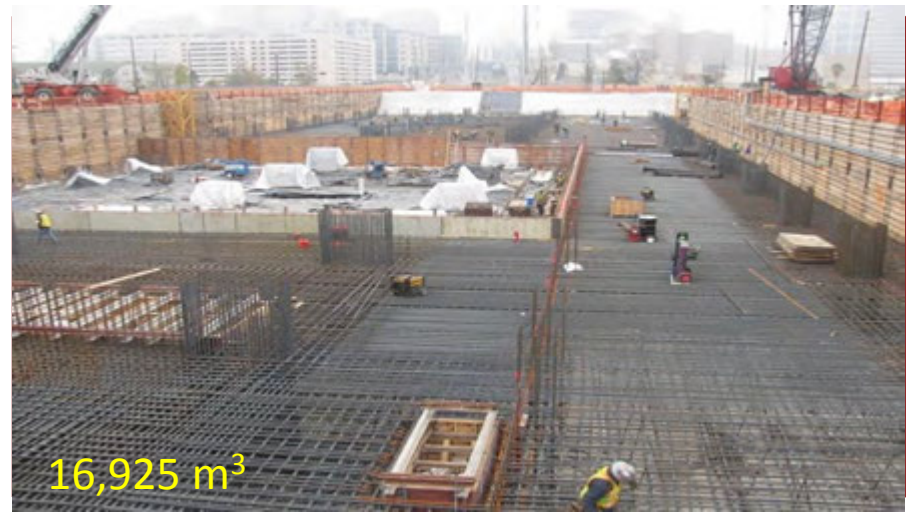




El evento del Cemento, el Concreto y los Prefabricados

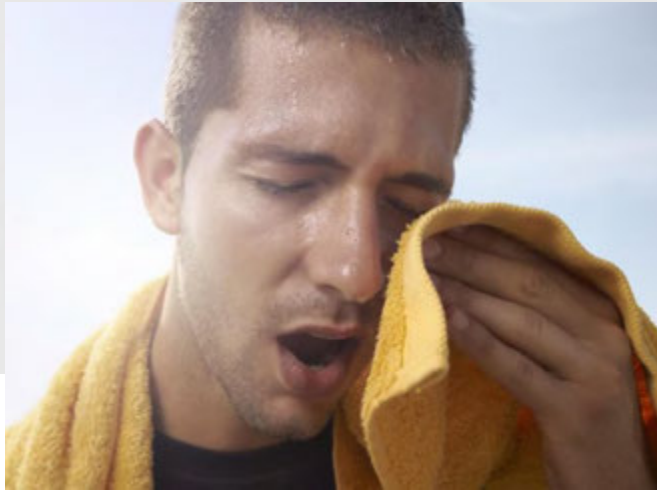


# *Retos en el control de fisuración por efectos térmicos en estructuras de infraestructura en concreto*

*Ramon L. Carrasquillo, PhD, PE  
Carrasquillo Associates, LTD  
Puerto Rico*

# Temperatura

Gran Problema



¿Temperatura?

温度

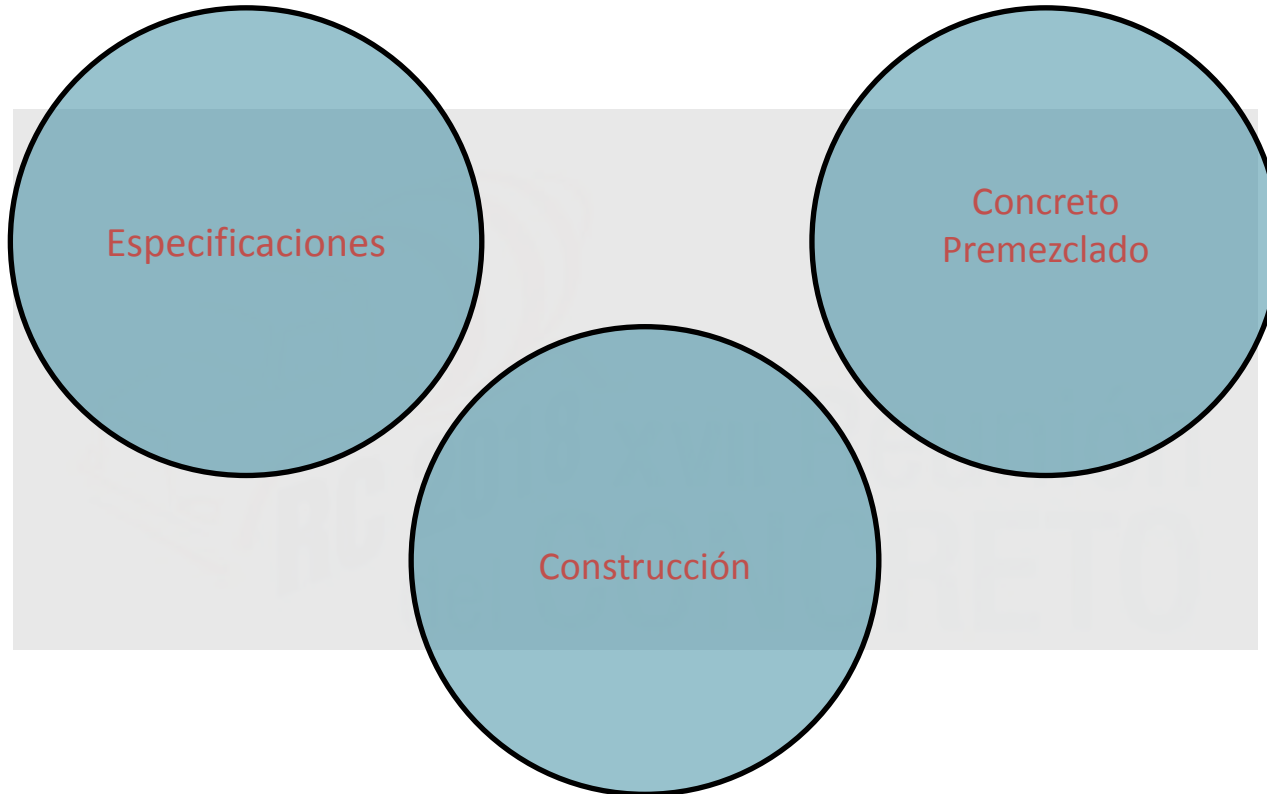
# Temperatura

- No es bien entendido
- No se enseña en la escuela
- Se trata a ciegas en base a límites
- Diseño – retrasado
- Afecta todos los aspectos del diseño y la construcción
- Consecuencias son reales

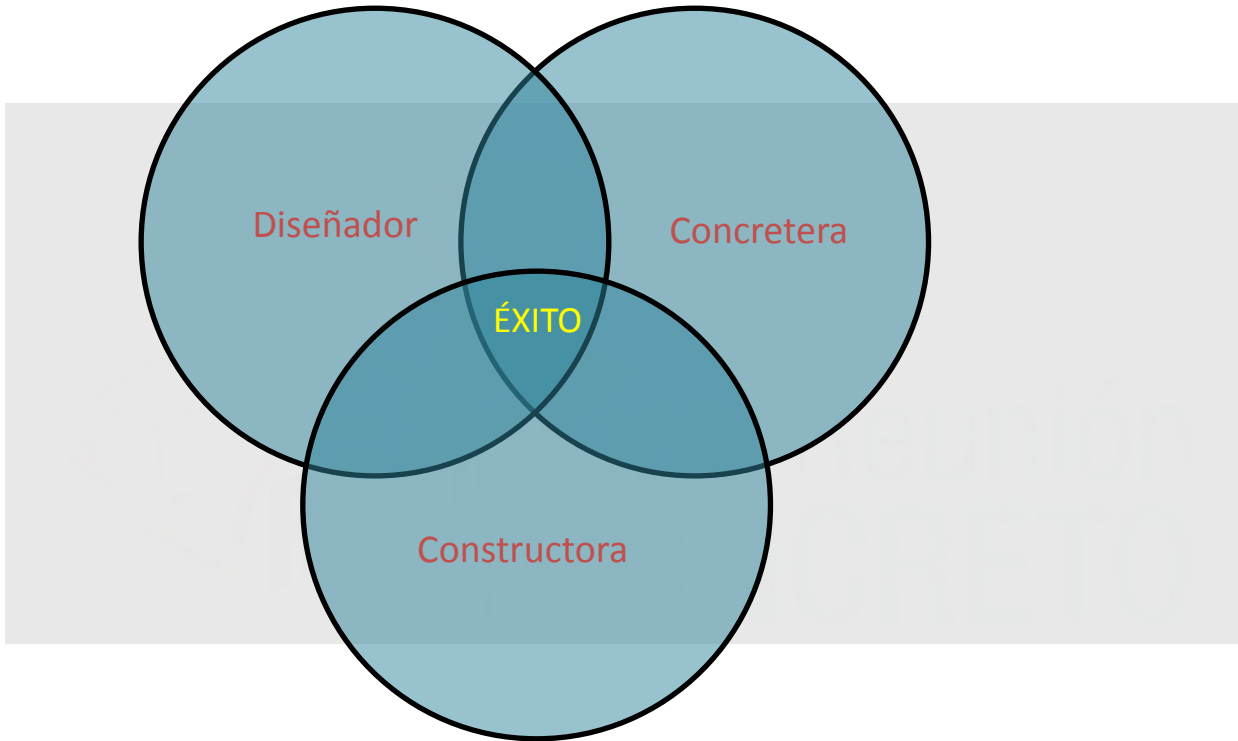
Enfoque:



# ¿Problema?



# ¿Solución?



# Definición

- Vaciado de concreto el cual debido a sus dimensiones, materiales, diseño de mezcla y/o a las condiciones ambientales puede resultar en fisuramiento del elemento de concreto en sitio debido a efectos termales.

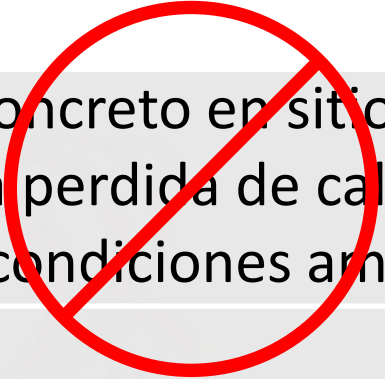
# Carrasquillo's Rule of Thumb

- 5 pies en la dirección de la disipación de calor pero puede ser menor debido a condiciones especiales como los requisitos de las especificaciones y/o las condiciones ambientales



Lo mejor es verificar  
con un modelo/mockup

# ¿Objetivo?

 Proteger el concreto en sitio lo más posible para evitar la pérdida de calor y los efectos de las condiciones ambientales

Permitir que el concreto libere la mayor cantidad posible de calor lo más pronto posible previniendo un gradiente alto de temperatura

# Filosofía

## 1. Reducir la temperatura interna del concreto

- Concreto Fresco
- Calor de Hidratación

## 2. Manejar el Curado y Protección a Temprana Edad

- Controlar la disipación de calor
- Controlar el gradiente interno por temperatura
- Mantener la superficie del concreto húmeda
- Reducir la retracción por secado

## 3. Controlar la re-integración al proceso constructivo

- Resistencia del concreto
- Exposición a las condiciones ambientales

# Factores a considerar...

## Concreto Fresco

- Trabajabilidad
- Tiempo de Fragüe
- Terminado
- Colocado - Juntas Frías

## Concreto Endurecido

- Resistencia
  - Tiempo/ Edad
  - En Sitio
- Protección a Temprana Edad
  - Curado
  - Temperatura
- Durabilidad
  - Fisuramiento
  - Corrosión del Acero
  - Permeabilidad
- Progreso del Proceso Constructivo

