

Colocando altos volúmenes de concreto

Paula Andrea López Sánchez
plopez@corona.com.co

HECHOS EN
CONCRETO

ALION
CEMENTOS MOLINO corona

Aliado
CÁMARA COLOMBIANA
DE LA INFRAESTRUCTURA
SECCIONAL ANTIOQUIA

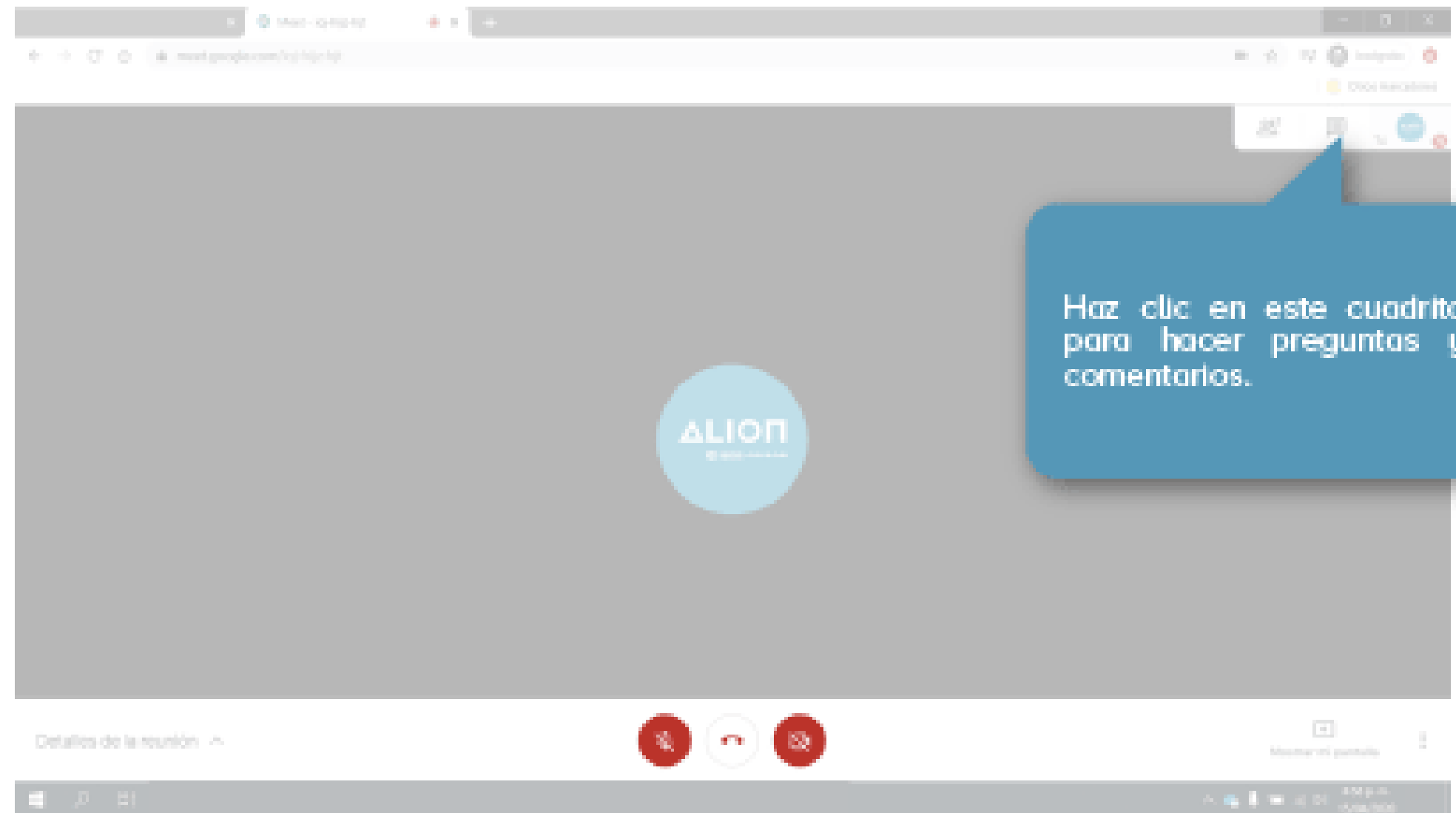
Marca invitada
FORTACRET®

Si estás desde tu celular



Haz clic en este cuadrado si necesitas hacer alguna pregunta o comentario.

Si estás desde tu computador



Haz clic en este cuadrado para hacer preguntas y comentarios.

Margarita Yepes CCI ANTIOQUIA

Juan Fernando Arango Londoño

Paula Andrea Lopez Sanchez

Natalia Castaño CCI ANTIOQUIA

AIM - Carlos Eduardo Arredondo

Martha Galvis- ALION

Hechos en Concreto: Coloc...

Personas (9) Chat

Agregar personas

- C Cementos ALIÓN (Tú)
- A AIM - Carlos Eduardo Ar...**
- 📌 🔇 ⌵
- Fijar en la pantalla
- Juan Fernando Arango Londoño
- Laura Lopera-Alion
- M Margarita Yepes CCI ANTIOQU...
- M Martha Galvis- ALION
- N Natalia Castaño CCI ANTIOQUIA
- Paula Andrea Lopez Sanchez
- t tatiana pardo



Hechos en Concreto: Colocando altos ... ^

🔇 📞 🗑️

Presentar ahora ⋮

Contenido

1. Introducción y definiciones
2. Características térmicas del Concreto
3. Métodos de estimación de incremento de temperatura
4. Especificaciones técnicas aplicables a concretos masivos
5. Mitigando el calor de hidratación
6. Colocación: el “antes”, “durante” y el “después”

1. Introducción y definiciones



ACI116R: Es un volumen de concreto con dimensiones lo suficientemente grandes para requerir que se tomen medidas particulares a fin de manejar la generación de calor, de hidratación del cemento y los consecuentes cambios volumétricos y, así, minimizar el agrietamiento.

1. Introducción y definiciones

¿A partir de qué volumen se debe controlar?



Terra Armada

DOT (Florida) considera concretos masivos si:
1. La dimensión mínima es de 1m.
2. La relación $v/s > 0,30$.

