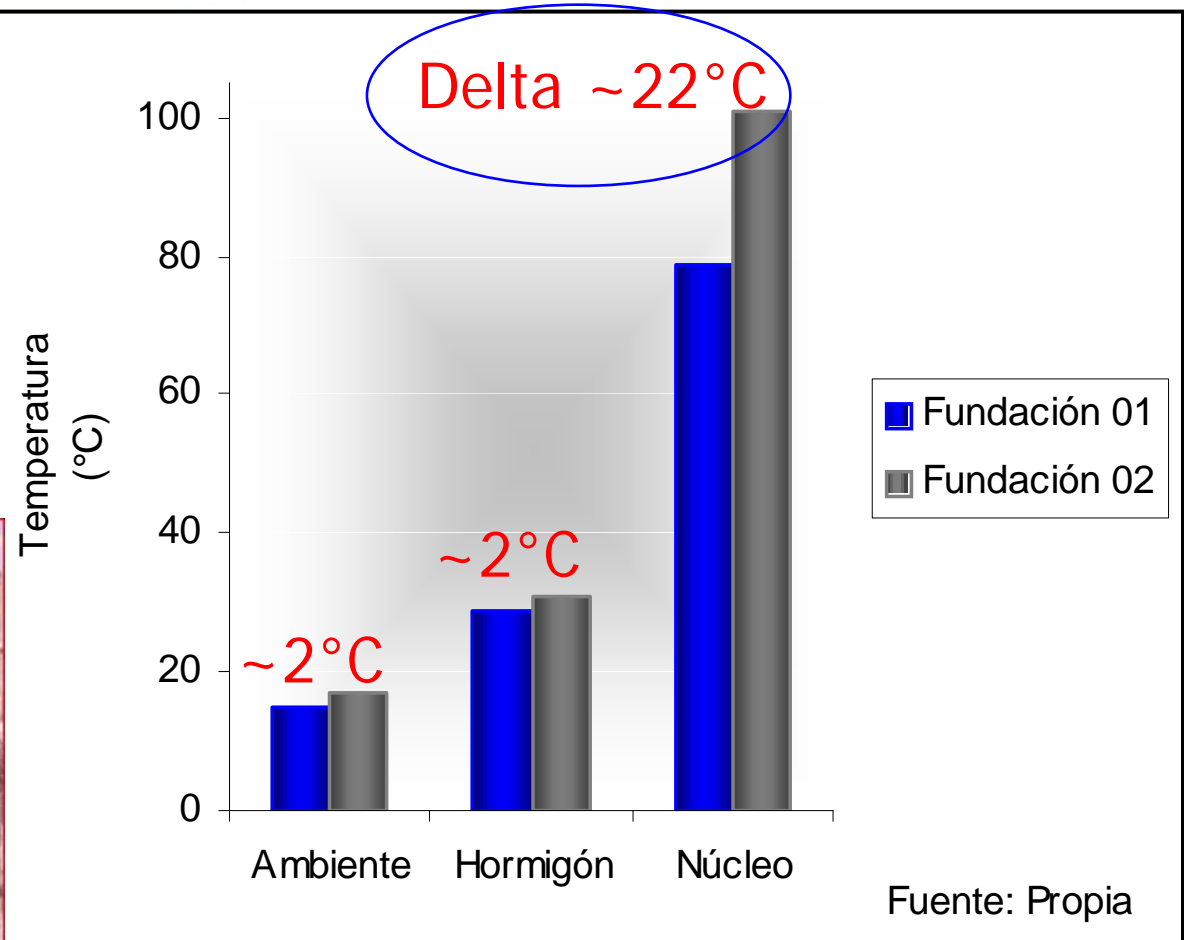


Fuente: ACI207

$77 - 53 = 24^\circ\text{C}$  es lo que se debiera esperar como diferencia de los incrementos de temperatura en los núcleos de ambas fundaciones, por sobre la temperatura del hormigón fresco, ...veamos lo que sucedió en la realidad...