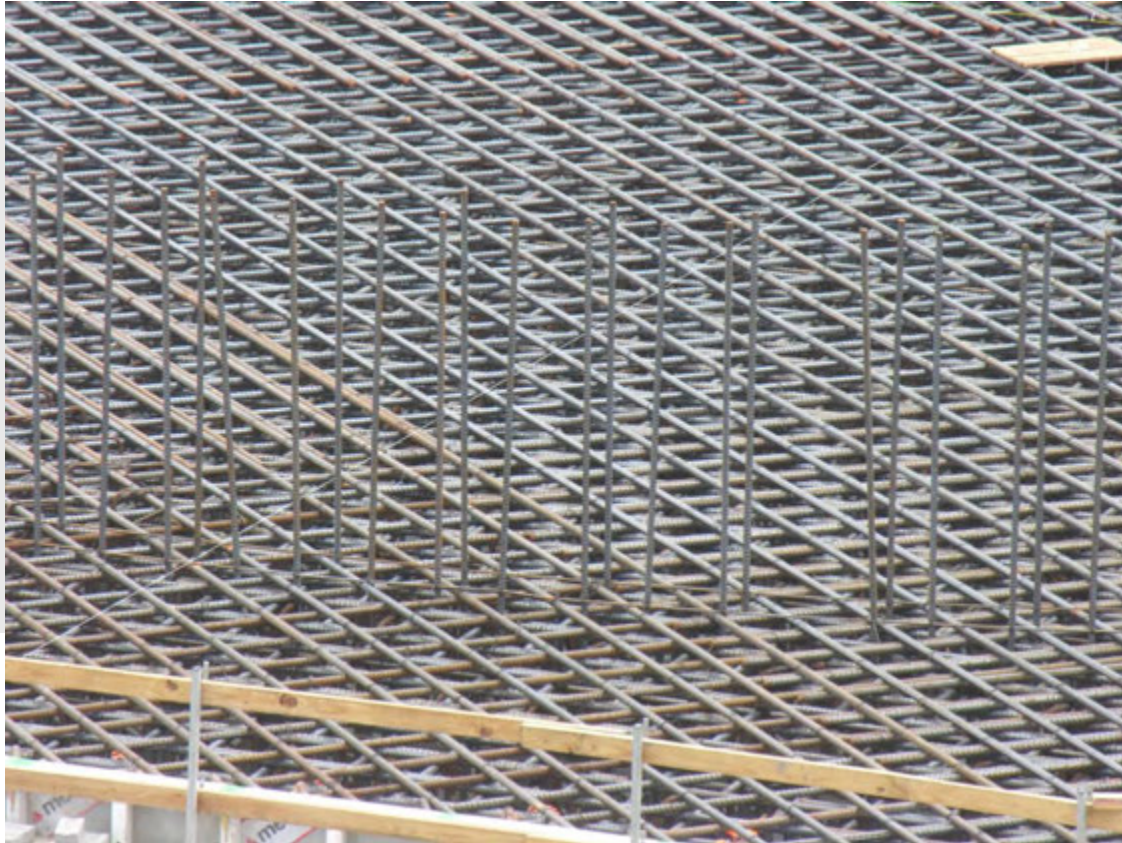


- Diseño de Mezcla
  - Materiales
  - Proporciones
- Temperatura del Concreto Fresco
- Coordinación Entre Producción y Colocado
- Control de Calidad en el Campo
- Resistencia de Diseño
  - Temprana Edad
  - Edad de Diseño
- Monitoreo de la Temperatura Interna del Concreto en Sitio
- Coordinación del Curado con las condiciones ambientales y el proceso constructivo
- Reparación del Fisuramiento





# Acero de refuerzo en construcción masiva



# Acero de refuerzo en construcción masiva



# Pobre coordinación del proceso constructivo



# Pobre coordinación del proceso constructivo



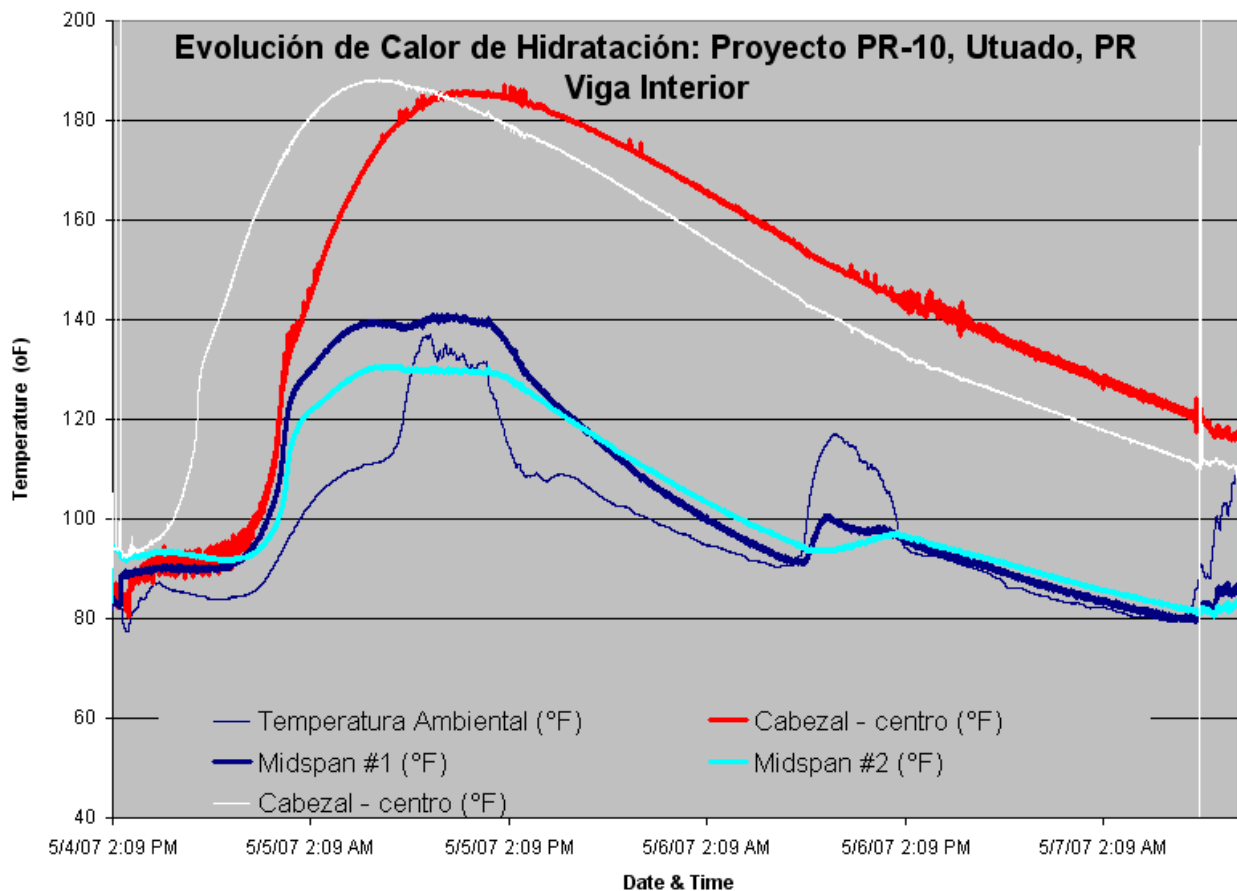
# Infraestructura Vial



# Infraestructura Vial



# Generación de Temperatura Interna





# Efectos de temperatura en la resistencia del concreto



# Guías Generales

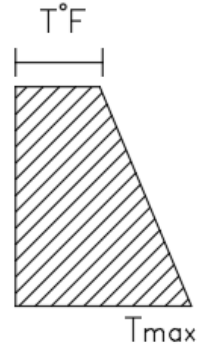
- Temperatura del concreto fresco
  - Necesaria para evitar que el concreto endurecido exceda  $160^{\circ}\text{F}$
- Temperatura máxima del concreto en sitio
  - $160^{\circ}\text{F}_{\text{max}}$
- Gradiente máximo de la temperatura interna del concreto
  - $35^{\circ}\text{F}_{\text{max}}$
- Monitoreo de la temperatura interna del concreto
  - Varios lugares
  - Profundidad: 2 @ 7.5cm., 1 @ 15 cm. & 30 cm., 2 @ media profundidad
- Curado/ Protección durante la temprana edad
  - Mínimo 7 días
  - Gradiente interno  $\leq 35^{\circ}\text{F}$
  - Temperatura interna en descenso
  - Gradiente máximo con el ambiente durante 24 horas anteriores  $\leq 50^{\circ}\text{F}$
  - Temperatura ambiente en ascenso por las próximas 6 horas

# Gradiente de Temperatura

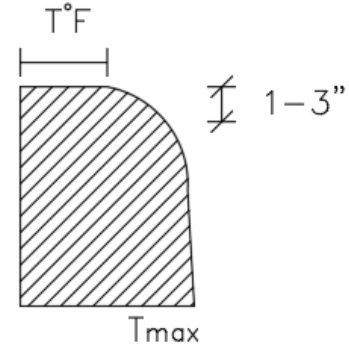
CONDICIONES  
AMBIENTALES  
 $T^{\circ}F$