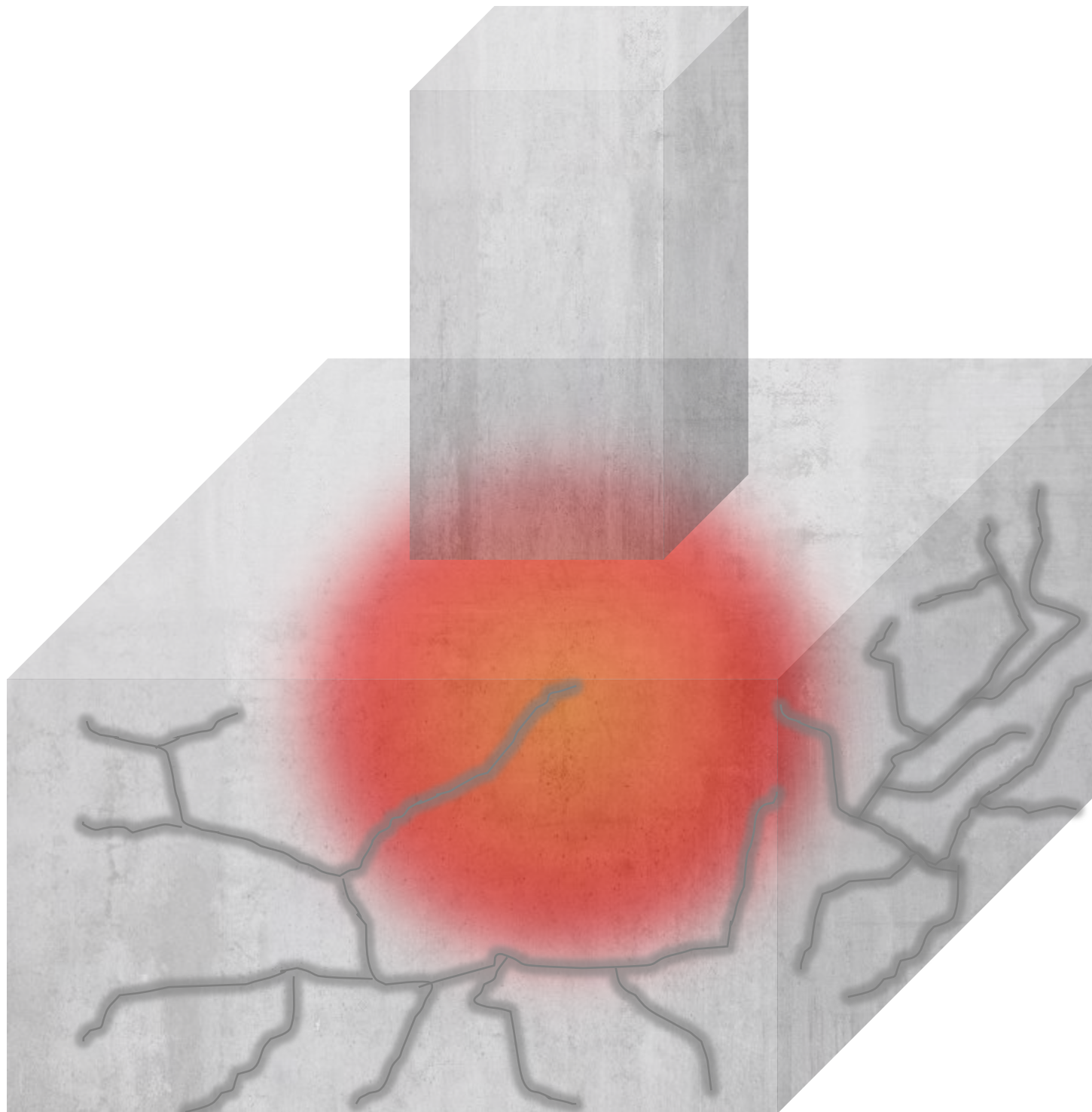


Santiago USA

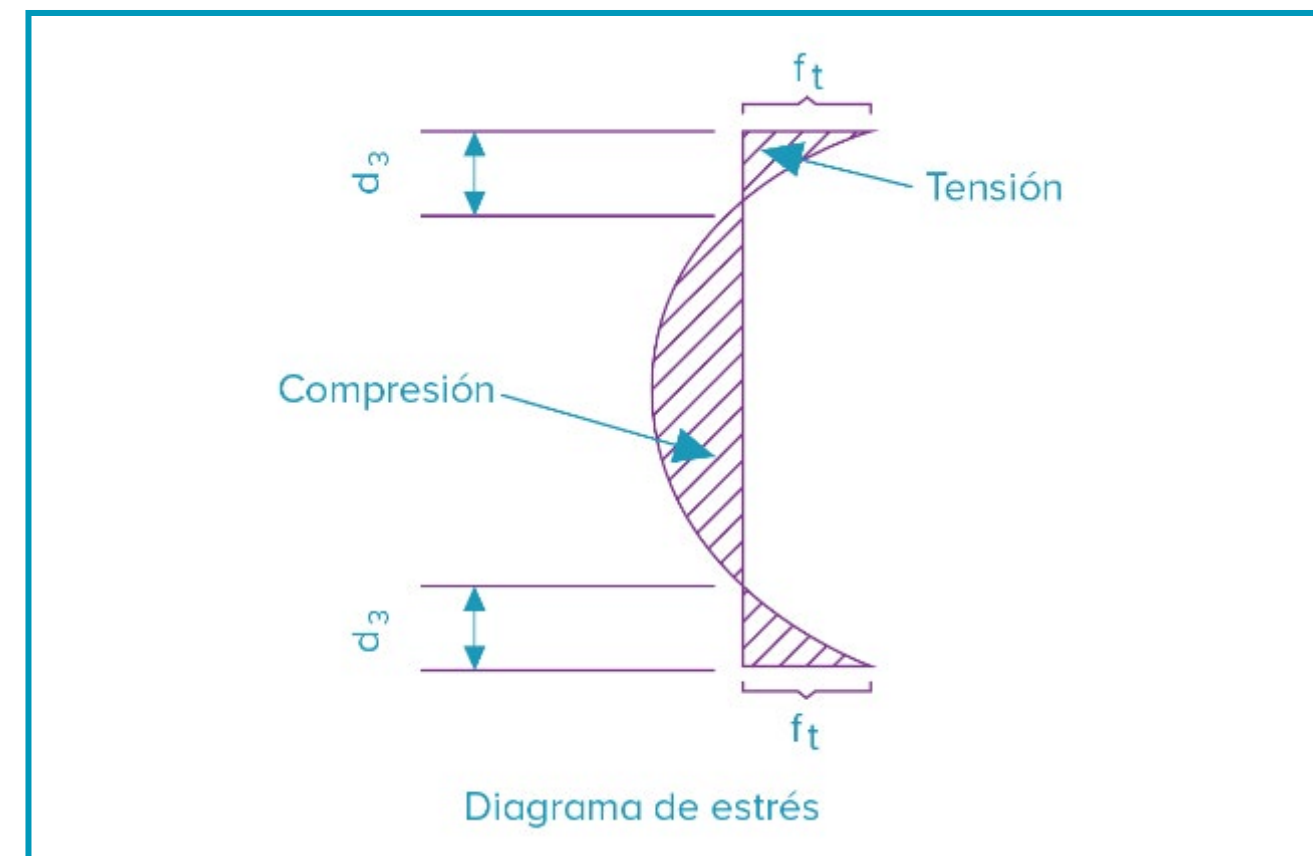
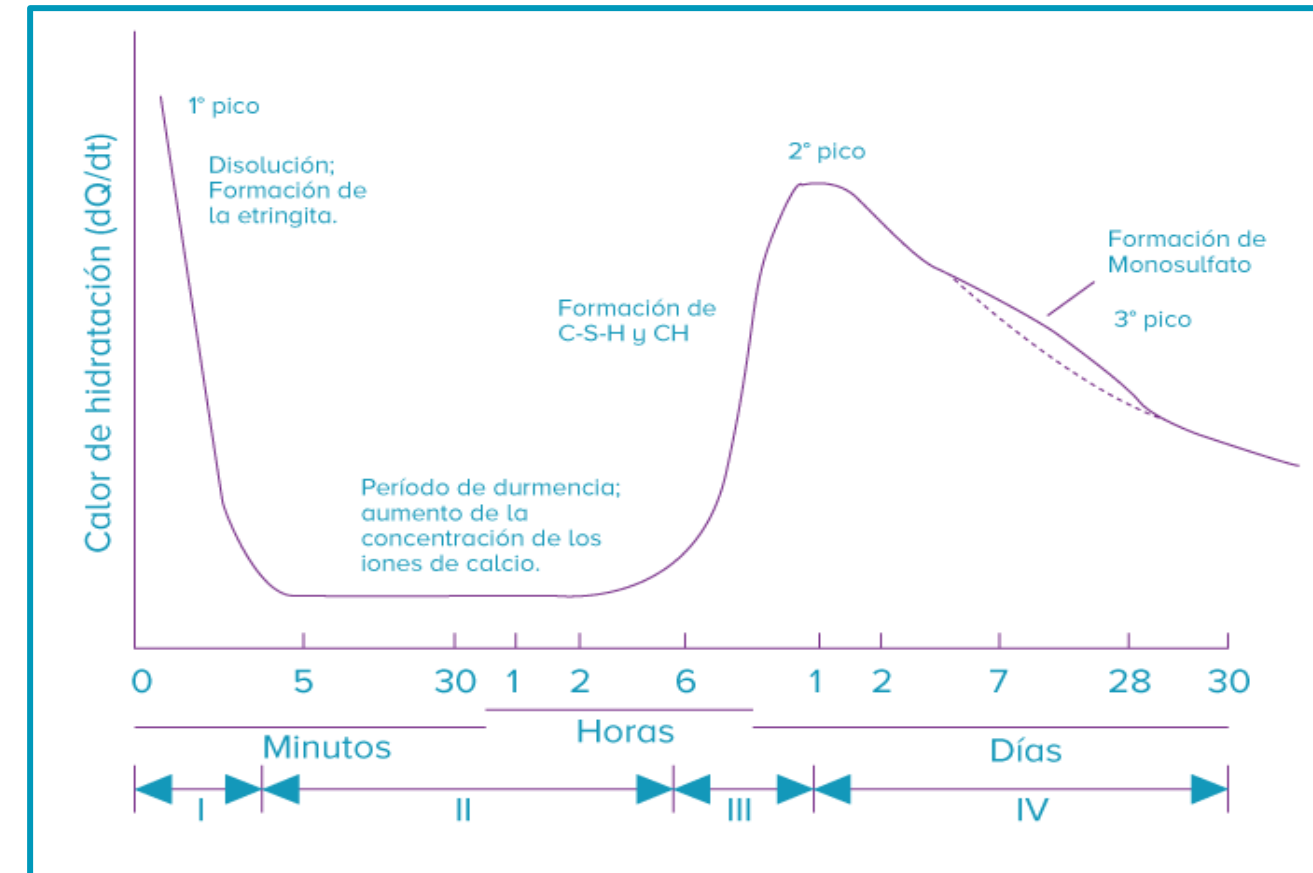
Se sugiere, a partir de 60cm de espesor, verificar si se requiere tomar medidas.

2. Características térmicas del Concreto

¿Cómo afecta al concreto masivo su propia temperatura?

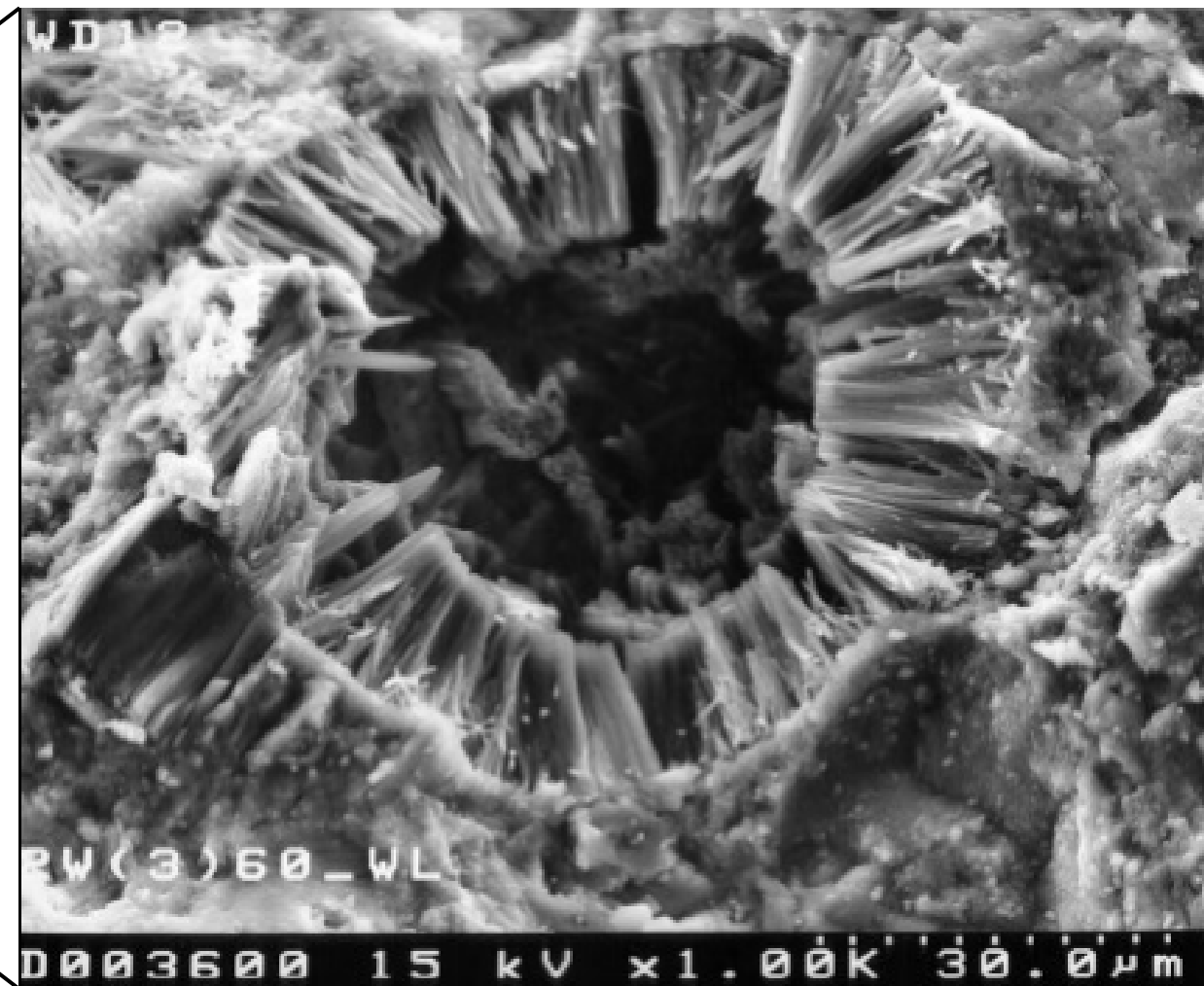


ACI 207



2. Características térmicas del Concreto

DEF, ¿un fenómeno causado por la temperatura?



- DEF se produce a $T^{\circ} > 65^{\circ}\text{C}$
- Etringita se vuelve inestable termodinámicamente
- Produce expansión y fisuración en la etapa de servicio

Jochen Stark, Katrin Bollmann, MichaelThomas

4. Mitigando el calor de hidratación

Control de temperatura del concreto



- El aumento de temperatura en el concreto masivo se relaciona con:
- °T inicial.
- °T ambiente.
- Tamaño del elemento (relación volumen - área superficial y dimensión mínima).
- Cantidad de cementantes.

ACI 207

HECHOS EN
CONCRETO

ALION
CEMENTOS corona

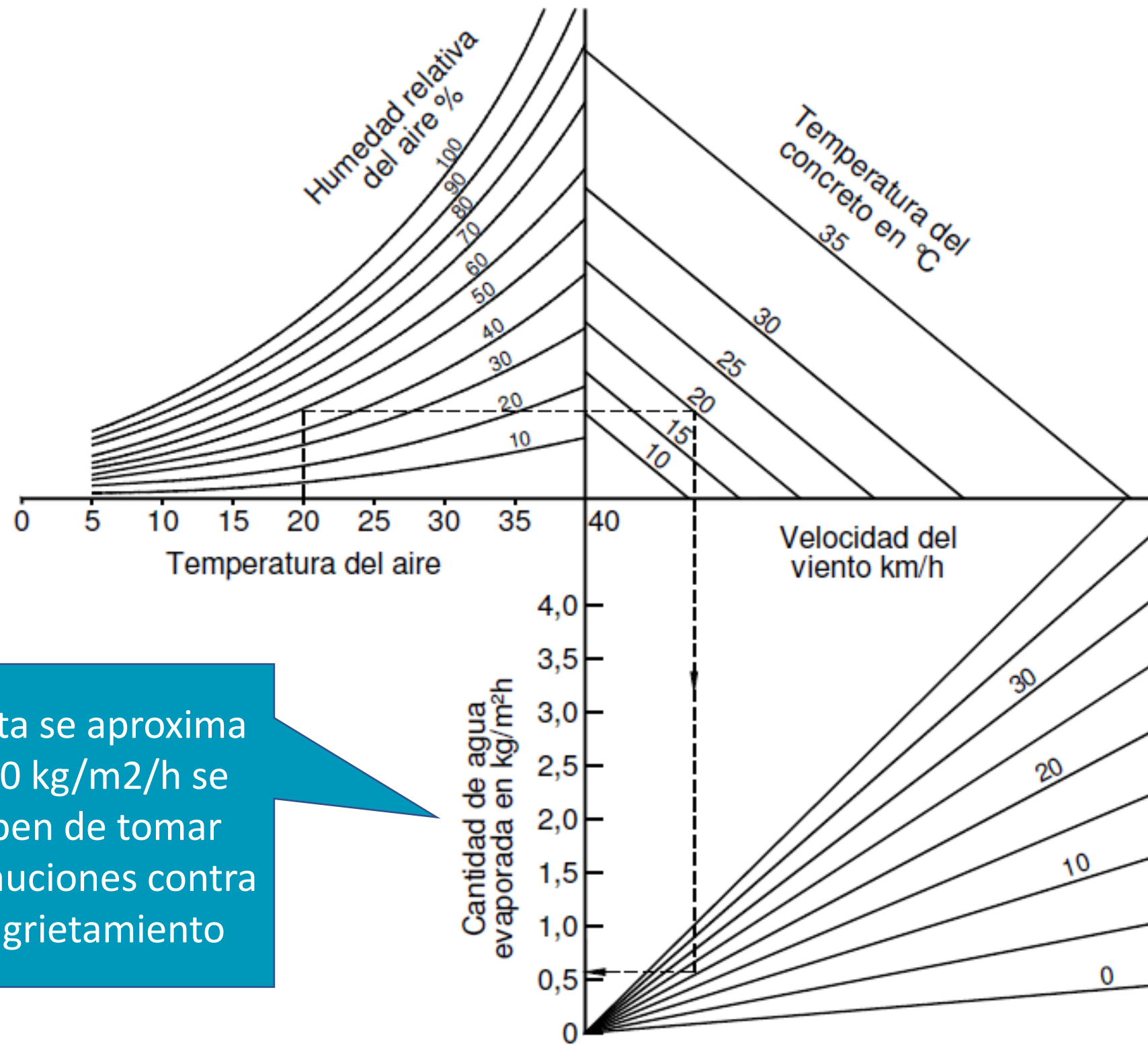


CÁMARA COLOMBIANA
DE LA INFRAESTRUCTURA
SECCIONAL ANTIOQUIA

FORTACRET®

2. Características térmicas del Concreto

¿El clima incide en la pérdida de humedad?