# ...VEAMOS UN CASO REAL

...la diferencia real del incremento de la temperatura en los núcleos fue de  $22^{\circ}\text{C}$ , similar a la estimación del ACI207...¿usémosla?



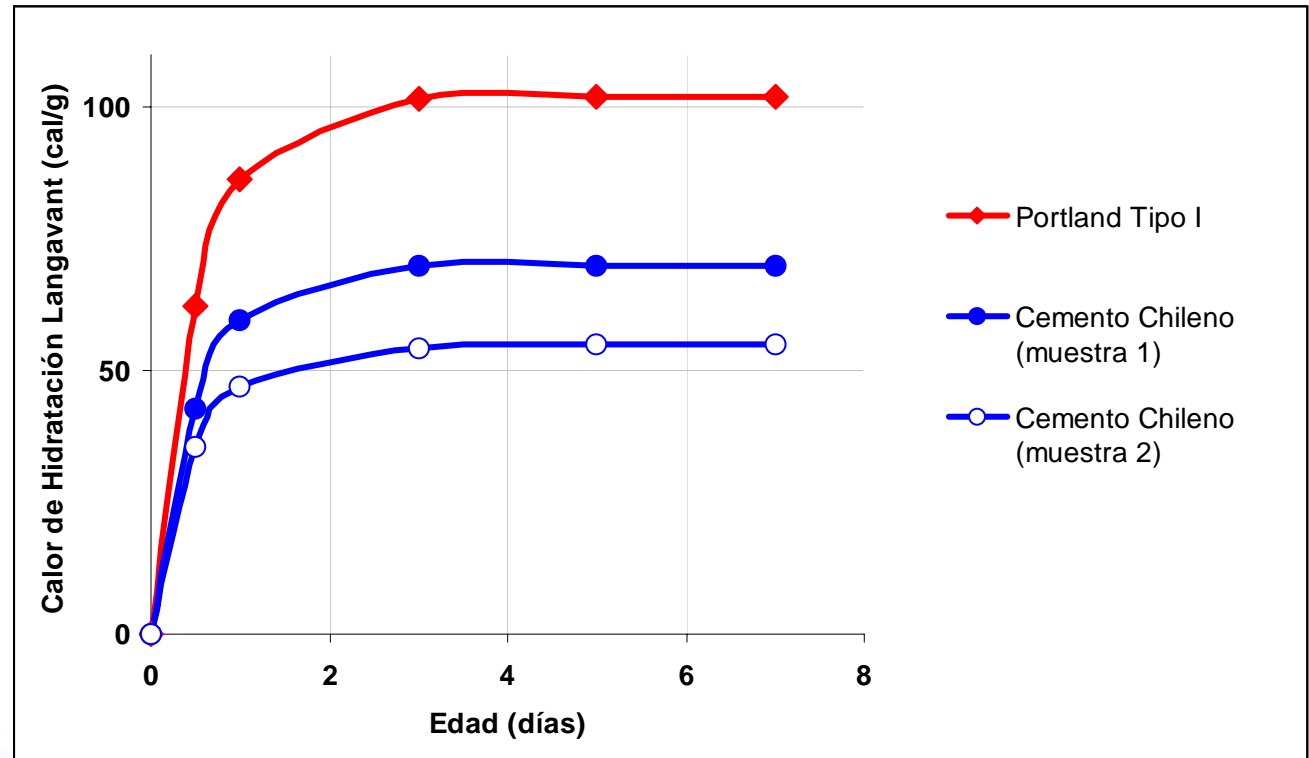
La diferencia del incremento de la temperatura en los núcleos fue de 10 veces más que la diferencia de las temperaturas ambiente y hormigón fresco

# CALOR DE HIDRATACIÓN

Aportes de la industria nacional...