GRADIENTE DE TEMPERATURA



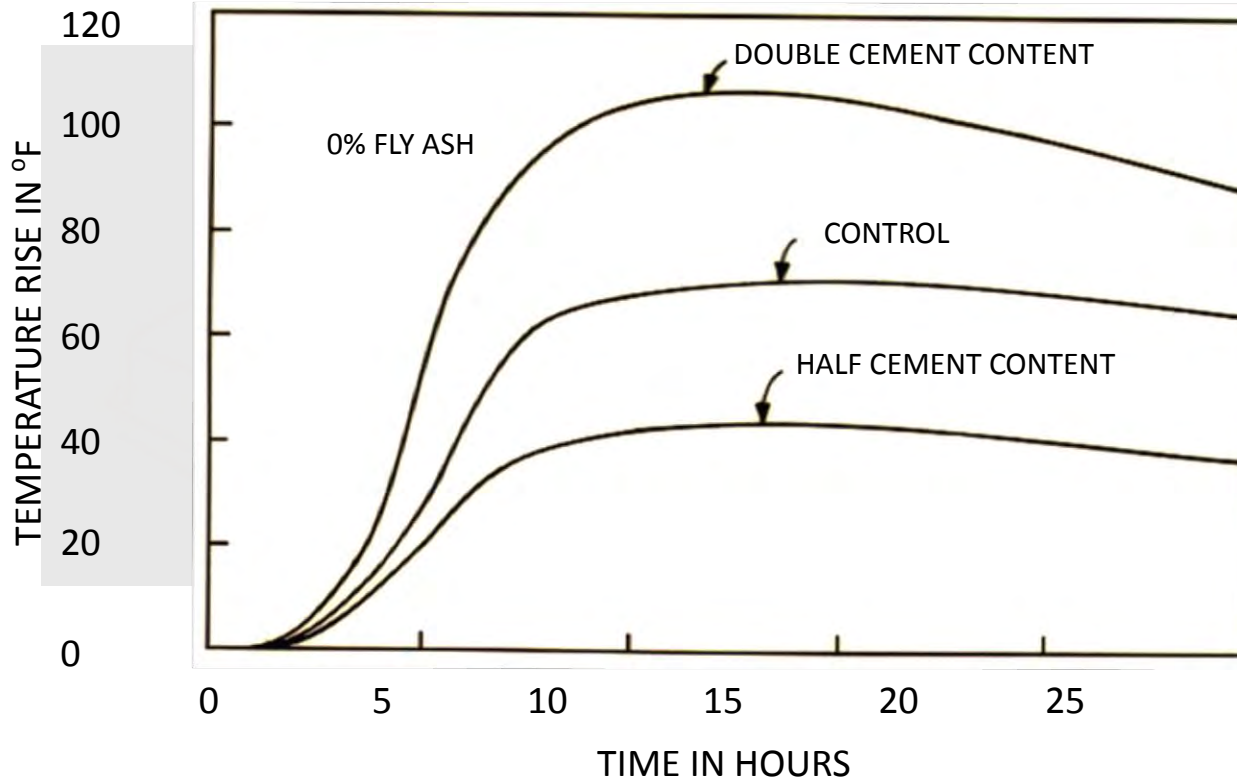
DISEÑO



REALIDAD  
TEMPRANA EDAD

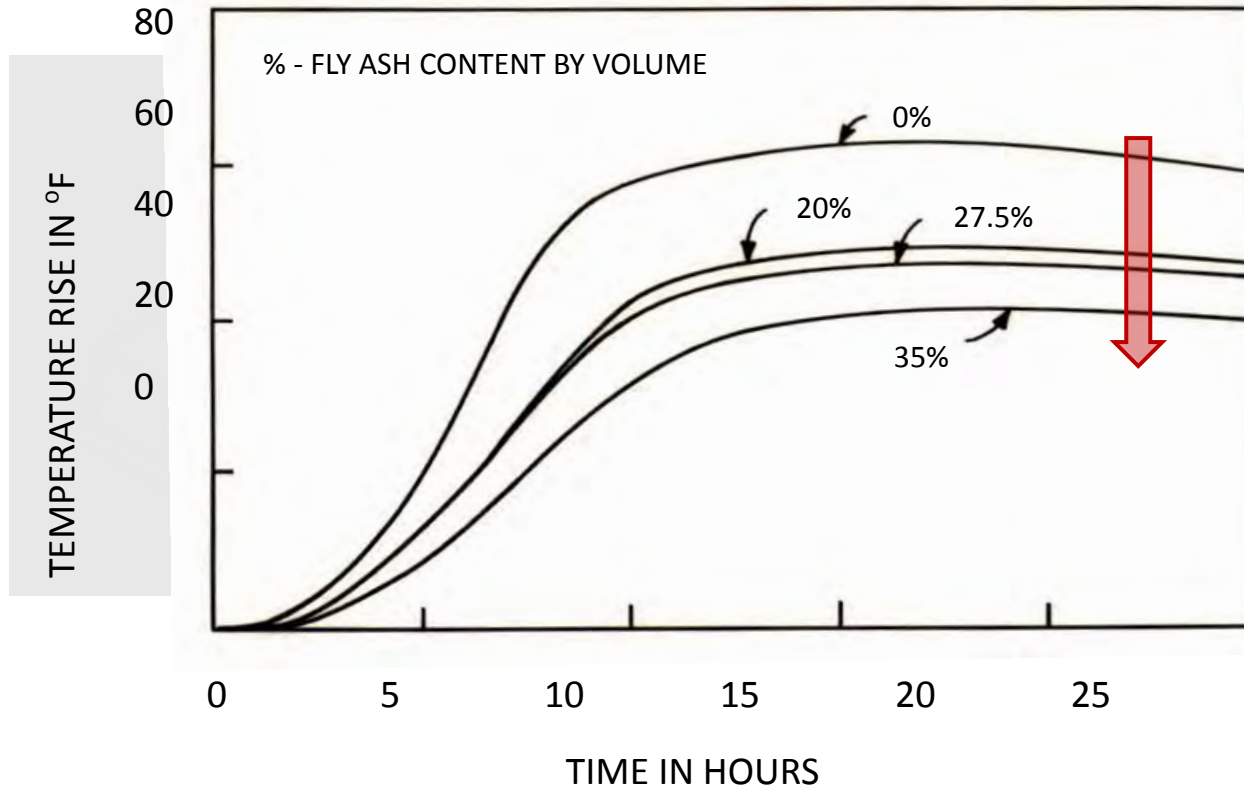
# Efecto del Contenido de Cemento

.467 W / C RATIO, TYPE I CEMENT



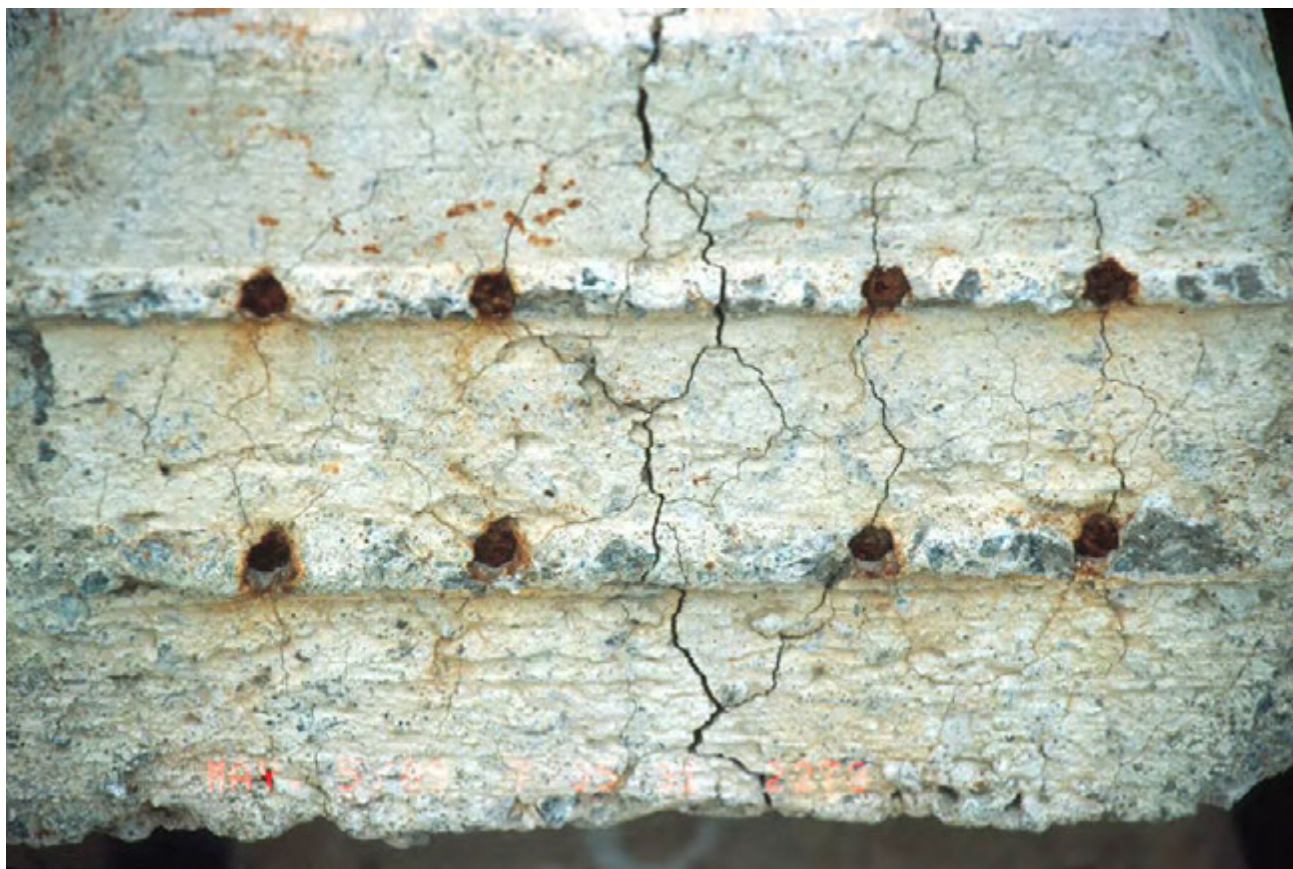
# Efecto de la Adición de Ceniza Tipo F

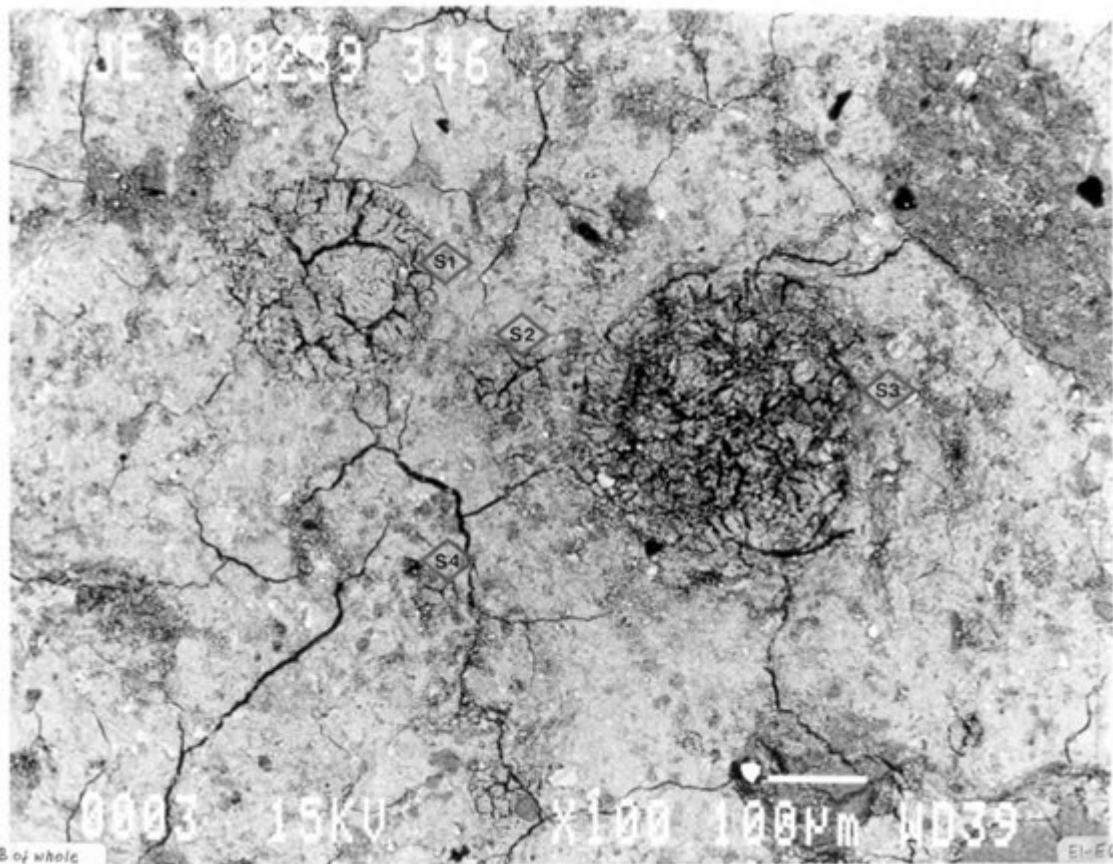
.467 W / (C+FA) RATIO, TYPE I - II CEMENT



- Concreto curado a temperaturas altas mayores de  $\sim 185^{\circ}\text{F}$  tienen una resistencia y módulo de elasticidad menor que el mismo concreto curado a temperaturas más bajas.