Si ésta se aproxima a 1.0 kg/m²/h se deben de tomar precauciones contra el agrietamiento

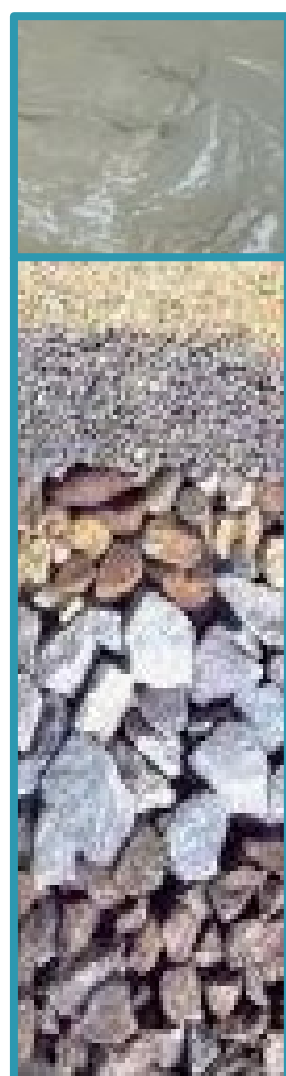
ACI 305

Ejemplo:

Clima	Bog	Med	Blla
T° Aire	13°C	25°C	30°C
Humedad Relativa	74%	55%	83%
T° Concreto	32°C	32°C	32°C
Velocidad del viento (Km/h)	8	5	26
Tasa de Evaporación	?	?	?

2. Características térmicas del concreto

Propiedades térmicas



15-30%

70-85%

Agregado Grueso	Coefficiente de expansión térmica del concreto (millonésima por °C)
Cuarcita	13,5
Sílice	9,4 a 11,7
Basalto	8,3
Caliza	5,4 a 8,6

Material	Calor específico (C) (kJ/kg °C)
Cemento	0,88
Agua	4,18
Agregados	0,92
Hielo	2,09
Puzolana	0,42

Agregado Grueso	Conductividad térmica del concreto (W/m °K)
Cuarcita	3,5
Granito	2,6 a 2,7
Basalto	1,9 a 2,2
Caliza	2,6 a 2,3

Agregado Grueso	Coefficiente de difusión térmica de concreto (α) (m ² /h)
Cuarcita	3,5
Granito	2,6 a 2,7
Basalto	1,9 a 2,2
Caliza	2,6 a 2,3

ACI 207.4R

2. Características térmicas del concreto

Temperatura del concreto en estado fresco

Temperatura
aprox del
concreto fresco
°C

$$T_i = \frac{T_a \cdot M_a \cdot c_a + T_{wa} \cdot M_{wa} + T_c \cdot M_c \cdot c_c + T_w \cdot M_w}{M_a \cdot c_a + M_{wa} + M_c \cdot c_c + M_w}$$

donde:

- T_i = temperatura inicial del hormigón (°C)
- T_a = temperatura de los áridos (°C)
- M_a = masa total de los áridos (kg/m³)
- c_a = calor específico del árido (kcal/kg·°C)
- M_{wa} = masa de agua contenida en los áridos (kg/m³)
- T_c = temperatura del cemento (°C)
- M_c = masa total de cemento (kg/m³)
- c_c = calor específico del cemento (kcal/kg·°C)
- T_w = temperatura del agua de amasado (°C)
- M_w = masa total de agua de amasado (kg/m³)

Efecto de la
temperatura de
los materiales
sobre la
temperatura
inicial del
concreto

Material	Masa	Calor específico (kJ/kg °C)	Joules para variar la °T 1°C	Temperatura inicial del material	Joules totales en el material
Cemento	335	0,88	294,8	66	19456,8
Agua	180	4,18	752,4	27	20314,8
Agregados	1839	0,92	1691,9	27	45681,3
			2739,1		85452,9

$$T_i = \frac{85452,9}{2739,1} = 31,2^\circ\text{C}$$

Para disminuir 1°C de la temperatura inicial:

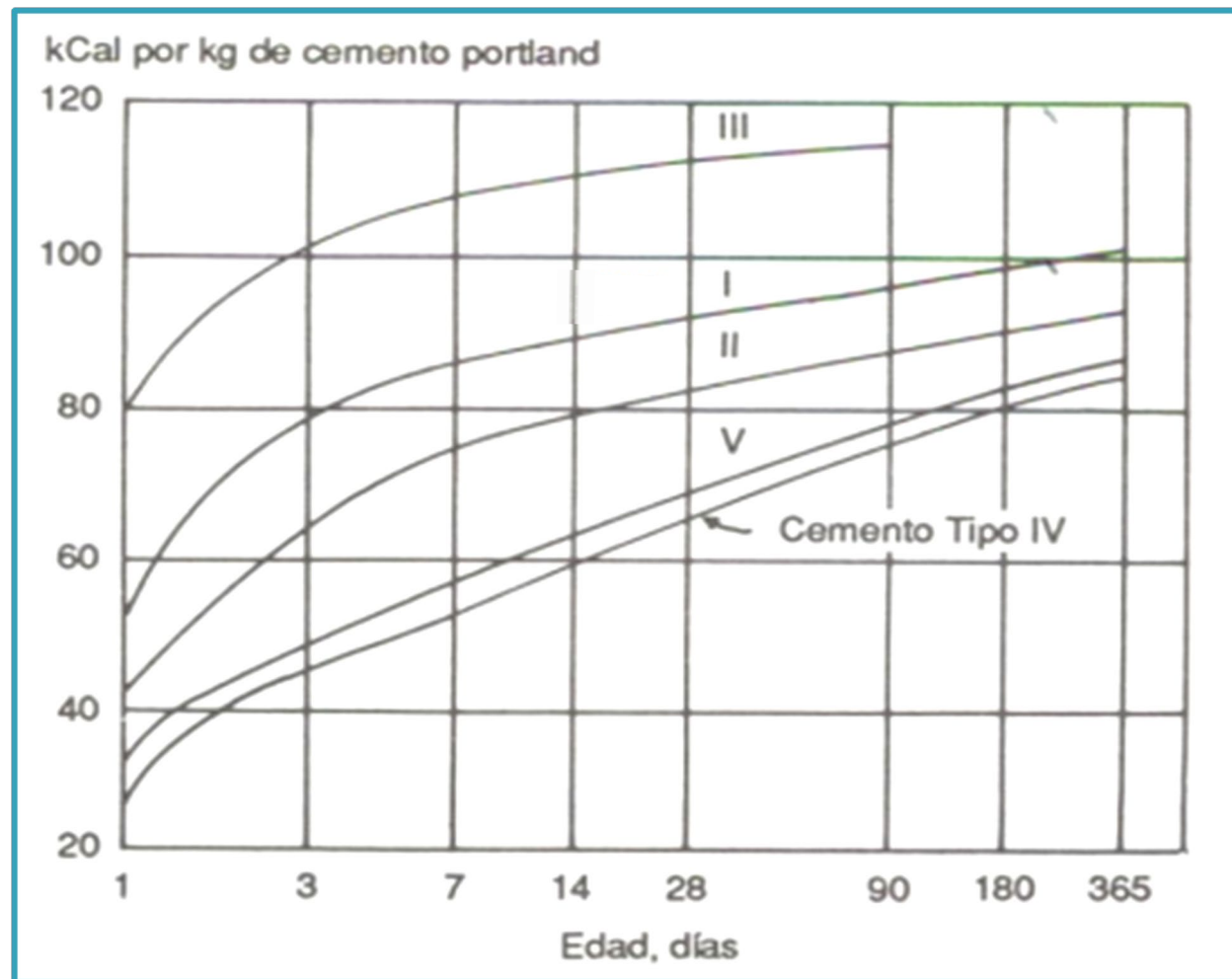
La °T del cemento se debe reducir = 2739,1/294,8 = 9,3°C

O la °T del agua se debe reducir = 2739,1/752,4 = 3,6°C

O la °T de los agregados se deben enfriar = 2739,1/1691,9 = 1,6°C

3. Métodos de estimación de incremento de temperatura

Método gráfico ACI 207



$$T [^{\circ}\text{C}] = \frac{C * H [\text{kCl/kg}]}{S [\text{kCl/kg}]} \quad S_{(\text{concreto})} = 0,20 \text{ a } 0,28$$

$$T = \frac{420/2350 * 85}{0,24} = 63,3 \text{ }^{\circ}\text{C} \text{ a } 7 \text{ días}$$

Si °T de colocación es 20°C

El interior del elemento podrá alcanzar 83°C

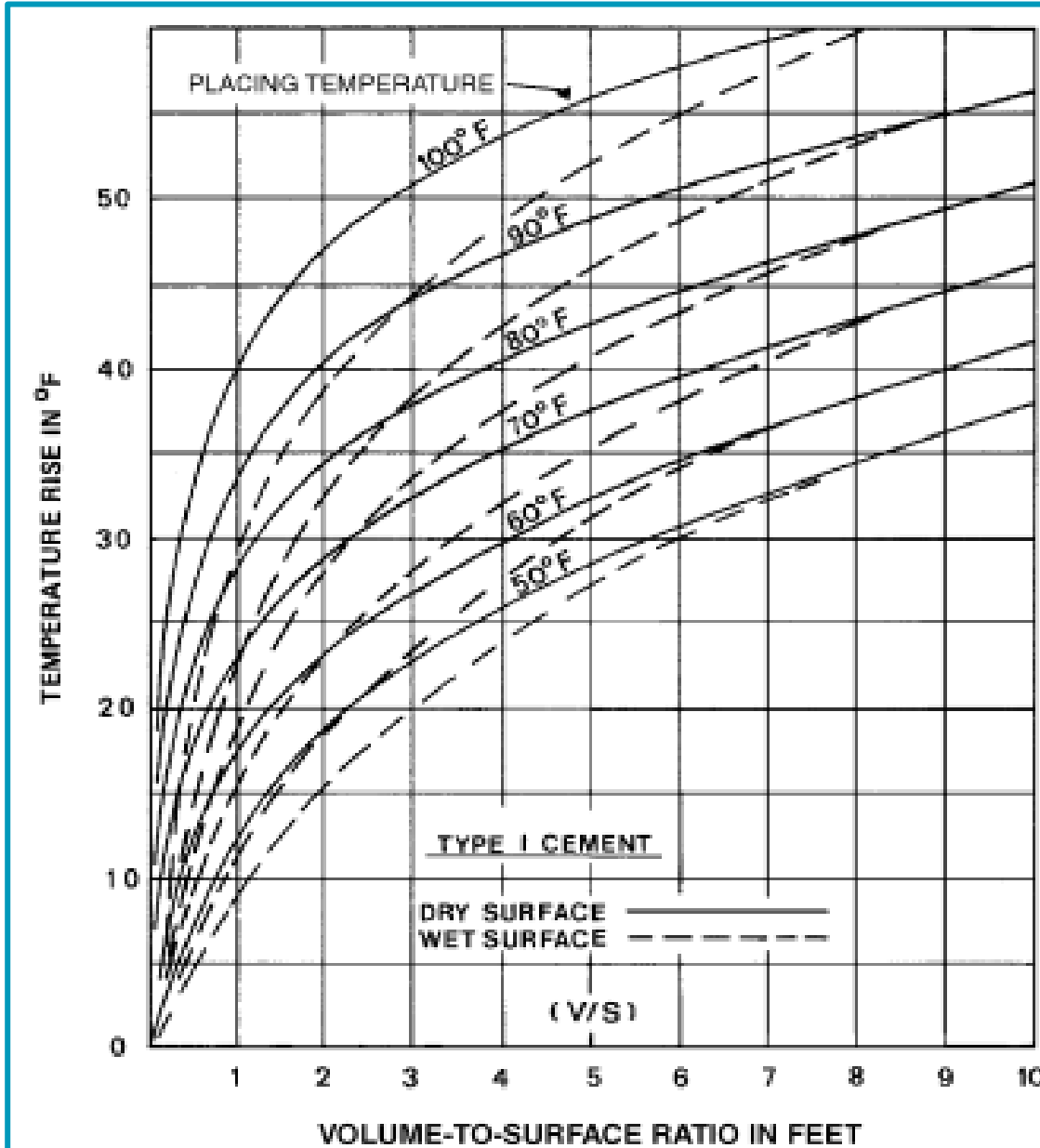
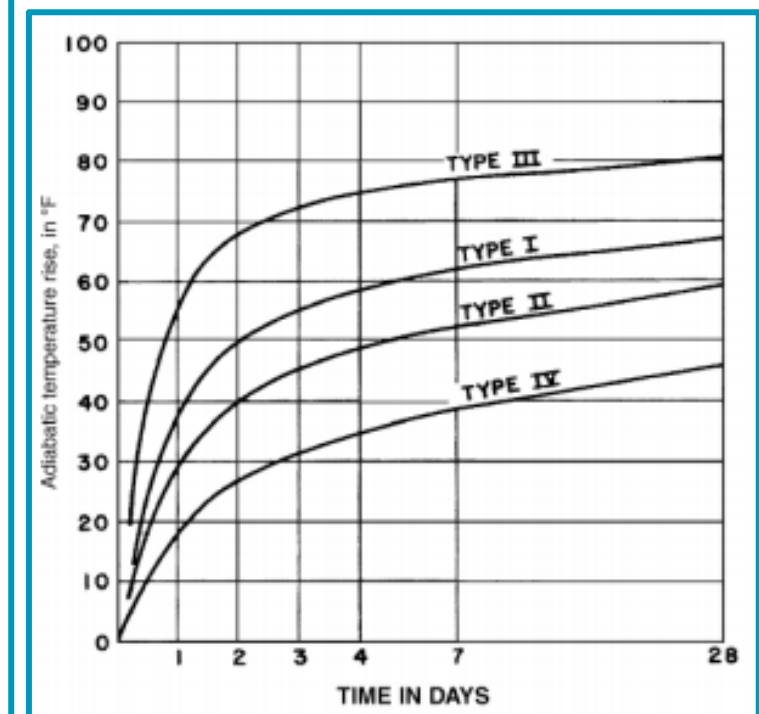
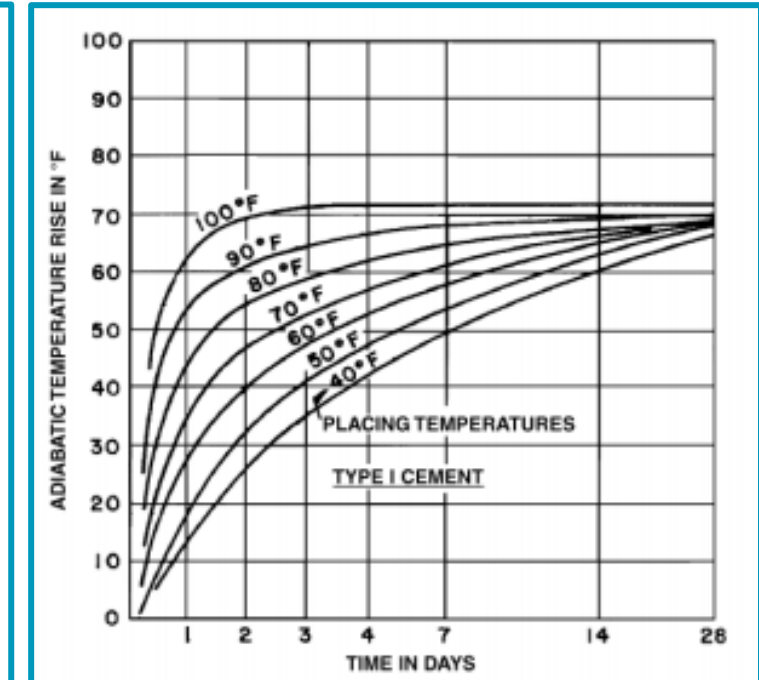