Cementos de bajo calor de hidratación... muy importante cuando se especifica A/C

(en vez de hacerlo por comportamiento)



**Otros aportes:**

**MENOR DOSIS POSIBLE DE CEMENTO**

Menor asentamiento de cono

Mayor tamaño máximo de árido

# DOCILIDAD Y TAMAÑO MÁXIMO

## ADECUANDO LA DENSIDAD DE LAS ARMADURAS

se disminuye la docilidad necesaria, menos agua  
...se podría disminuir unos 4°C el incremento en el núcleo

en vez de 20 mm se puede usar 40 mm en el tamaño máximo del agregado (mayores tamaños complican la colocación)  
...se podrían disminuir unos 3°C en la temperatura máxima

**Pero, si se liberara la razón A/C...optando por ACI318,**  
(Durabilidad: resistencia consecuente, aplicar protecciones del elemento y/o aumentar recubrimiento de la armadura) **la situación sería muy distinta, y favorable, para disminuir los incrementos de temperaturas...veamos un caso real**

# ALTA DOSIS DE CEMENTO

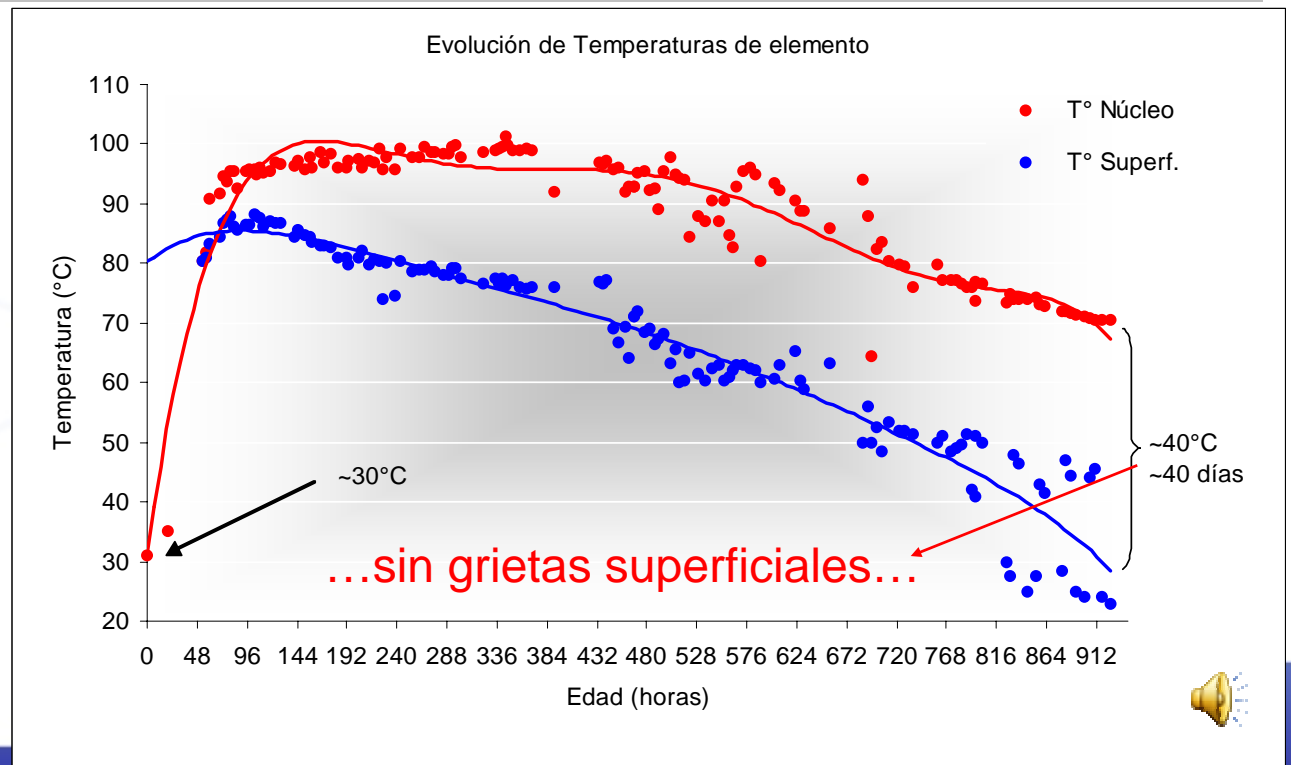
Especificación de H40, H30 e, incluso, H20, todos con A/C = 0,40... todos bombeables y con 20 mm de tamaño máximo...