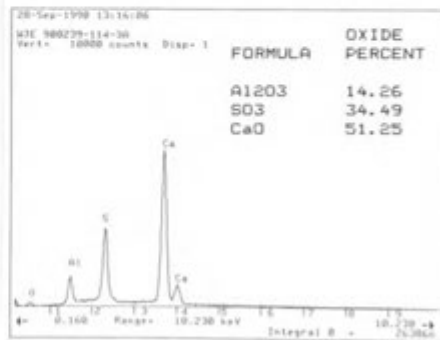
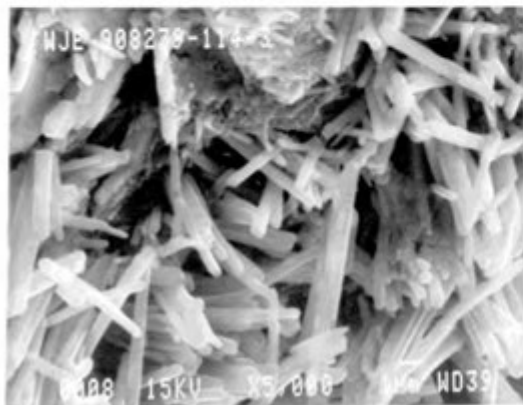
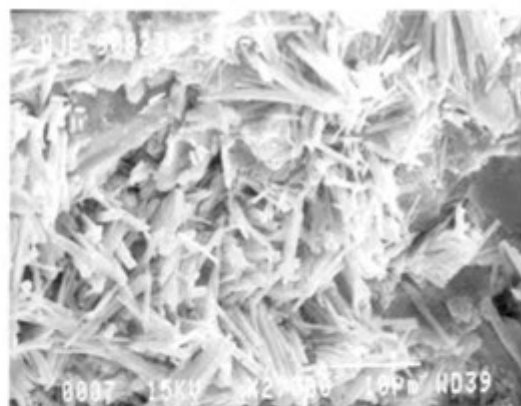
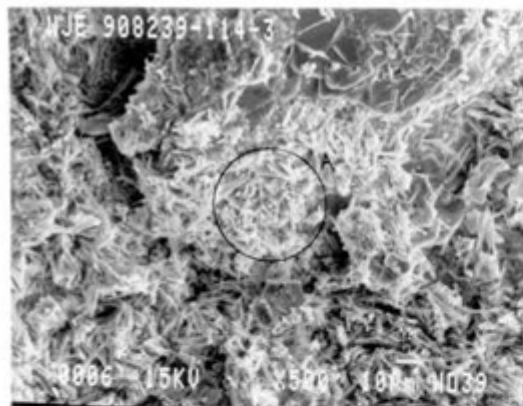




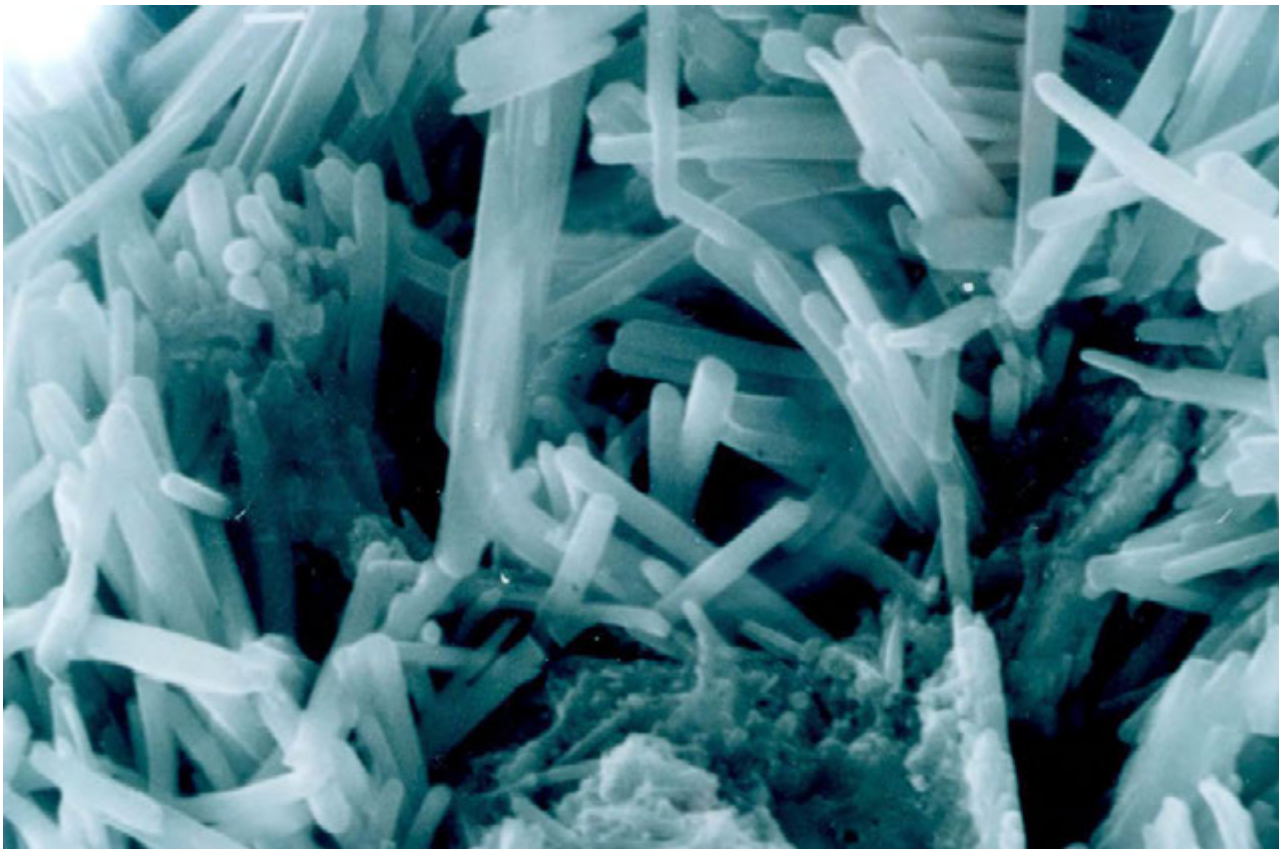
B of whole  
 location is  
 R.EI at 100K

E1-E6

E4 10



Tie II4, No.3 - Fragment, middle section - Location A  
 Ett in W socket  
 Magnification 500x, 2000x and 5000x