Fig. 4.5—Temperature rise of concrete members containing 376 lb/yd³ (223 kg/m³) of cement for different placing temperatures.



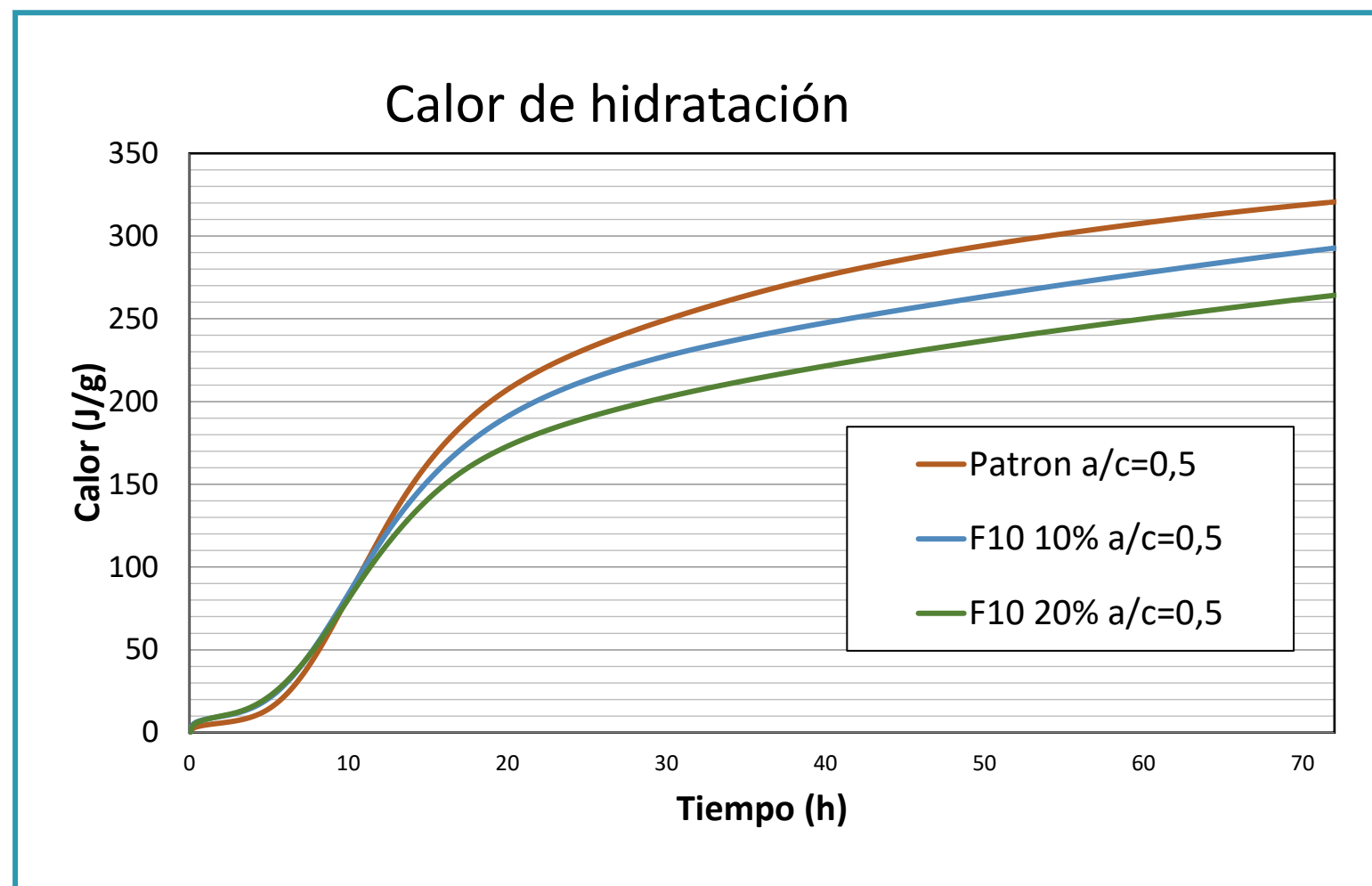
3. Métodos de estimación de incremento de temperatura

Método por desarrollo de temperatura adiabática

$$\Delta T_{ad}(t) = \frac{C * qc(t)}{Ceh * \rho}$$

Método de la PCA

$$T_{max} = T_i + \left(12 * \frac{Wc}{100} \right) + \left(6 * \frac{Wmcs}{100} \right)$$



- Solo aplica para concretos con contenido de cemento entre 300 y 600 kg/m³
- No entrega un desarrollo de °T en el tiempo
- No determina el momento de la °T max
- No permite cuantificar diferenciales de temperatura

3. Métodos de estimación de incremento de temperatura

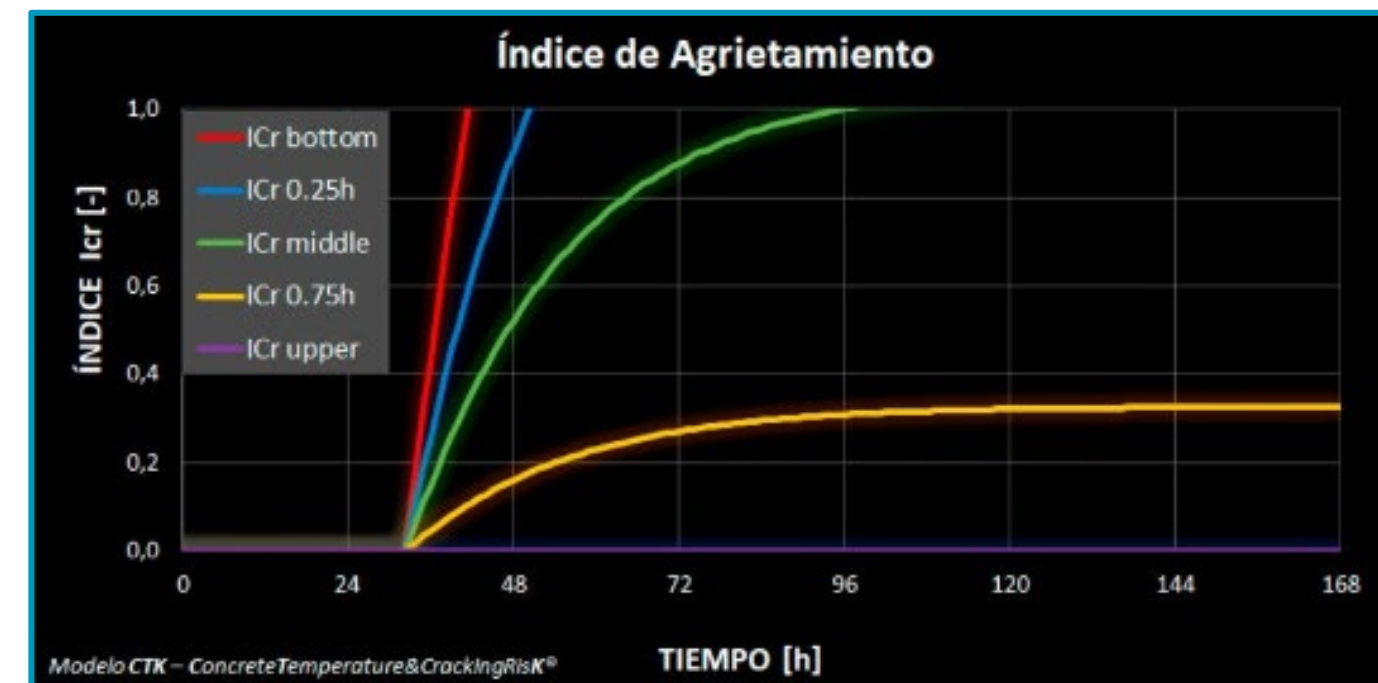
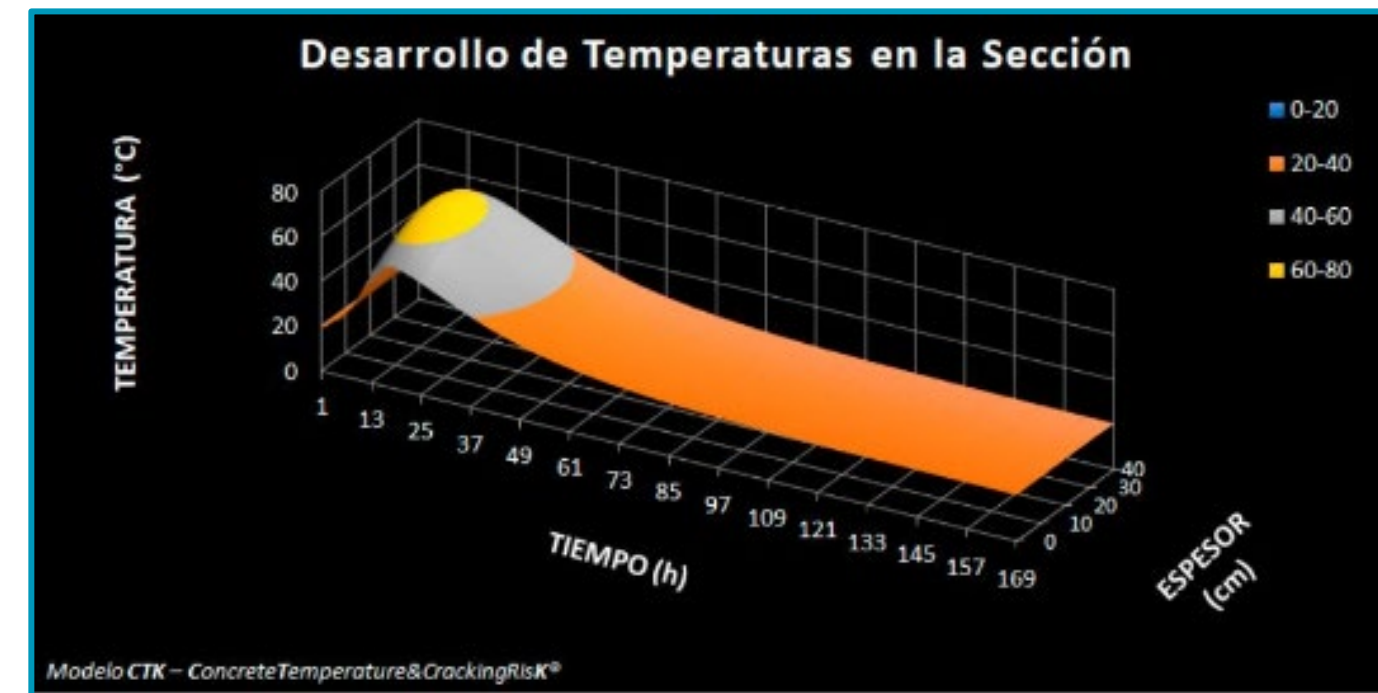
Método de Schmidt