Dimensión mínima del elemento 7 m...

Durabilidad → Baja A/C → Alta dosis de C  
0,40 → 480 kg/m<sup>3</sup>

4,80 kg/m<sup>3</sup> x 16 = 77 °C ... + T<sub>H. Fresco</sub>... ya muy alta temperatura

Esgrimiendo razones de durabilidad, se exigen bajas A/C... pudiendo establecerse dosis mínimas (no tan altas) y comportamientos de permeabilidad, con las consecuentes ventajas térmicas...



# ALTA DOSIS DE CEMENTO

Proposición...

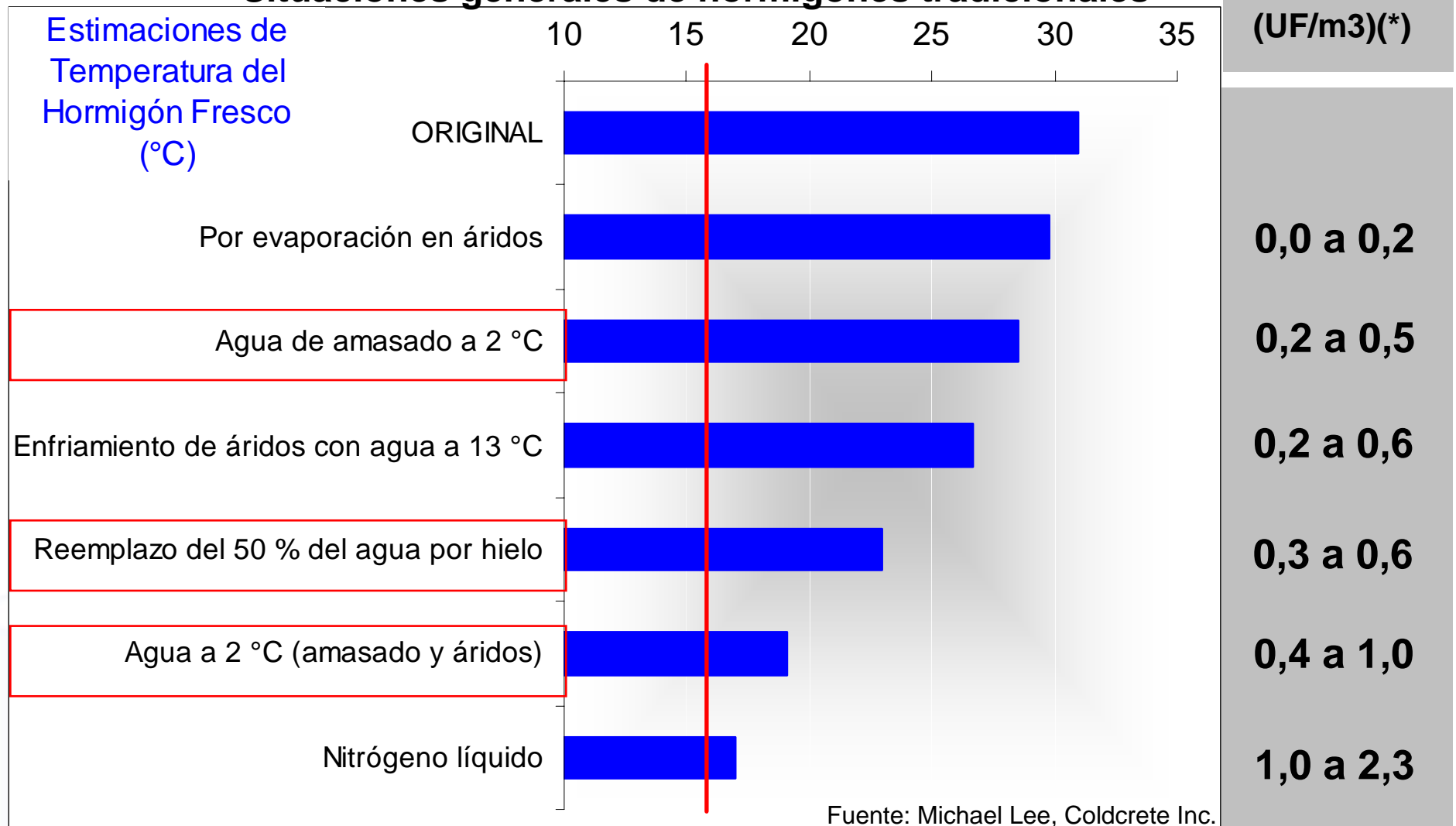
Razón A/C	Dosis (kg/m <sup>3</sup> )	Compresión (MPa)	Penetración de agua (mm)	Notas
<b>0,40</b> (20 mm y bombeable)	<b>480</b>	<b>52</b>	<b>15</b>	Original
Exigencia de resistencia (20 mm y bombeable)	<b>385</b>	<b>57</b>	<b>15</b>	Proposición