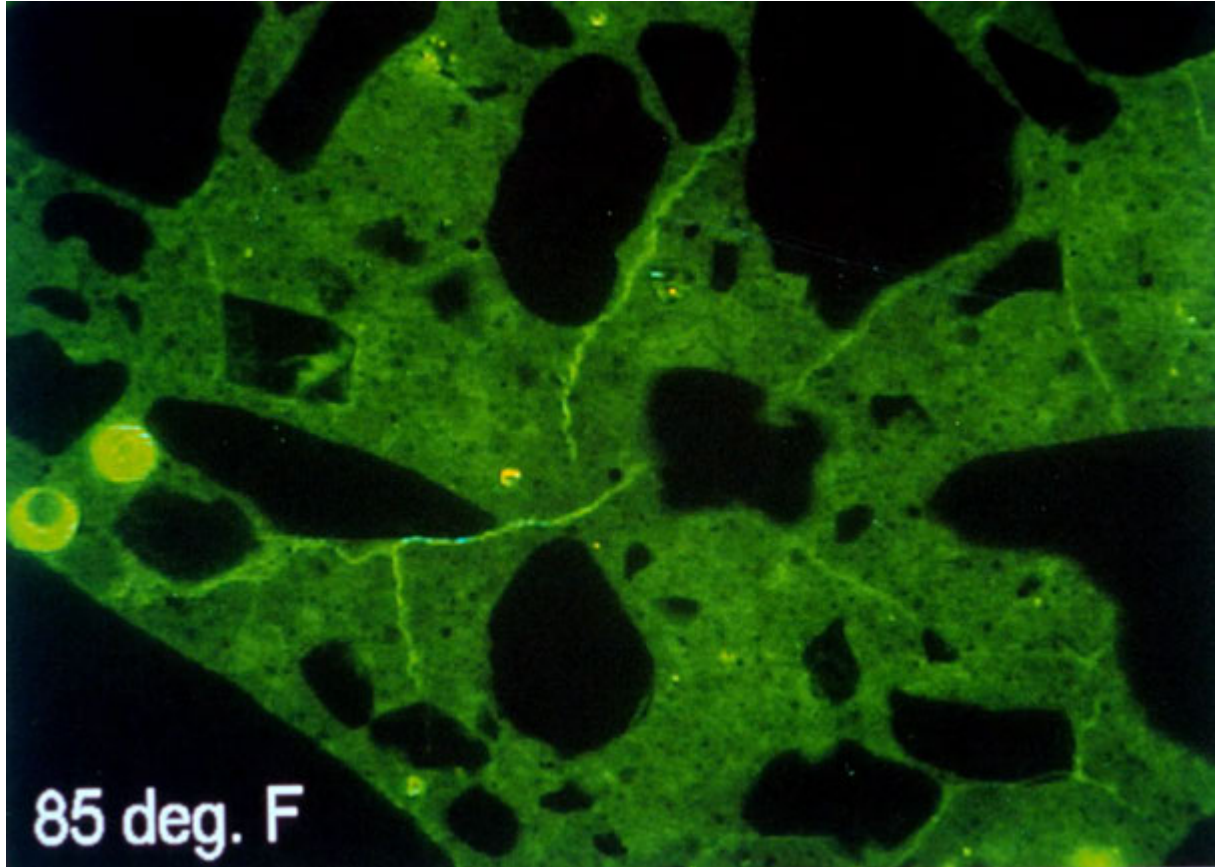




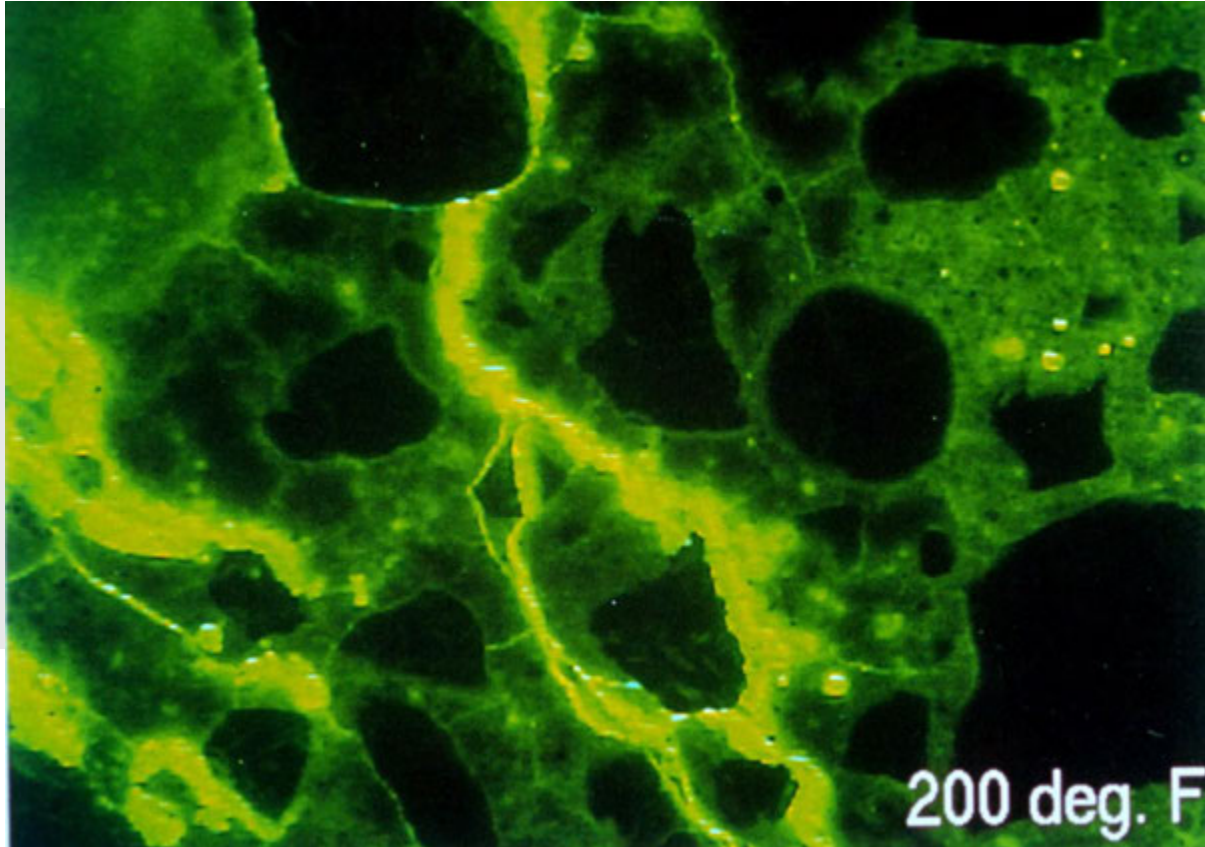




# Efectos de temperatura en la resistencia del concreto



# Efectos de temperatura en la resistencia del concreto



# Columna de Alta Resistencia



# Columna de Alta Resistencia



# Columna de Alta Resistencia



# Texas Children's Hospital (TCH): Case Study



NRI – TEXAS CHILDRENS HOSPITAL  
HOUSTON, TEXAS

Summary Report

June 25, 2008



**CARRASQUILLO ASSOCIATES**  
MATERIALS, CONSTRUCTION, AND  
STRUCTURAL CONSULTANTS

5113 Southwest Parkway, Suite 250 • Austin, TX 78735  
(512) 358-7020 • Fax (512) 358-7021

[www.carrasquilloassociates.com](http://www.carrasquilloassociates.com)

- Concrete Mix Design
- Fresh Concrete  
Temperature
- Quality Control Sampling  
and Testing
- Pre-Placement Cooling
- Embedded Piping
- Temperature Monitoring
- Concrete Specifications
- Concrete Curing
- Remediation

# Concrete Mix Design (selected)

167 kg/m<sup>3</sup> Cemento  
167 kg/m<sup>3</sup> Ceniza Tipo F  
6,000 psi @ 56 días  
Piedra de 25 mm.

Quality Control  
(713) 666-7966  
(713) 666-5814 Facsimile

## CONCRETE MIX DESIGN DATA

To: Building Concrete Solutions

Design No.: 7592

Description: 6Sk, 50%Ash, 1"LS, SUP

f<sub>c</sub>: 6000psi @56 Days

Use: Mat Foundation

Batched From: Various

Attn: Eddic Bustamante

Project Name: NRI - Texas Childrens Hospital

### S.S.D. Mix Proportions per Cubic Yard

Cement: ASTM C - 150 TYPE III 282 lbs

Flyash: ASTM C - 618 CLASS C 50% 282 lbs

Coarse Agg: ASTM C - 33 1" LIMESTONE 1700 lbs

Coarse Agg:

Fine Agg: ASTM C - 33 CONCRETE SAND 1475 lbs

Water: ASTM C - 94 250 lbs

Admixture: ASTM C - 494 Viscocrete 2100 33.8 ozs \*

Admixture: ASTM C - 494 Plastiment - RET. 5.6 ozs \*

A.E.A.: ( NONE ) 2% +/- 1% 0.0 ozs \*

Slump: 8 INCH +/- 1.5 INCH

\* Dosage Rates of Admixtures may vary, due to ambient and / or placement conditions.

Note 1: All materials meet or exceed ASTM standards when tested under the applicable ASTM methods of testing.

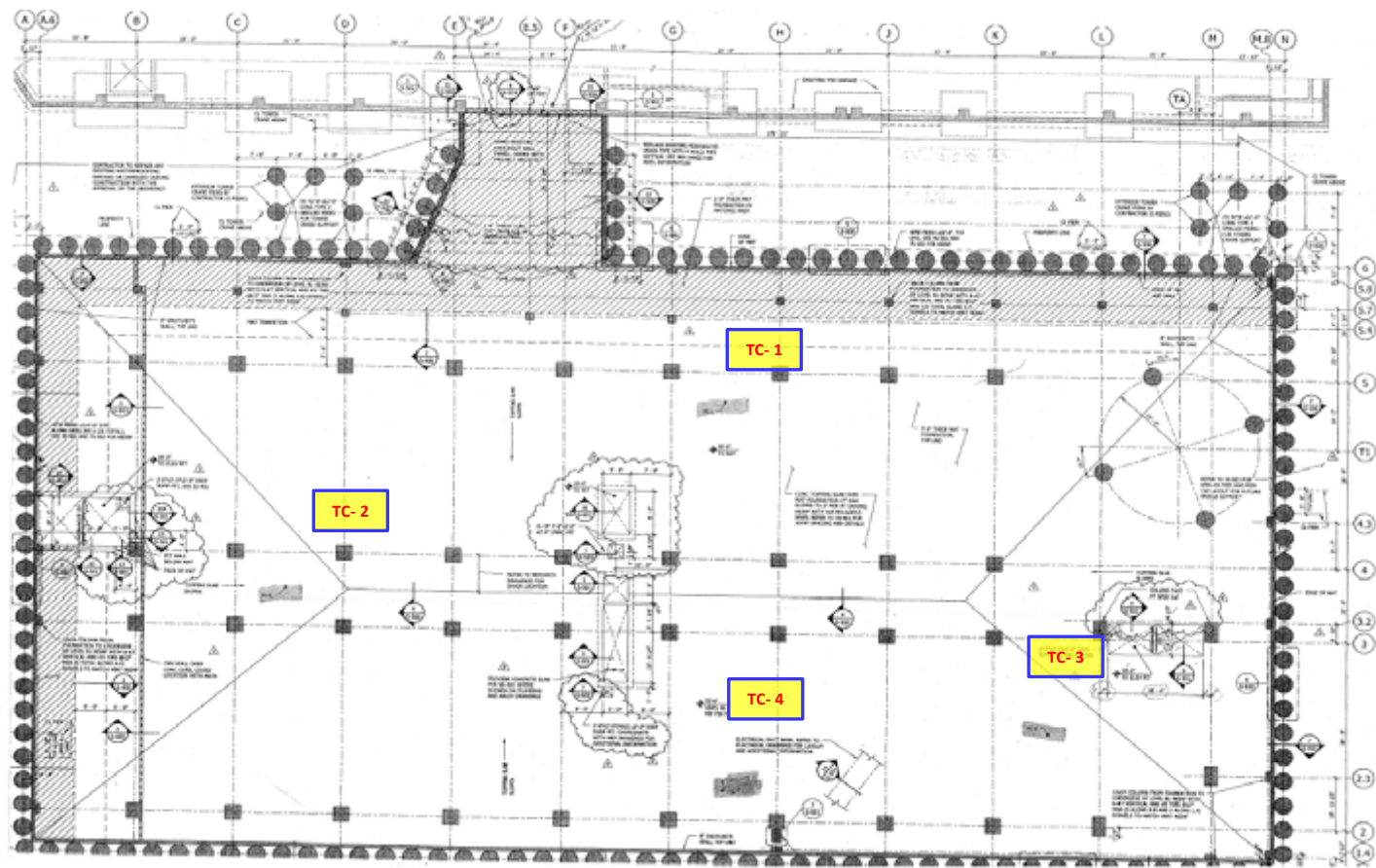
Note 2: Southern Star Quality Control would appreciate receiving concrete test reports on the project, enabling us to monitor mix performance and provide data for future projects.

Note 3: TO ENSURE YOU RECEIVE THE CORRECT MIX, YOU MUST ORDER BY MIX DESIGN NUMBER.

# Monitoreo de Temperatura

- 4 logger locations
  - 3 identified in plans
  - 1 selected by General Contractor
- Daily monitoring
  - Responsibility of an independent testing laboratory
- Ensures concrete performs as intended

# Monitoreo de Temperatura



# Árbol de Puntos de Monitoreo





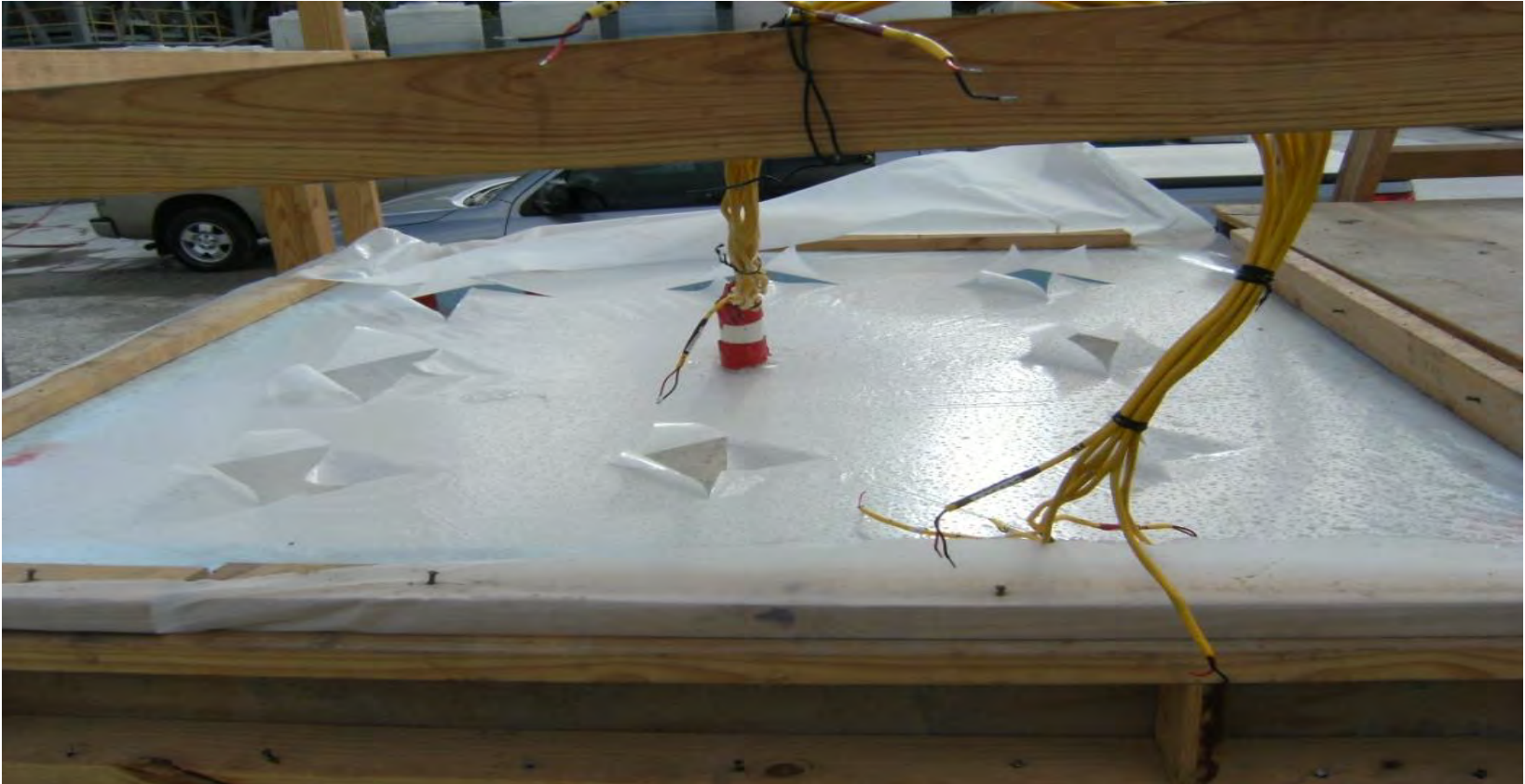
# Mockup



# Mockup: Detalle de Tubería de PVC



# Modelación de la Ventilación del Calor



# Data del Proyecto

- 4,860 yd<sup>3</sup> (3,740 m<sup>3</sup>) total
  - Ningún camion rechazado
  - Tiro de concreto duró 11 hrs.
- T max = 154 °F
- $\Delta T$  max = 30 °F
- Resistencia a la Compresión
  - ~7,800 psi @ 180 días
- Despacho continuo de 4 plantas  
& 2 en standby