- Método simplificado de diferencia finitas
- Considera una condición semiadiabática
- Requiere programar un calculo iterativo

Variables que involucran:

- Contenidos de cemento y MCS
- °T colocación, °T ambiente
- Dimensiones del elemento
- Parámetros térmicos del concreto
- Calor de hidratación del cemento
- Desarrollo de °T adiabática
- Interacción con el medio

Método CTK



3. Métodos de estimación de incremento de temperatura

Evaluación del método de estimación en laboratorio



San Martin 2018



- Bloque de concreto 1m de arista
- Expuesto a temperatura ambiente en cara superior y asilado con poliestireno en los caras
- Considerando una condición semi-adiabática

4. Especificaciones técnicas aplicables a concretos masivos

- ✓ ACI 116R Cement and Concrete Terminology
- ✓ ACI 207.1R: Guide To Mass Concrete
- ✓ ACI 207.4R: Cooling and Insulating Systems for Mass Concrete
- ✓ ACI 211.1: Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight and Mass Concrete
- ✓ ACI 301 s-16 Specifications for Structural Concrete

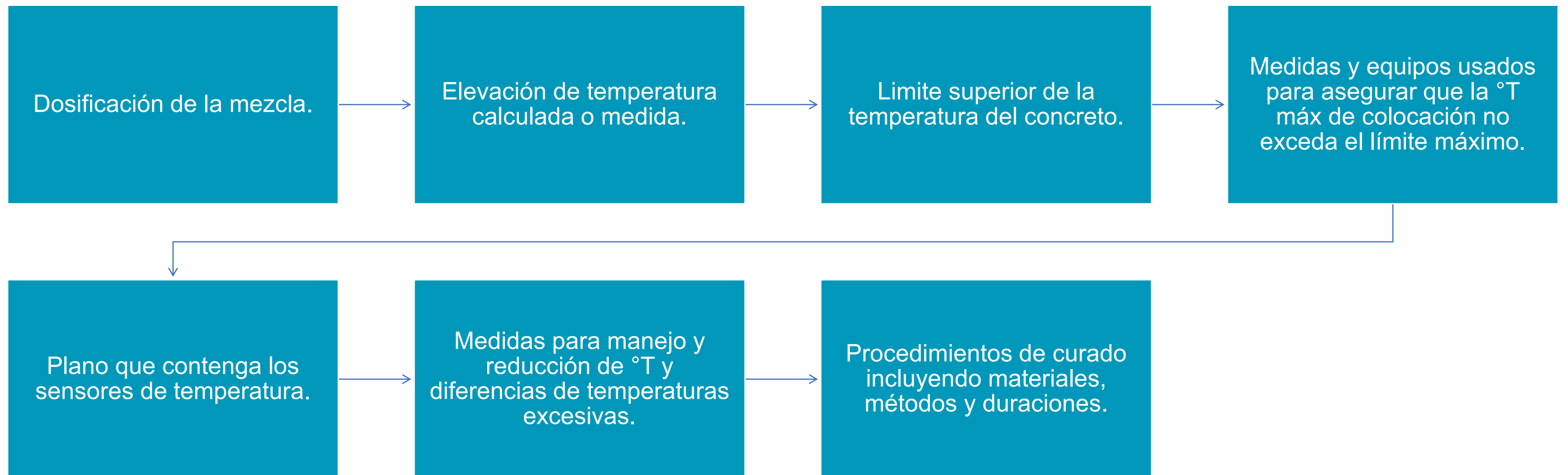
ACI 301 s-16, 8.1.3. Límites de temperatura

La temperatura máxima no debe exceder de 70°C

La máxima diferencia de temperatura entre el centro y la superficie es 19°C

4. Especificaciones técnicas aplicables a concretos masivos

ACI 301 s-16, 8.1.4. Entregas, se debe tener un plan de control de temperatura.



5. Mitigando el calor de hidratación

Mecanismos de mitigación



Bajar contenido de cemento usando MCS como Fortacret[®], usar cemento de bajo calor de hidratación



Aumentar contenido de agregado grueso, y usar TM entre 19 a 150 mm



Reducción de la temperatura inicial del concreto con el uso de hielo como parte del agua de mezclado



Enfriamiento de los ingredientes del concreto mediante protección del sol y riego con agua fría



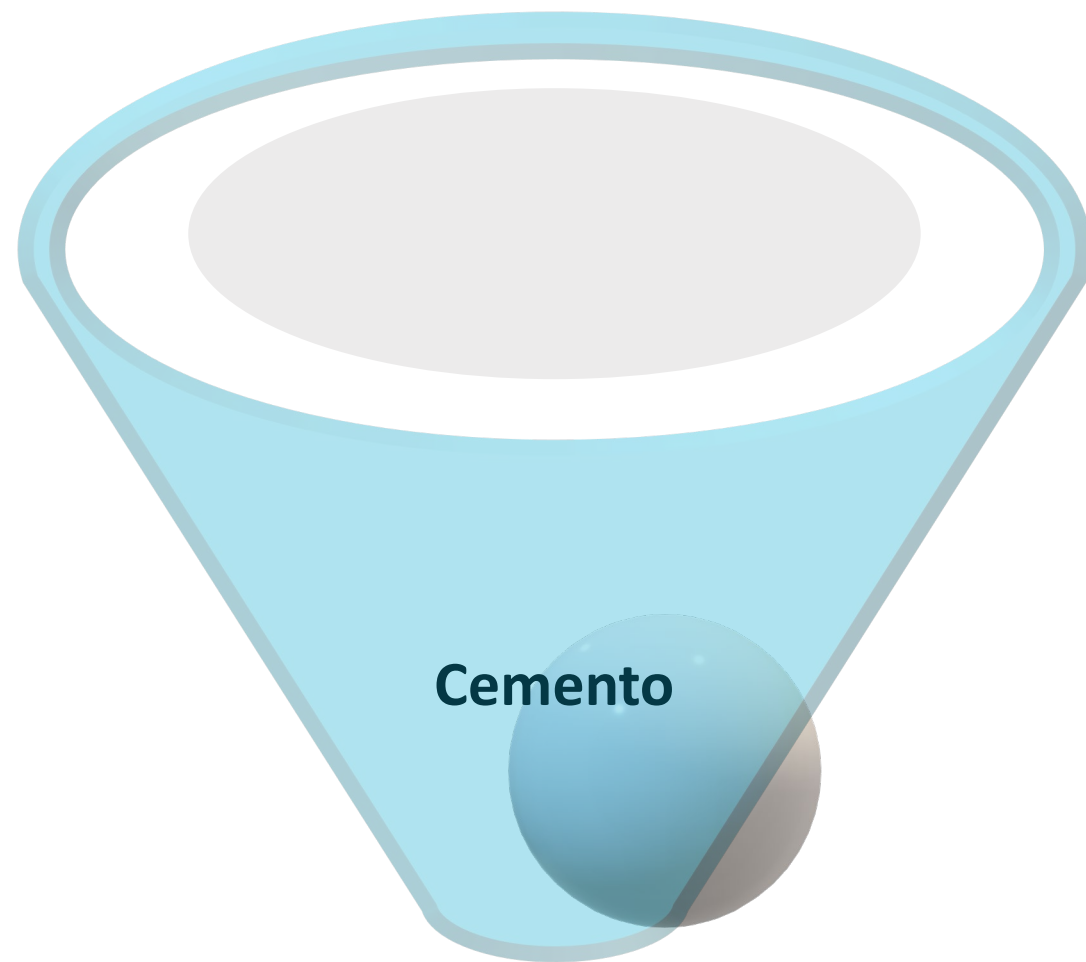
Cimbras de acero para la disipación del calor



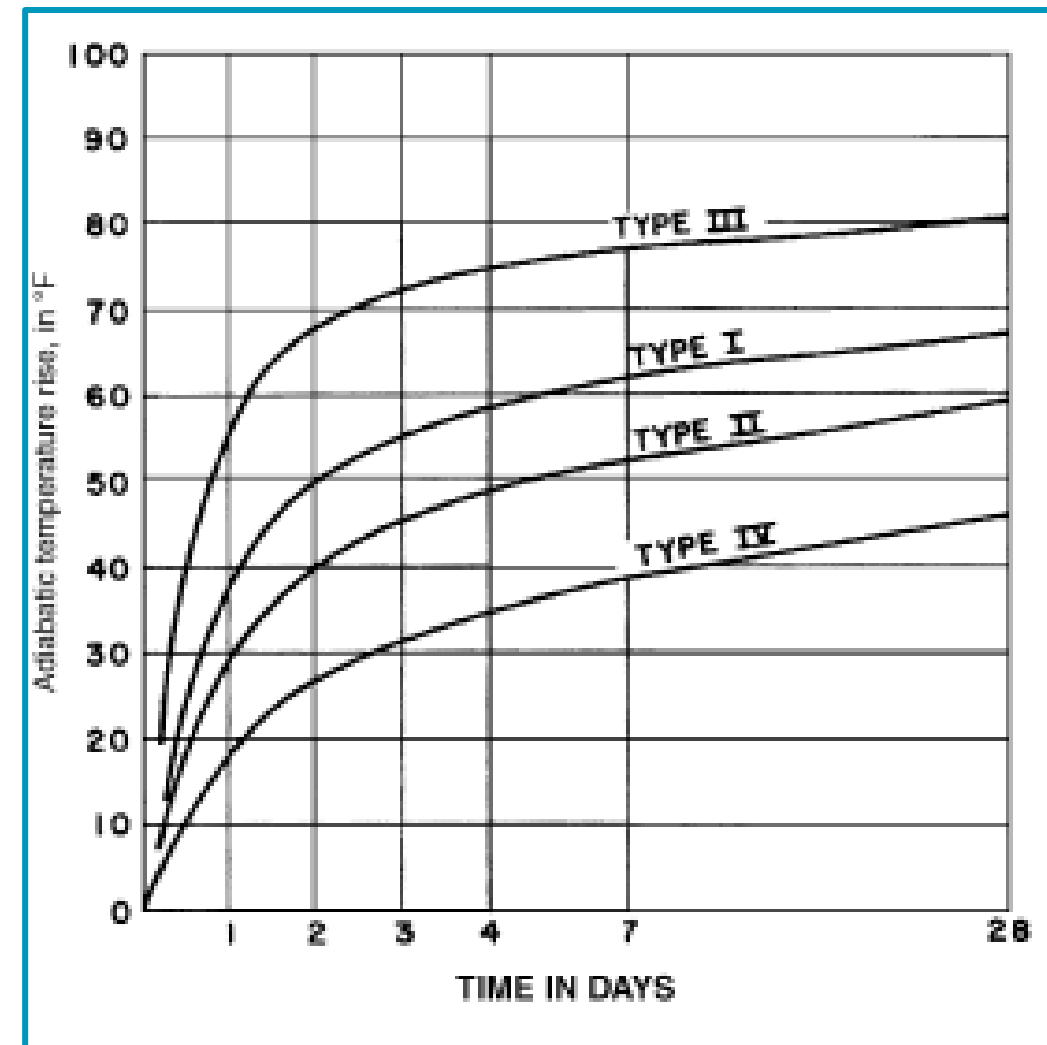
Enfriamiento del concreto, a través de la inserción de tubería de enfriamiento