Liberando la razón A/C (la cual no es medible, ACI318), la temperatura del hormigón fresco y evaluando por comportamiento, con creatividad y aditivos de última generación, se logra **menor desarrollo de temperatura esperado de  $0,95 \times 16 = 15 \text{ }^\circ\text{C}$**

...similar comportamiento de permeabilidad...superando la resistencia para un H40 (demostrando que aún es posible aumentar la razón A/C)...**se puede optar a menor temperatura en el núcleo...¿considerémoslo?**

# MÉTODOS DE ENFRIAMIENTO

## Situaciones generales de hormigones tradicionales



(\*): valores muy variables y dependientes de las condiciones de borde del proyecto

# MÉTODOS DE ENFRIAMIENTO

## Por ejemplo, caso del Hielo

**Baja A/C**...poca agua (pues mucho cemento = alta temperatura en núcleo), queda poco para reemplazar... ~50% (más complica buen mezclado)...por humedad de los agregados quedan unos 80 litros de agua libre...~40 kilos de hielo... necesitamos unos 8 kg para bajar 1°C (incluso aprovechando la fusión)...**baja unos 5°C**

...similar para el caso de reemplazar agua fría...es decir, existe una **incongruencia entre baja A/C, baja temperatura del hormigón fresco y baja generación de temperatura en el núcleo...**