# Pre-Enfriamiento

- Responsabilidad del Contratista:
  - Humedecer el acero de refuerzo y formaletas
  - Saturar la losa base o suelo



# Manejo de Tuberías Internas

- Llenarlas de agua para prevenir que floten
- Presurizar a 5 psi – depende de profundidad



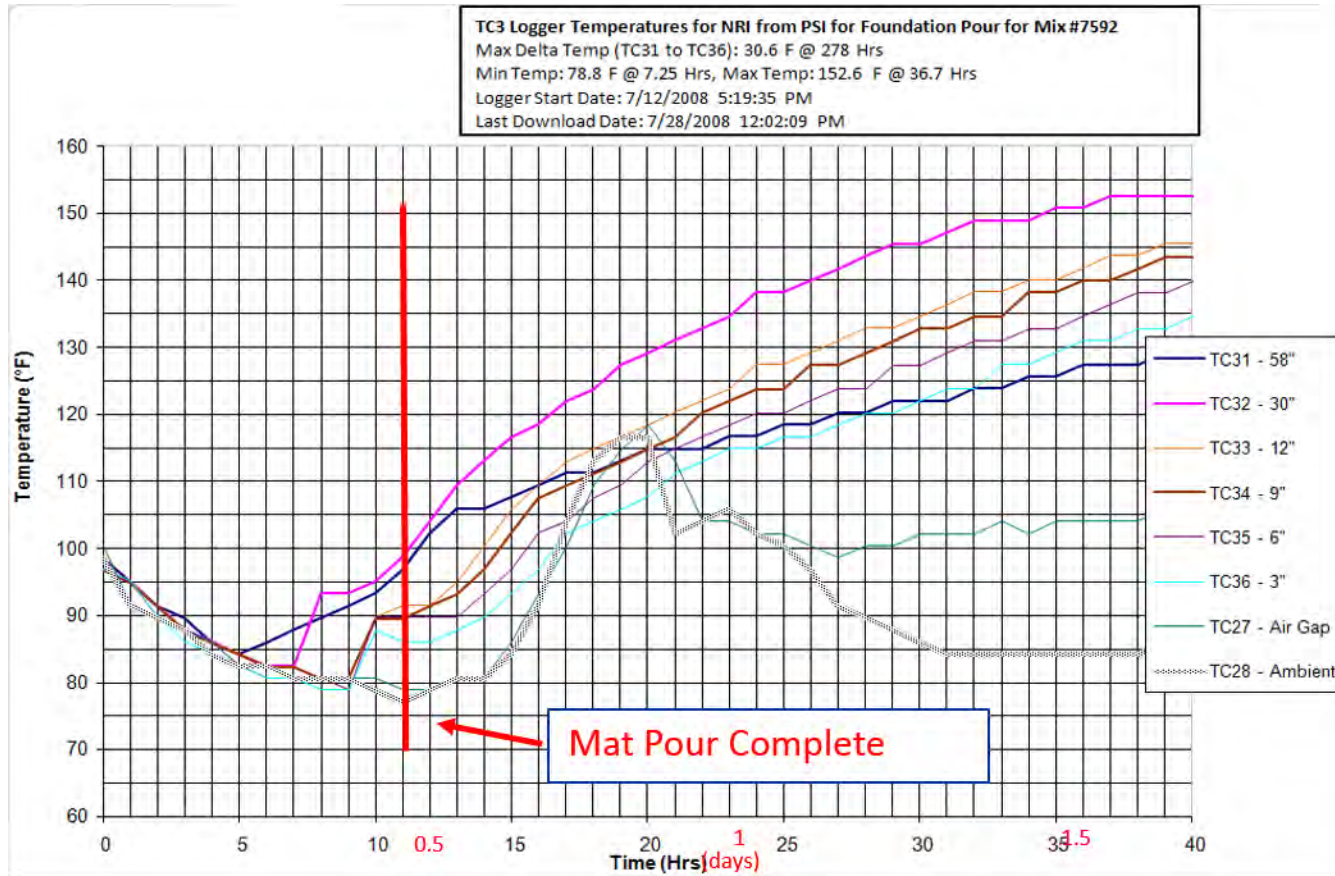
# Coordinación del vaciado



# Protección a Temprana Edad - Curado



# Monitoreo de Temperatura



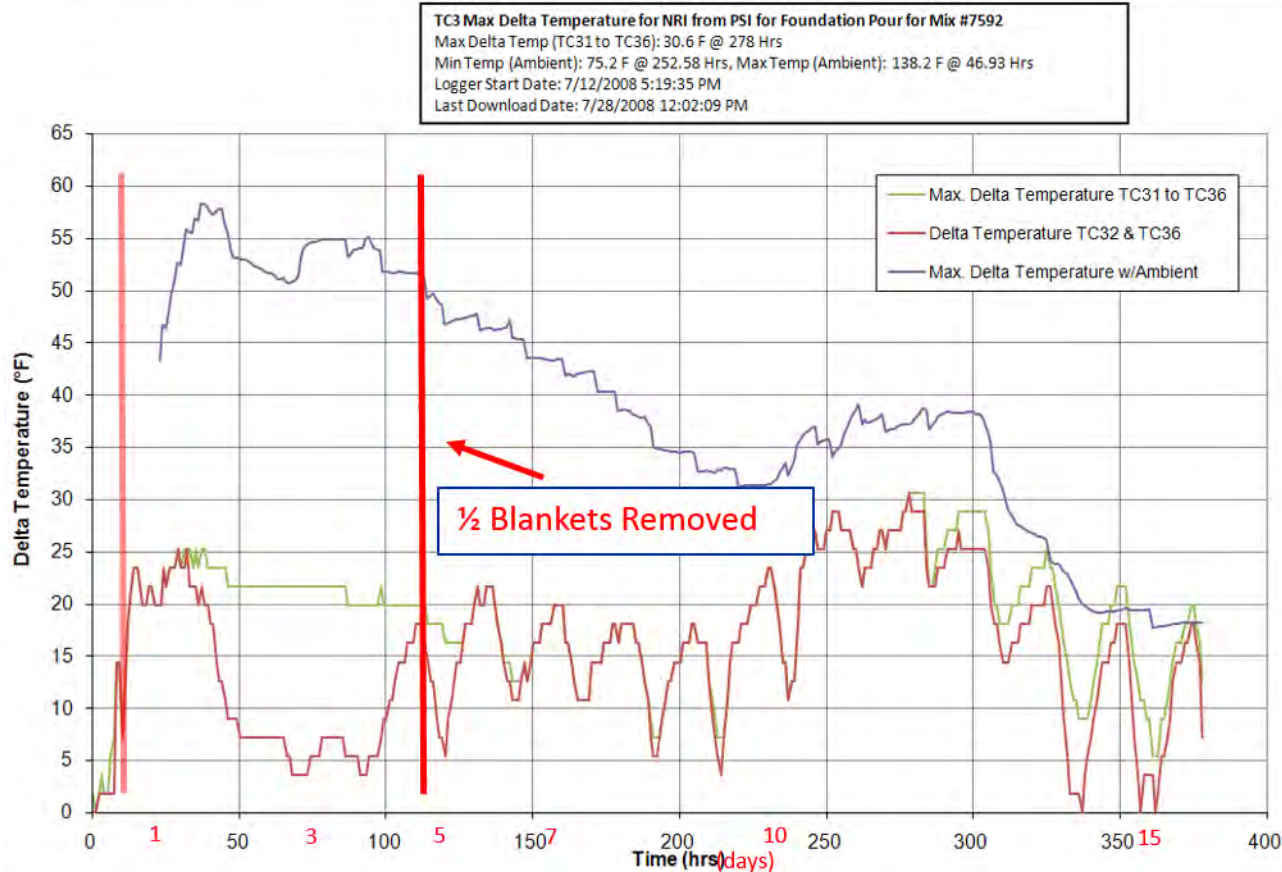
# Protección durante Temprana Edad



# Proteccion durante Temprana Edad - Curado



# Monitoreo de Temperatura



# Control de la Disipación de Calor



# Monitoreo de Temperatura

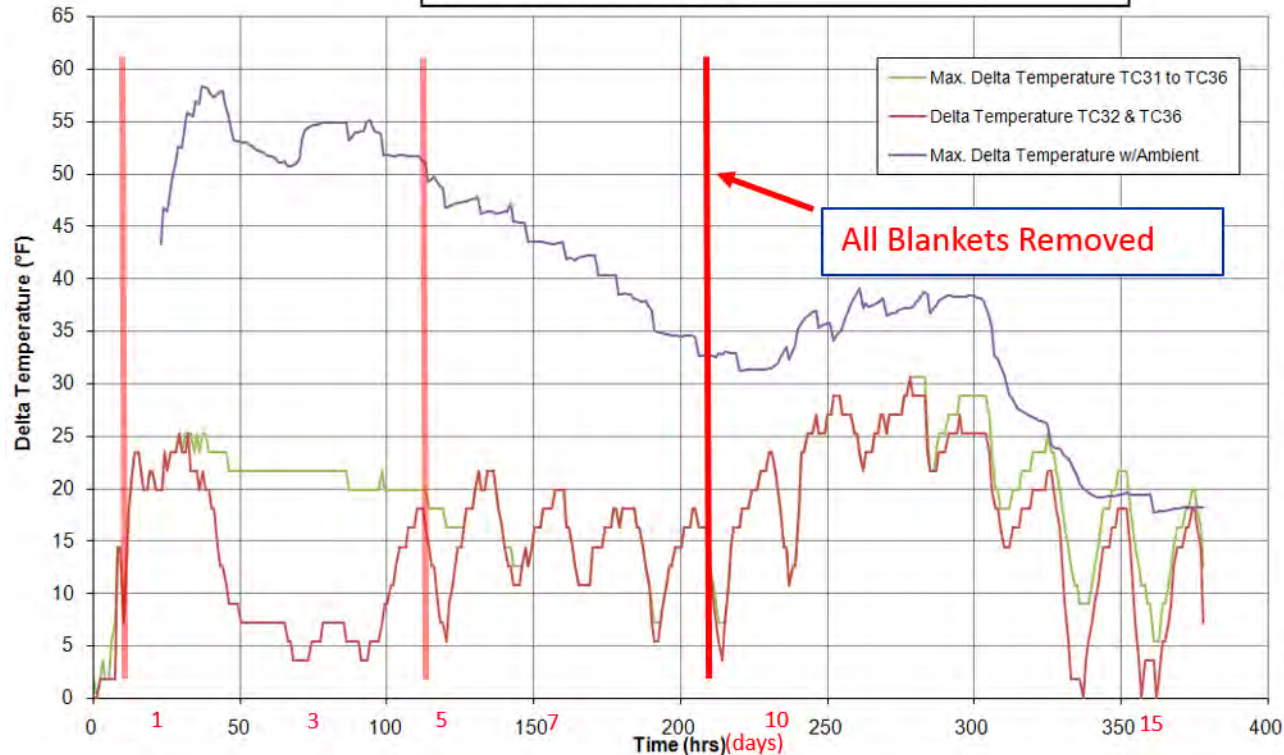
TC3 Max Delta Temperature for NRI from PSI for Foundation Pour for Mix #7592