5. Mitigando el calor de hidratación

Diseño de mezclas (ACI 211.1) Cemento

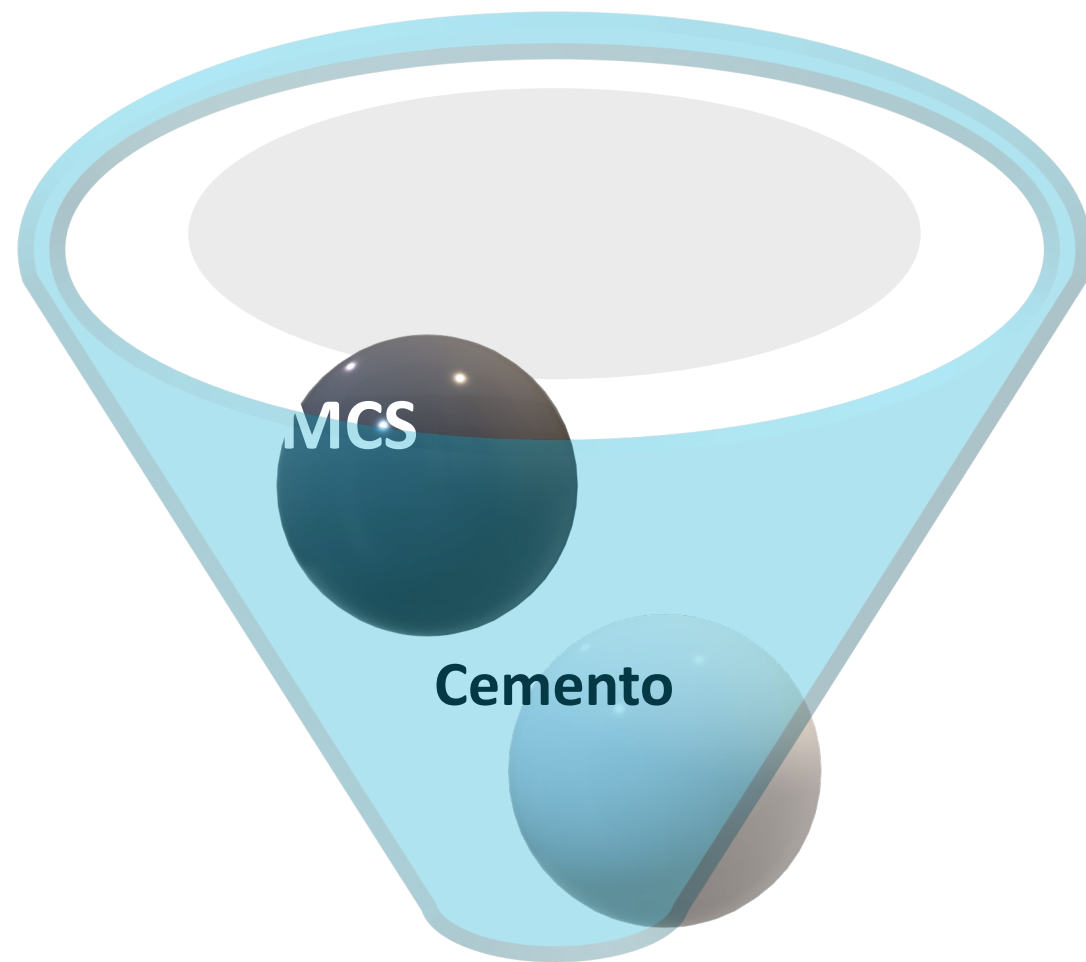


- Moderado calor de hidratación (MCH) con limite de C3A<8% con limite de calor de hidratación de 290kJ/kg a 7 días.
- Bajo calor de hidratación (BCH) C3A<8% con limite de calor de hidratación de 250kJ/kg a 7 días.
- Cemento portland mas adición que permita disminuir el flujo de calor.
- No usar cementos de alta resistencia temprana.
- El cemento debe estar reposado (40 a 60°C) .



5. Mitigando el calor de hidratación

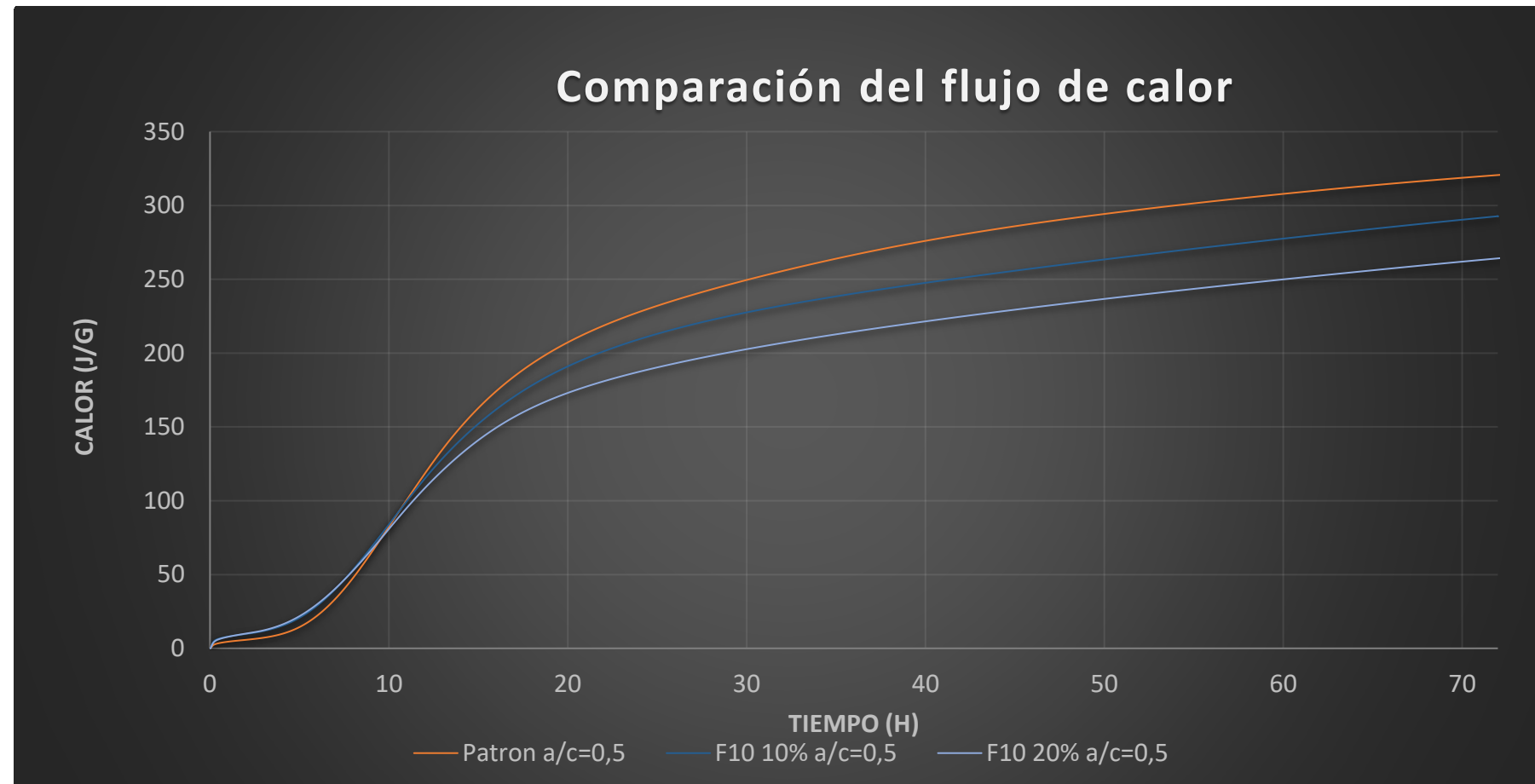
Diseño de mezclas (ACI 211.1) - MCS



- Uso de Adiciones (MCS) como Fortacret ®. Los MCS se definen como materiales silíceos o sílico-aluminosos que no reaccionan con el agua sino con el CH producto de hidratación del cemento.
- Reacción del cemento:
- $2C_3S + 6H_2O \rightarrow CSH + 3Ca(OH)_2$
- $2C_2S + 4H_2O \rightarrow CSH + Ca(OH)_2$
- Reacción puzolánica:
- $Ca(OH)_2 + SiO_2 + H_2O \rightarrow CSH, CASH, \text{ otros}$
- Cuando se utilizan MCS en alta cantidad para reducir el calor de hidratación y fisuración térmica, la resistencia de diseño puede ser especificada a 56, 90 o hasta 180 días.
- Uso de mezclas ternarias
- La relación a/mc esta sujeta a los requerimientos de proyecto a fin de cumplir F'_c y requisitos de durabilidad.

5. Mitigando el calor de hidratación

Disminución del calor de hidratación con el uso de MCS

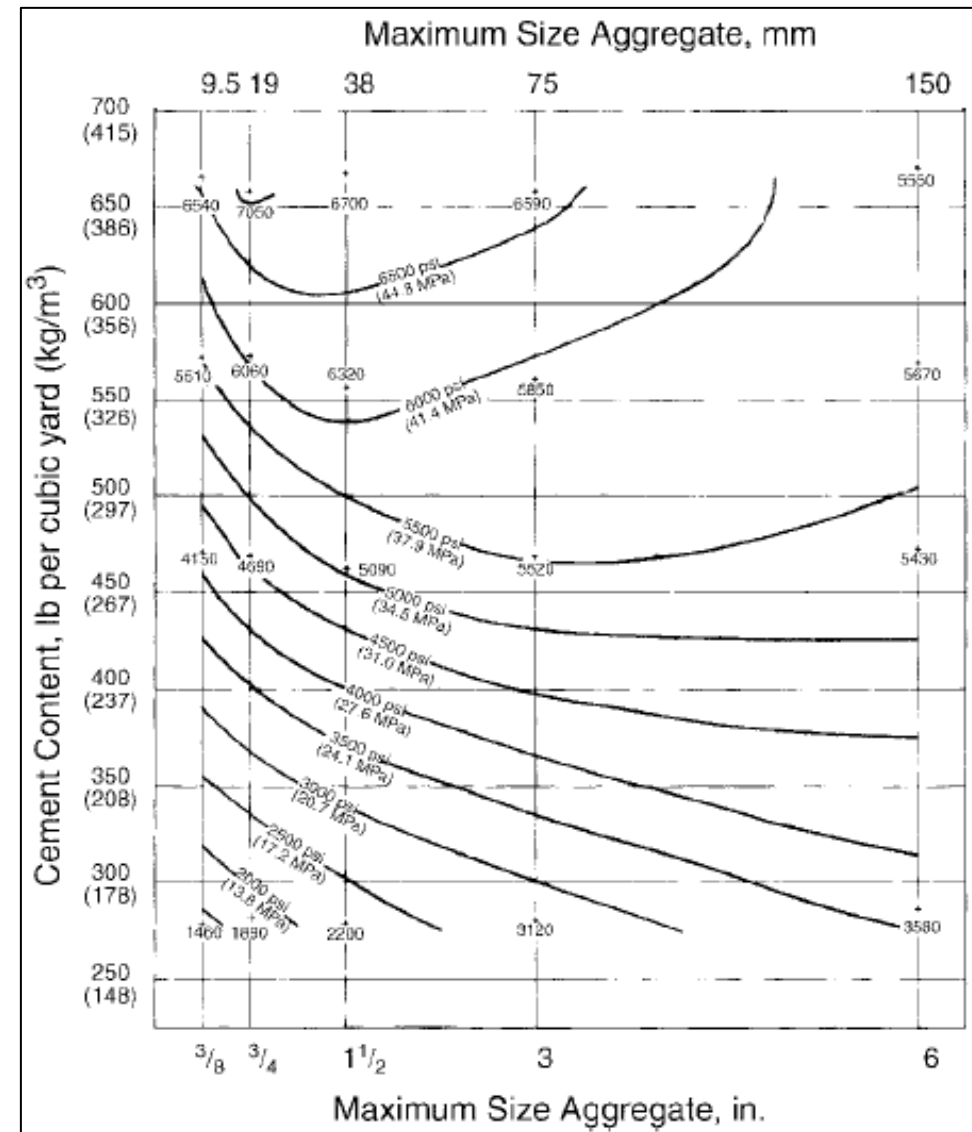
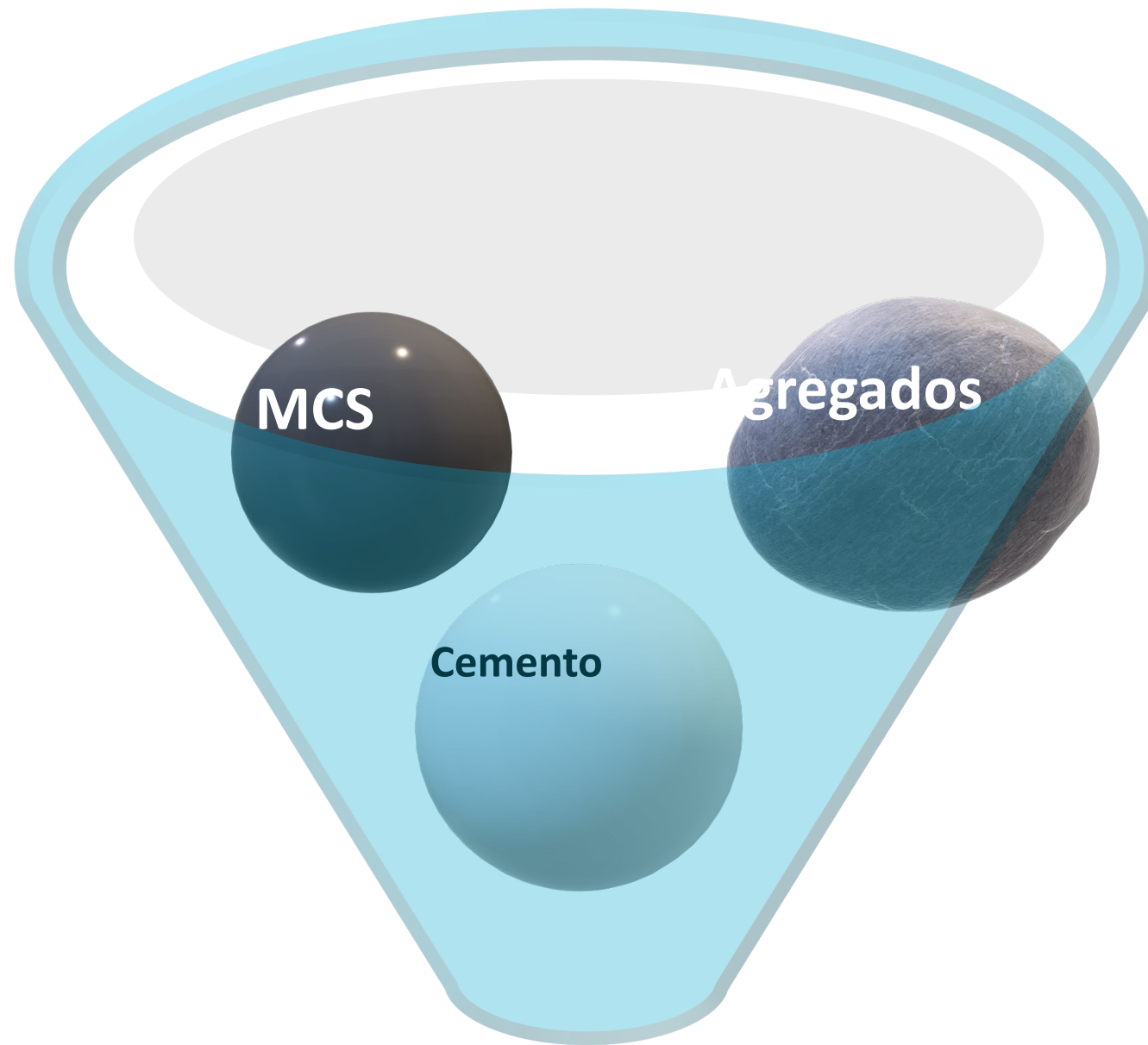