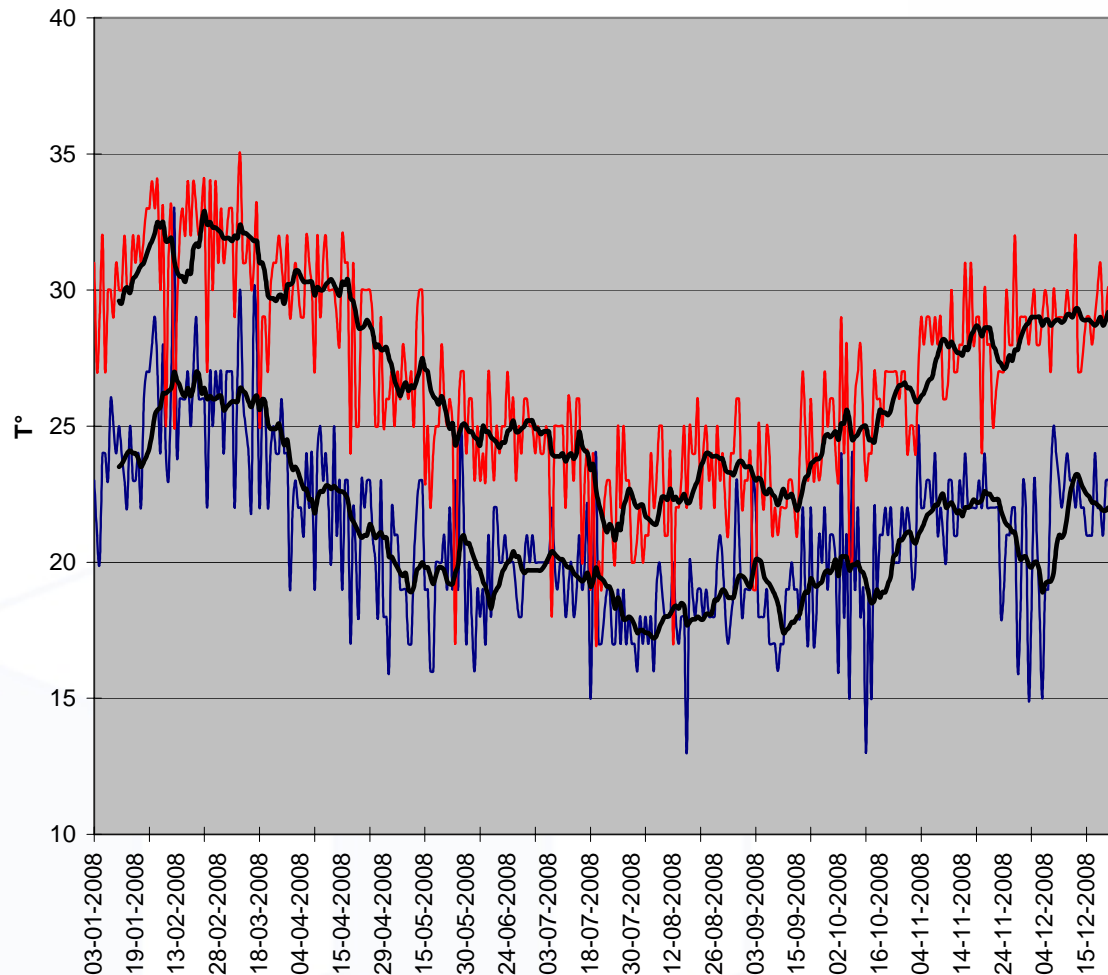


**Además baja, en forma importante, la productividad del suministro de hormigón por la etapa adicional de pesar el hielo en escamas y esperar unos minutos para asegurar su completo derretimiento en la masa del hormigón...**

# MÉTODOS DE ENFRIAMIENTO

Litoral norte

Temperatura Planta Litoral Norte 2008



**Desierto más seco del mundo...**

**¿qué hay de las tolerancias o métodos estadísticos de medición?...máximo implica una media aún menor...**

**¿hormigonados nocturnos y/o en épocas frías?**

— T.Ambiente  
— T.Hormigón  
— 10 per. media móvil (T.Hormigón)  
— 10 per. media móvil (T.Ambiente)

**En cordillera la humedad es aún más baja, aunque la temperatura también...**

Es más complejo bajar la temperatura

Más caro optar al hielo...

# MÉTODOS DE ENFRIAMIENTO

RM en época de verano y jornada diurna...