Max Delta Temp (TC31 to TC36): 30.6 F @ 278 Hrs

Min Temp (Ambient): 75.2 F @ 252.58 Hrs, Max Temp (Ambient): 138.2 F @ 46.93 Hrs

Logger Start Date: 7/12/2008 5:19:35 PM

Last Download Date: 7/28/2008 12:02:09 PM



# Coordinación con el Proceso Constructivo



# Coordinación con el Proceso Constructivo



# Monitoreo del Prognostico del Tiempo

## Saturday



Mostly Sunny

High **87°F**

Low 71°F

Precip 10 %

## Sunday



Mostly Sunny

High **86°F**

Low 71°F

Precip 10 %

## Monday



Sunny

High **86°F**

Low 71°F

Precip 10 %

## Tuesday



Isolated T-Storms

High **86°F**

Low 71°F

Precip 30 %

## Wednesday



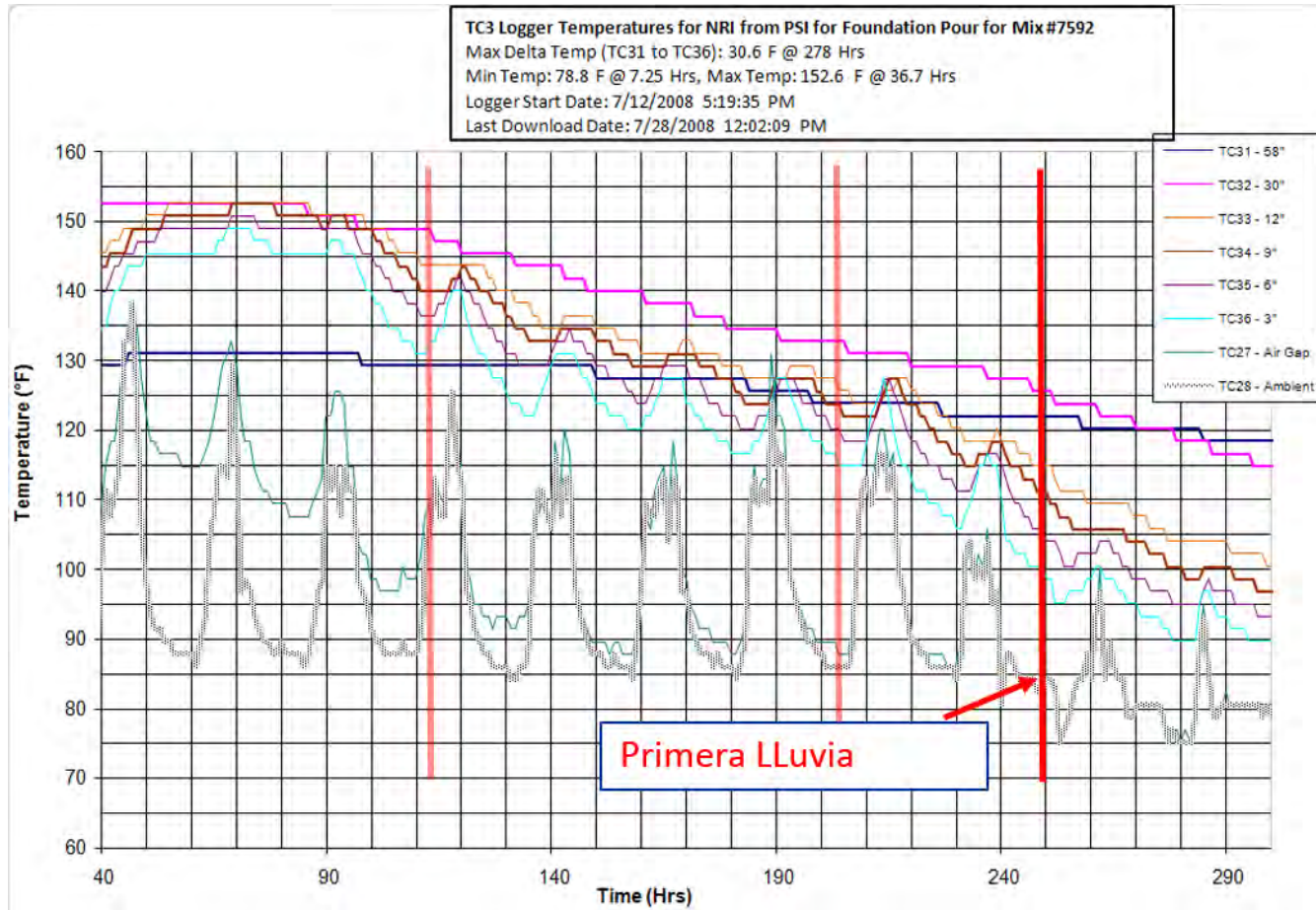
Partly Cloudy

High **85°F**

Low 68°F

Precip 20 %

# Monitoreo de Temperatura



# Manejo de Fisuramiento



# Remediación

- Fisuras pueden ocurrir
  - No serán profundas
- Fisuras que excedan  $1/16^{\text{th}}$  in. deben sellarse
  - Gravity fed high molecular weight methacrylate crack sealer and healer
    - Alta capacidad en elongación: >30%
    - Baja rigidéz o módulo de elasticidad
    - Viscosidad: <10 – 15 cps
    - Baja sensibilidad a la humedad