Fortacret[®] Permite obtener concretos de calor de hidratación reducido. **Disminuye en promedio un 25% el calor de hidratación**, mitigando la aparición de fisuras y grietas.

Cementante para f'c 42 Mpa	Energía Liberada (J/g)	Consumo de cemento Kg/m ³	Energía liberada (J/m ³ de concreto)	% de reducción de energía liberada
Cemento ART	320	460	147.200	
Cemento + Fortacret 10%	293	391	114.563	22%
Cemento + Fortacret 20%	264	368	97.152	34%

5. Mitigando el calor de hidratación

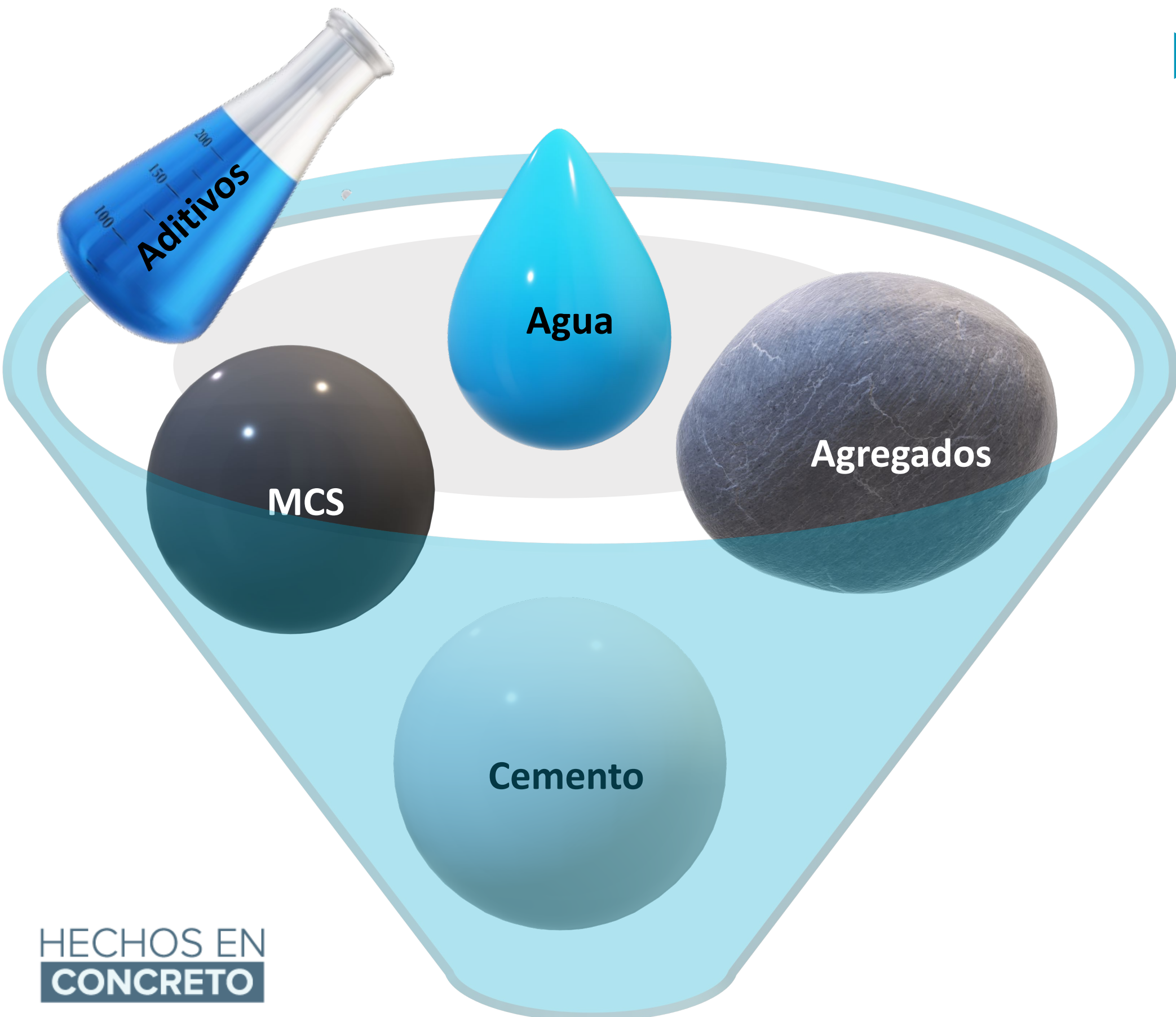
Diseño de mezclas (ACI 211.1) - Agregados



- Deben cumplir con la norma NTC174 o ASTM C33.
- Utilizar los agregados de mayor tamaño posible conservando el requisito de $TM < 2/3$ de las distancias entre aceros de refuerzo y $TM < 1/4$ de la dimensión mínima de la estructura.
- Arenas con modulo de finura $> 2,3$.
- Agregados gruesos con pasa 200 max 0,5%.
- Agregados finos con pasa 200 max 3%.
- A mayor tamaño de agregado menor cuantía de cemento requiere y se obtiene menor retracción.
- Una granulometría continua permite un concreto trabajable con bajo asentamiento, baja demanda de agua y cemento.
- Se deben controlar en planta tapándolos y mojándolos con agua fría a 5°C.

5. Mitigando el calor de hidratación

Diseño de mezclas (ACI 211.1) – Agua, aditivos



- ▶ **Agua**
 - Debe cumplir con norma NTC 3459.
 - Si cumple Análisis químicos es apta si no, debe cumplir análisis físicos.
 - Agua de amasados de 4 a 6°C.
 - Usar hielo como agua de diseño (60 a 100%).
 - Reducir la cantidad de agua mediante el uso de aditivos plastificantes.

- ▶ **Aditivos**
 - Deben cumplir con NTC 1299.
 - Plastificantes (hiper o súper).
 - Retardantes de fraguado.
 - Inhibidores de hidratación.
 - Incluidores de aire.
 - Retardantes de evaporación.

6. Colocación de concretos masivos: Antes



Prever la logística de transporte del concreto, la velocidad de colocación

El montaje de las cimbras, juntas, instalaciones de serpentines (post-enfriamiento)