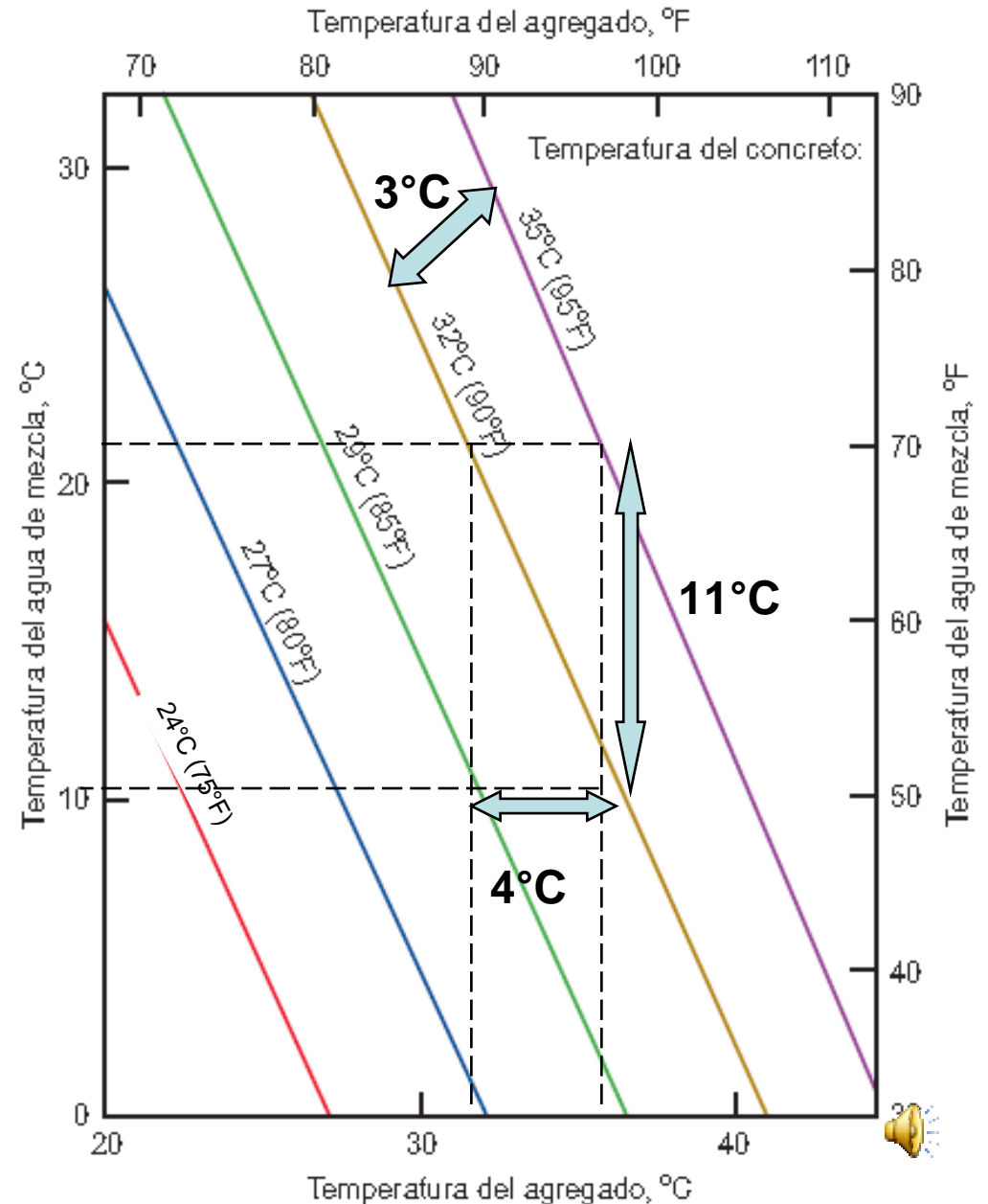
Para bajar 3°C la Temperatura del Hormigón se necesita:

**Enfriar el Agua: 11°C**

Uso de Hielo ( Aprox 60 kg/m<sup>3</sup>)  
Volumen de Hormigón: 1400 m<sup>3</sup>  
Hielo a usar: 85.000 kg