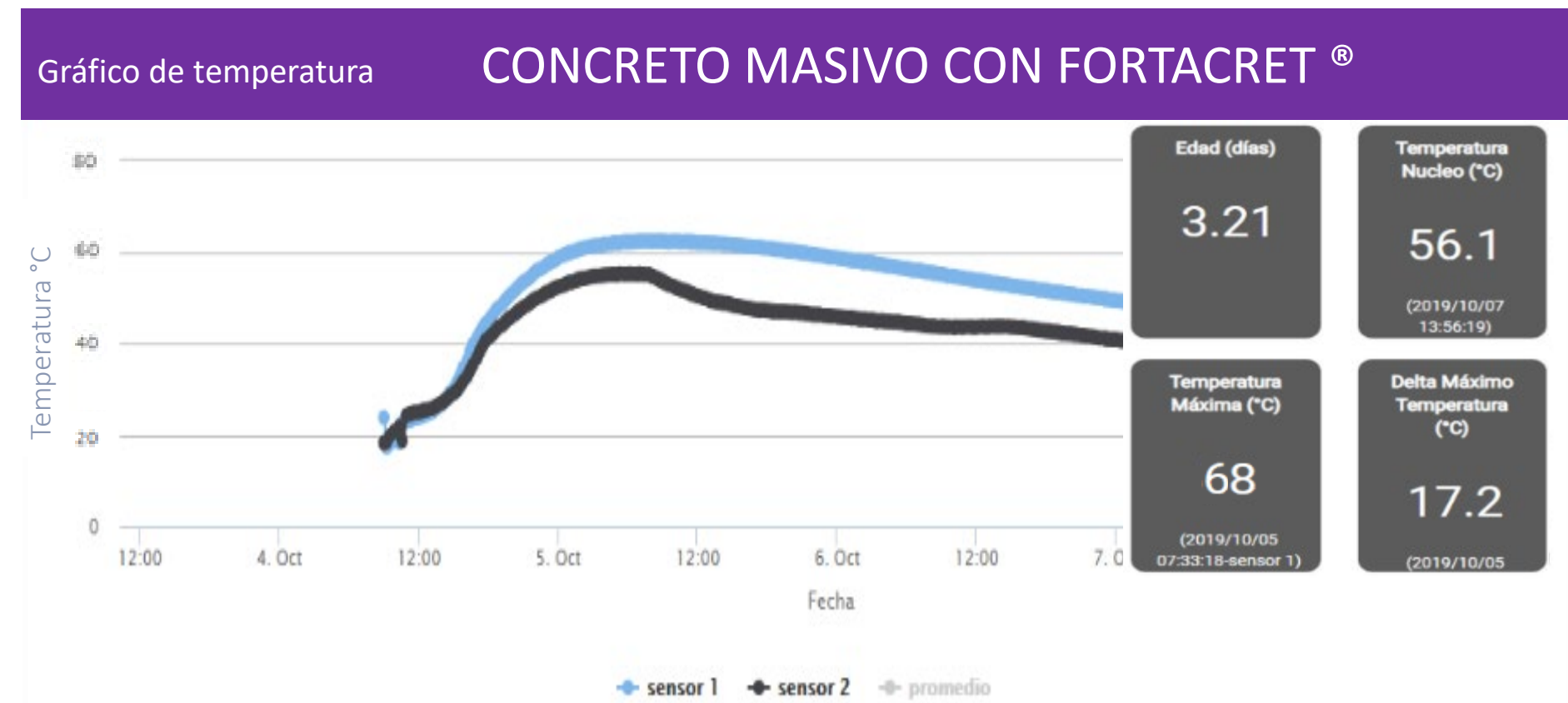
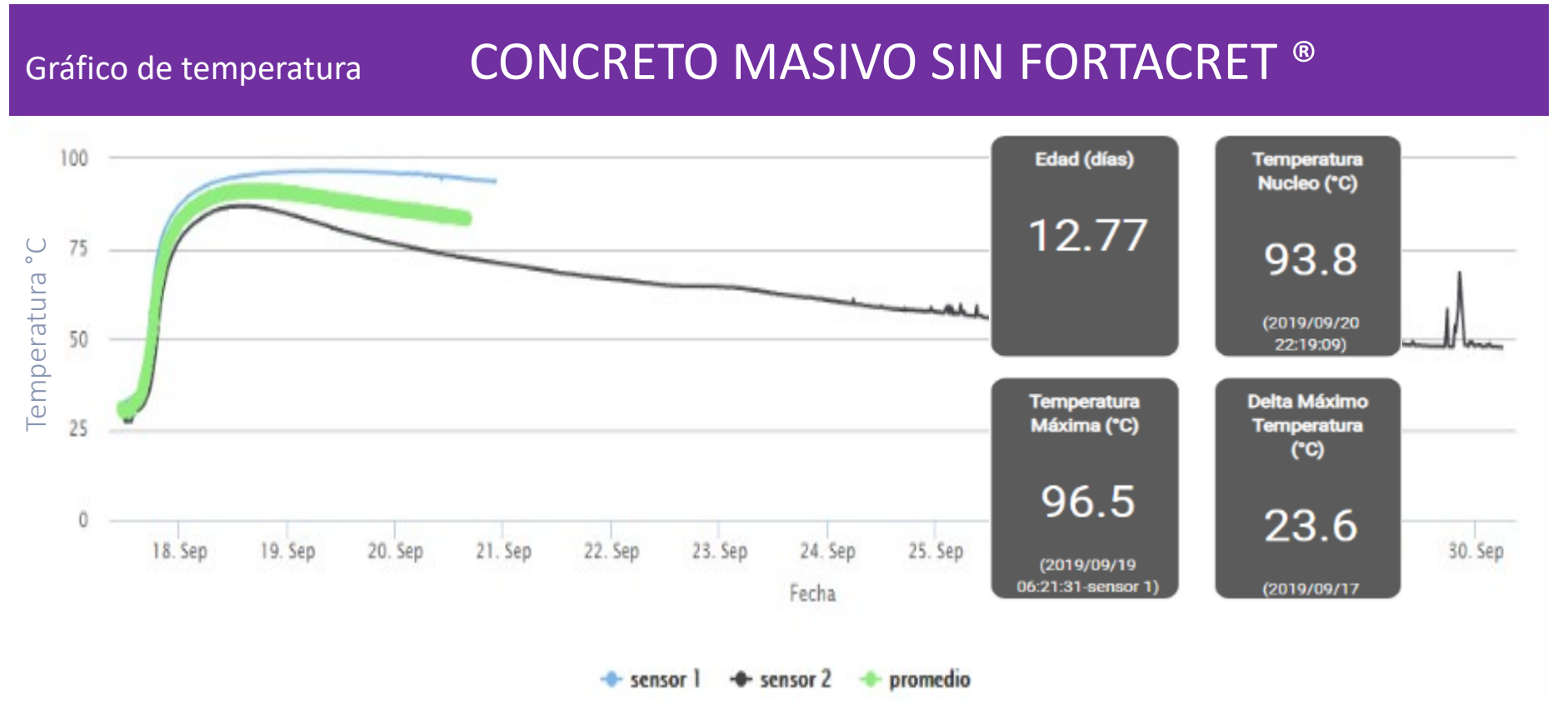
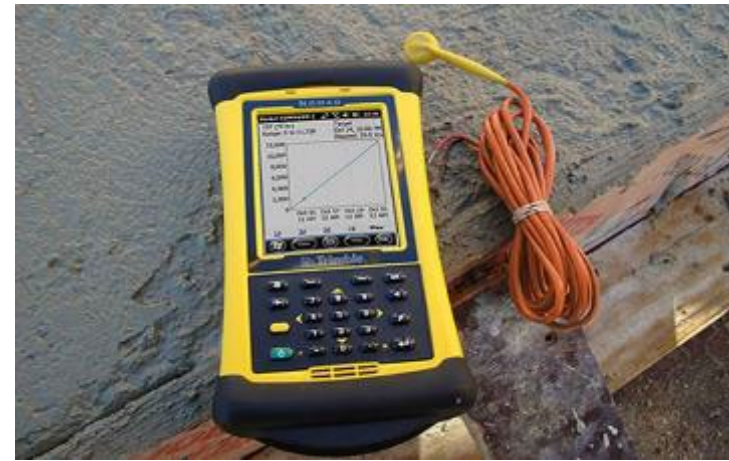
La fijación segura del acero de refuerzo y de los demás accesorios que vayan a quedar embebidos.

Cuadrillas de vibrado con los equipos adecuados. Humedecimiento de la superficie.

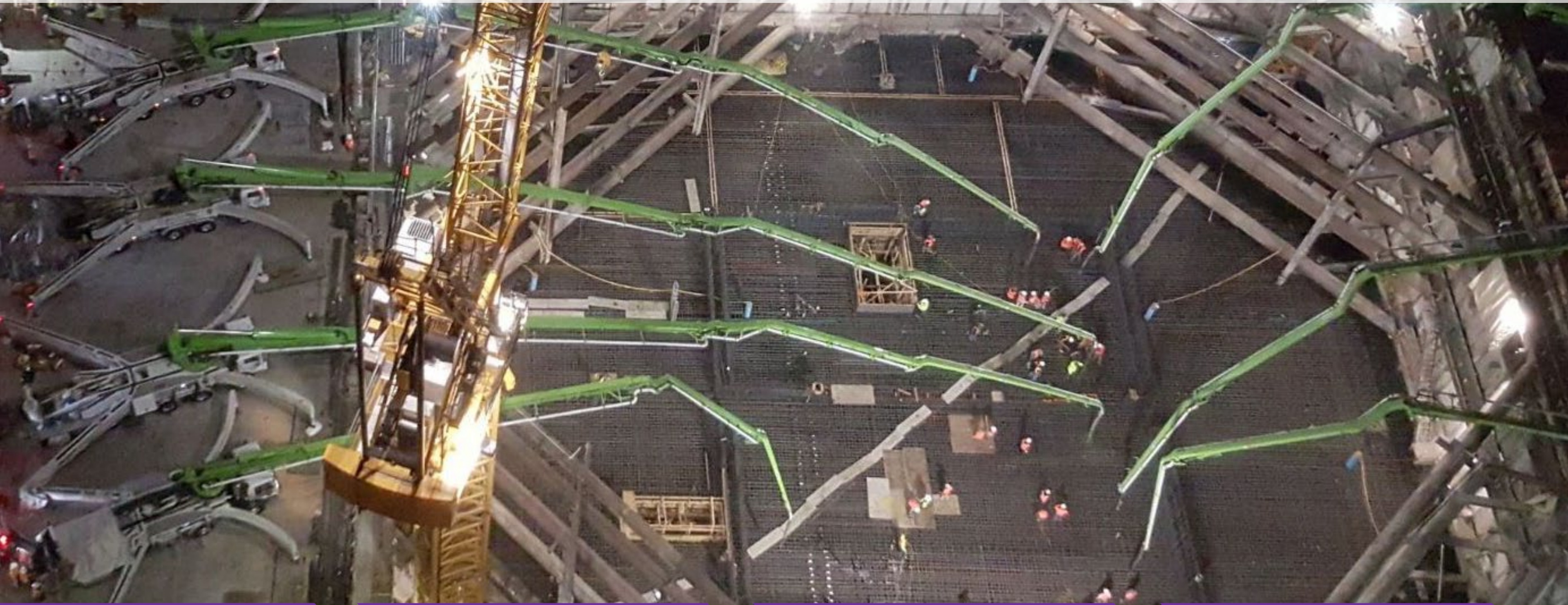
La caída máxima del concreto no deberá exceder 1.5 m hasta el punto de colocado.

6. Colocación de concretos masivos: Antes

Instrumentación y control de temperatura del concreto



6. Colocación de concretos masivos: Durante



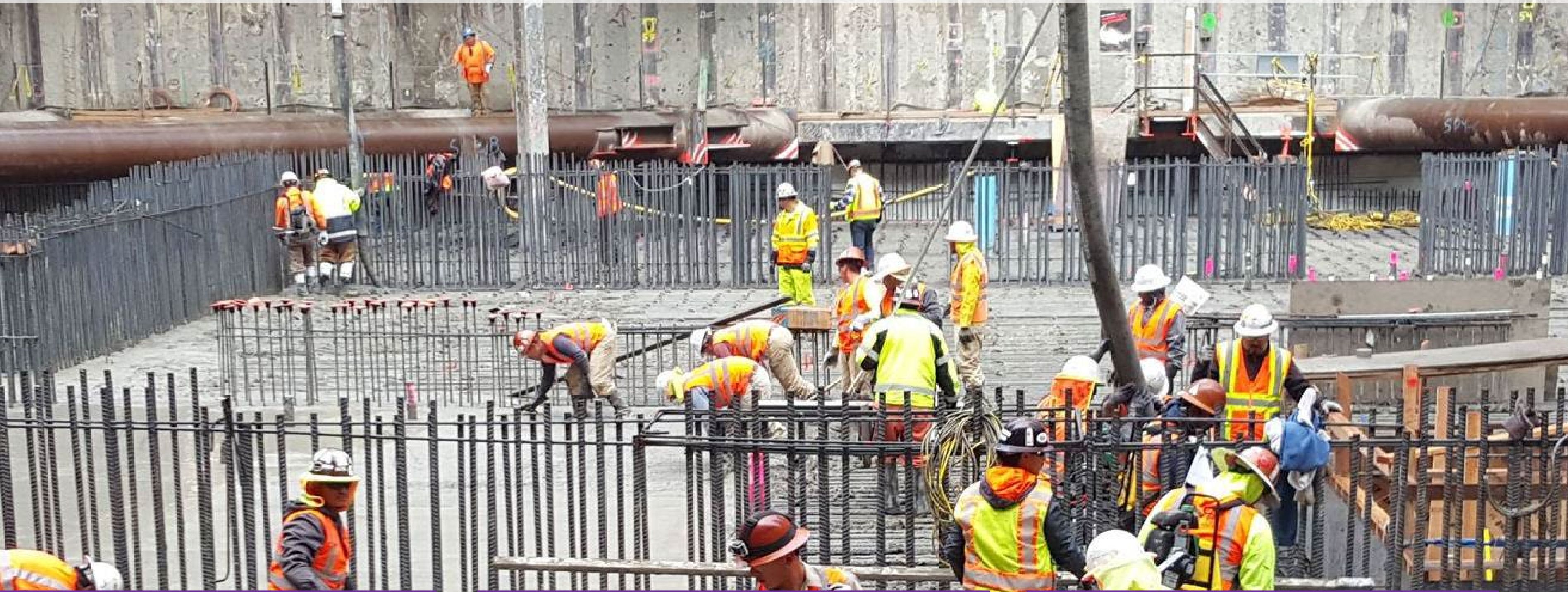
Controlar la °T del concreto: Salida, Llegada, Colocación y evolución durante el tiempo que sea necesario.

En Cimbras, el concreto masivo se debe colocar en capas, en lo posible, poco profundas (1,5 a 3 metros de espesor).

Vibrado a frecuencia preferiblemente 90 a 140 Hz, y varios vibradores simultáneamente y entre capas de aprox. de 30 a 50 cm de espesor.

Colocar barreras de viento cuando sea necesario para evitar fisuración por contracción plástica.

5. Colocación de concretos masivos: Después



El curado también es un mecanismo de controlar la °T desde afuera hacia adentro del concreto, se debe hacer en un medio ambiente propicio durante las etapas tempranas del fraguado.

Mantener una temperatura favorable en el concreto durante un período definido. Se puede hacer por la continua o frecuente aplicación de agua por aspersion, vapor o cubiertos de materiales saturados, como mantas de yute o algodón, alfombras, tierra o arena.

Evitar la pérdida excesiva de agua en la superficie del concreto, utilizando materiales como hojas de plástico o de papel impermeable, o mediante la aplicación de compuestos de curado formadores de membrana sobre el concreto recién colado.

¡Podemos continuar siendo responsables con la durabilidad de lo que construimos!

- Modelos de predicción de temperatura del concreto
 - Métodos de medición de calor de hidratación
 - Opciones de mitigación con buenos resultados

¡Gracias!

HECHOS EN
CONCRETO

ALION
CEMENTOS corona



Aliado

CÁMARA COLOMBIANA
DE LA INFRAESTRUCTURA
SECCIONAL ANTIOQUIA

Marca invitada

FORTACRET®