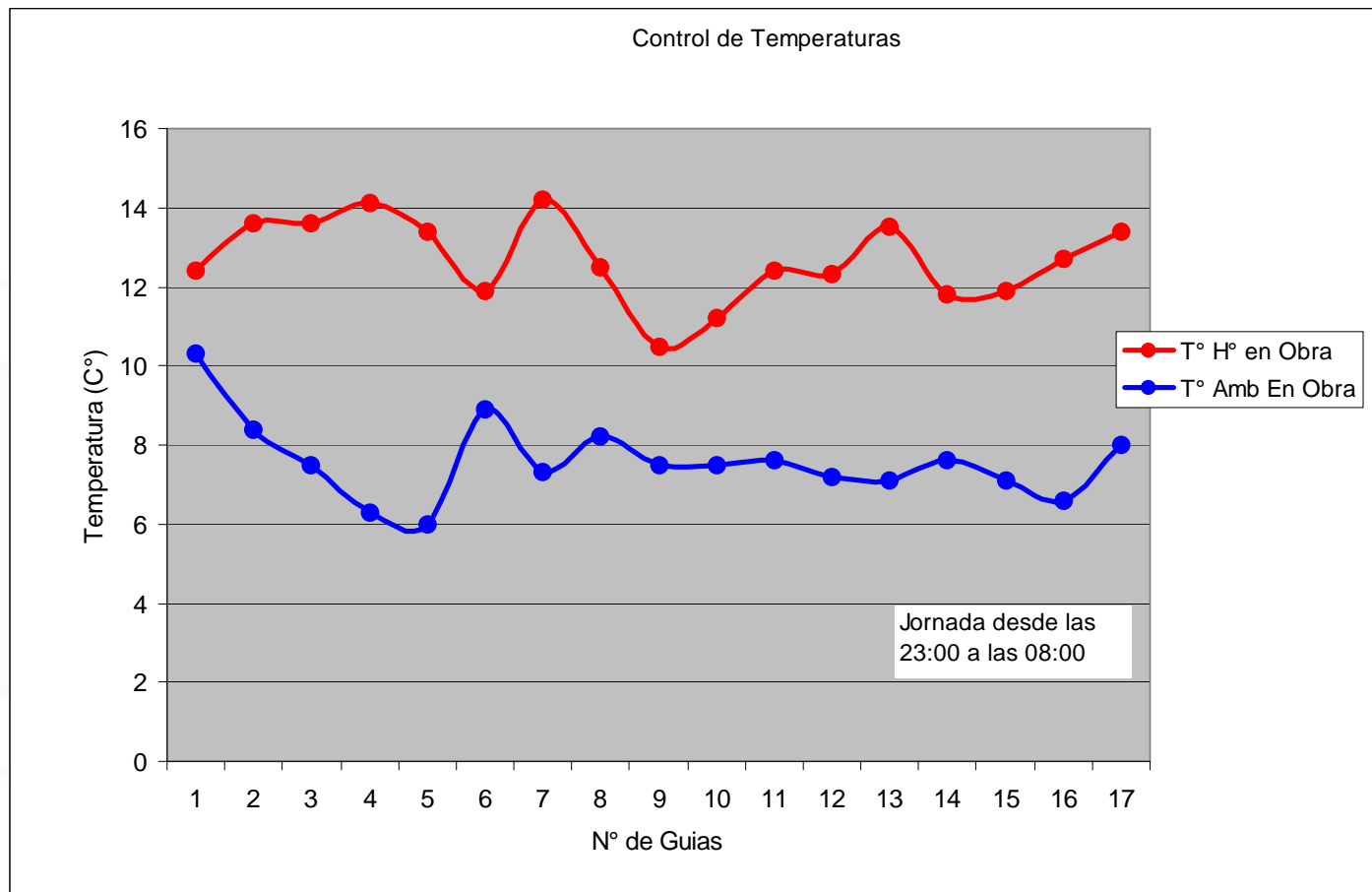
**Enfriar los Áridos: 4°C**

Sombrear acopios  
Riego de acopios



# MÉTODOS DE ENFRIAMIENTO

Litoral centro-sur en época invernal y en jornada nocturna...



La temperatura ambiente es relevante en la temperatura del hormigón...

# CONSIDERACIONES FINALES

Es necesario **corregir NCh170** homologando ACI

La **resistencia mecánica, las dimensiones de los elementos**, son importantes de tener en cuenta para establecer diferenciales térmicos admisibles y los plazos de protección adecuados

**Bajas razones de A/C hacen aumentar las temperaturas del núcleo** e impiden enfriamientos efectivos (aparte de ser inconsecuentes con las resistencias especificadas ni factibles de medir, ACI318)

Fijar la **temperatura del hormigón fresco** no es la única herramienta posible de utilizar, debiendo abordarse el tema en conjunto entre todas las partes involucradas en el desarrollo del proyecto (Especificadores, Constructores y Suministradores de Hormigón...**así optaremos a proyectos más eficientes y económicos, sin asignar restricciones costosas no siempre necesarias...**



= \$\$\$\$

Gracias....