# UT MD Anderson (UTMDA) Case Study



# Árbol de Monitoreo de Temperatura



12/11/2009

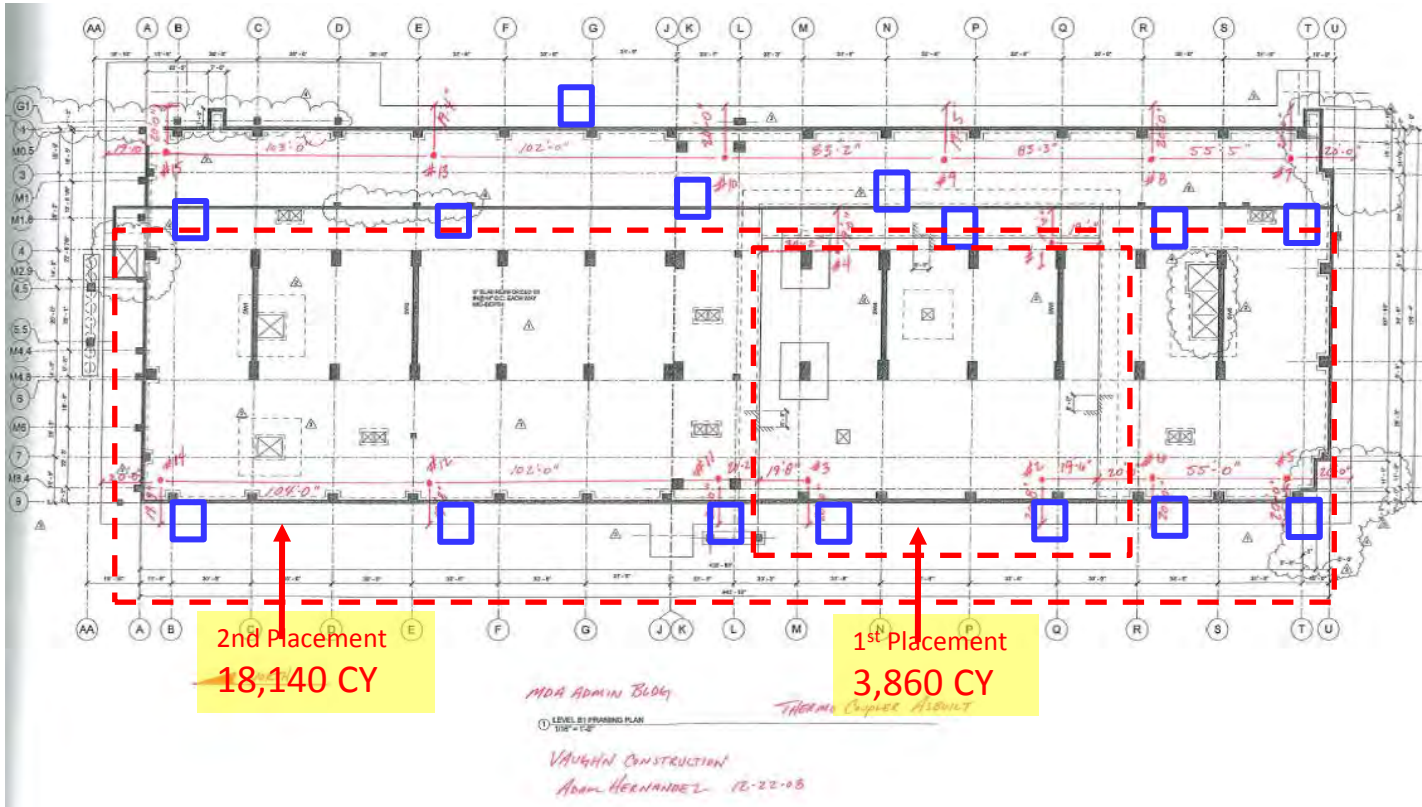
# Árbol de Monitoreo de Temperatura



# Árbol de Monitoreo de Temperatura



# Data Logger Locations



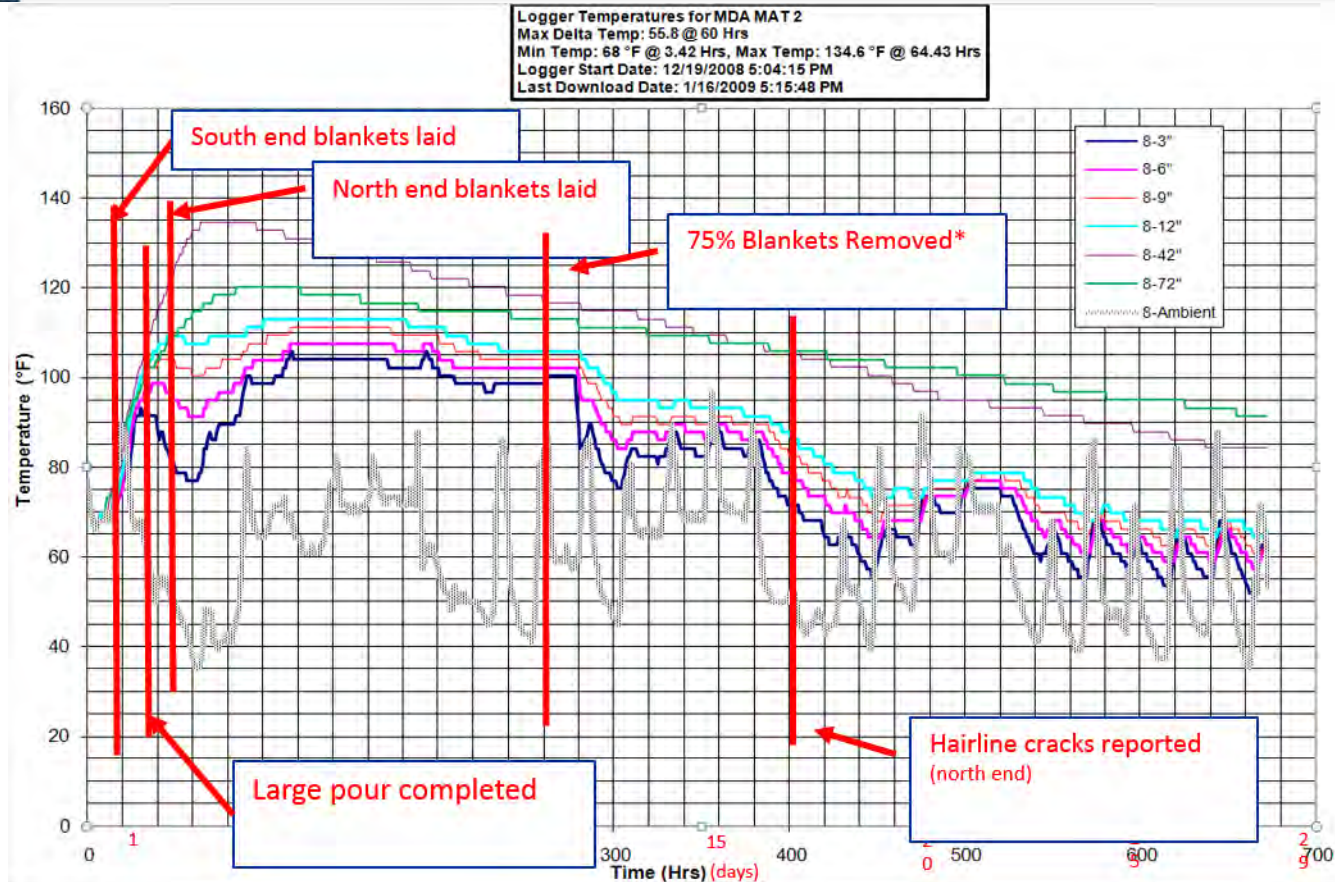


# Control de calidad

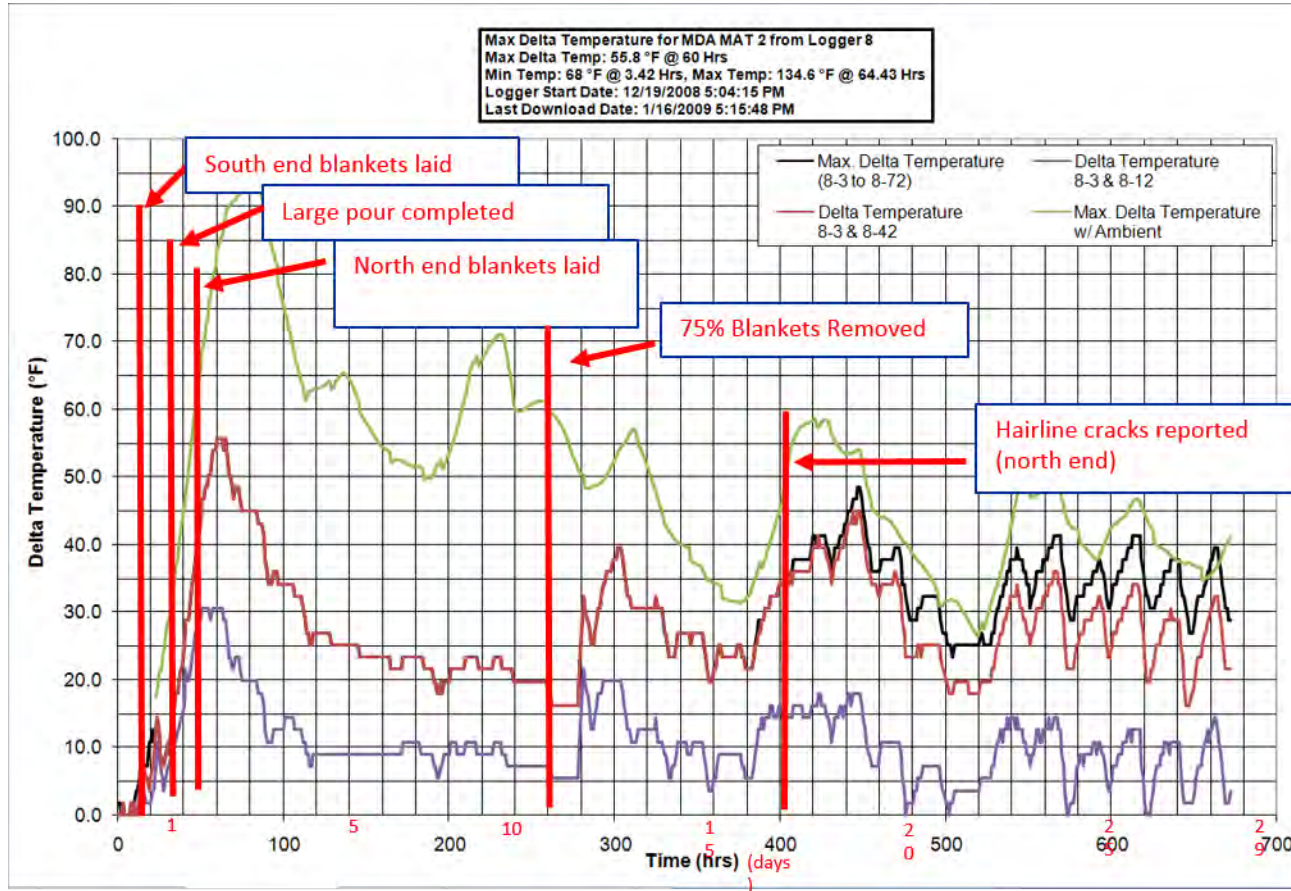


> 1,750 cilindros, 150 camiones en 72 hrs.

# \* Monitoreo de Temperatura



# Monitoreo de Temperatura

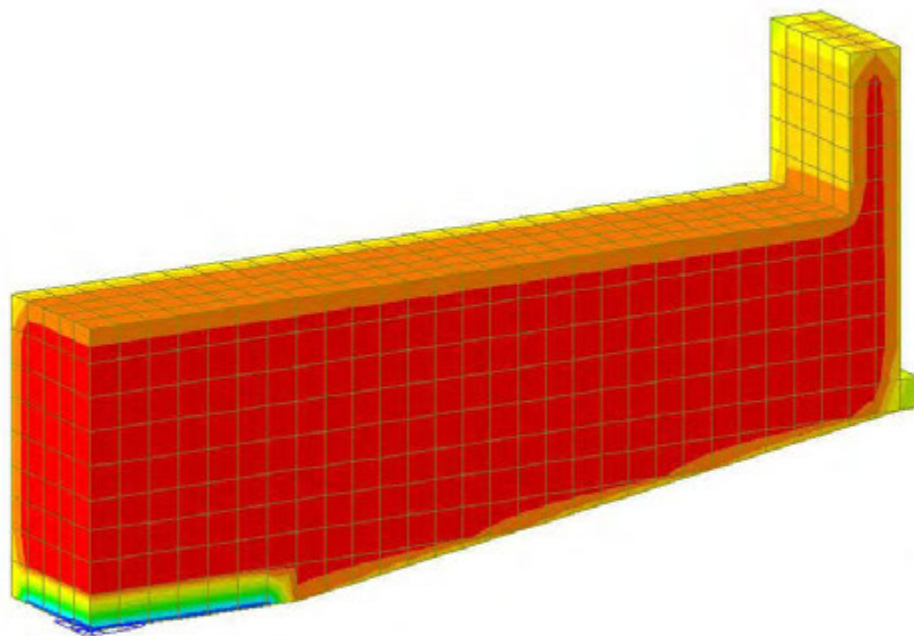


# Modelos de Predicción de Temperatura Interna

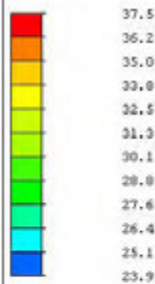
- Schmidt's Method
  - Iterative method based on heat transfer
- PCA Method
  - Easy, quick estimate
- ACI 207.2
  - Empirical graphical charts and equations
- Computerized Finite Element Analysis
  - Computer based model of stress, time and temperature

# Heat Flow Analysis

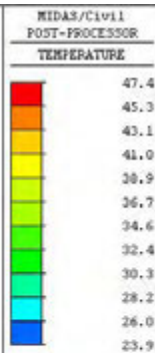
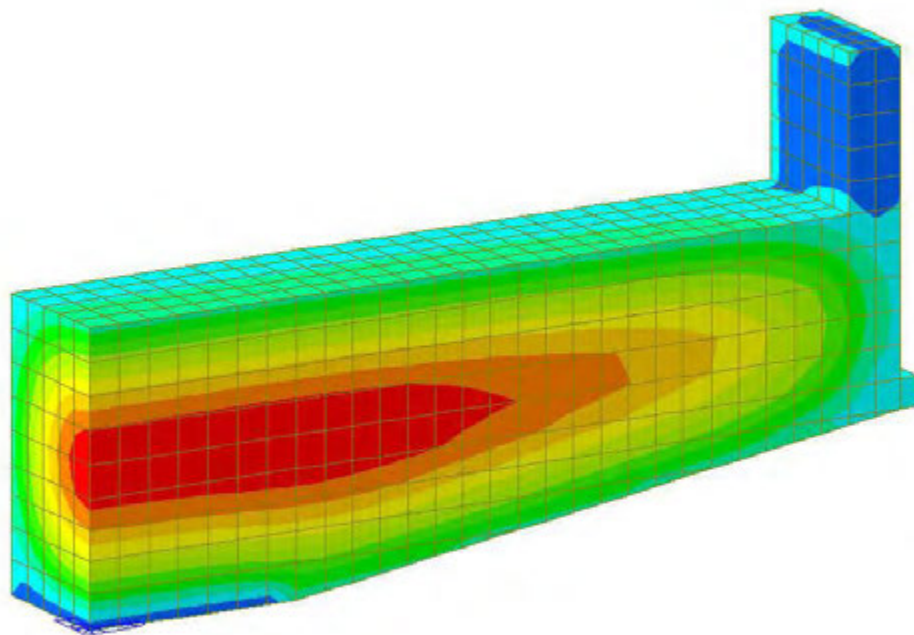
Puerto Rico DOT, Carretera 10  
Utuado, PR



MIDAS/Civil  
 POST-PROCESSOR  
 TEMPERATURE



STAGE: CS1  
 Hydration  
 MY Step 1, 4.0hr  
 MAX : 457  
 MIN : 876  
 FILE: HEAT OF HY-  
 UNIT: C  
 DATE: 05/20/2005  
 VIEW-DIRECTION  
 X: -0.483  
 Y: -0.837  
 Z: 0.259



STAGE: CS1  
 Hydration  
 MY Step24, 168.0hr  
 MAX : 530  
 MIN : 2632  
 FILE: HEAT OF HY-  
 UNIT: C  
 DATE: 05/20/2005  
 VIEW-DIRECTION  
 X: -0.683  
 Y: -0.637  
 Z: 0.259

# Carrasquillo's Rule of Thumb

- 10 -12 °F por cada 100 lb de Cemento o de Ceniza Clase C
- 5 - 6 °F por cada 100 lbs. de Ceniza Clase F

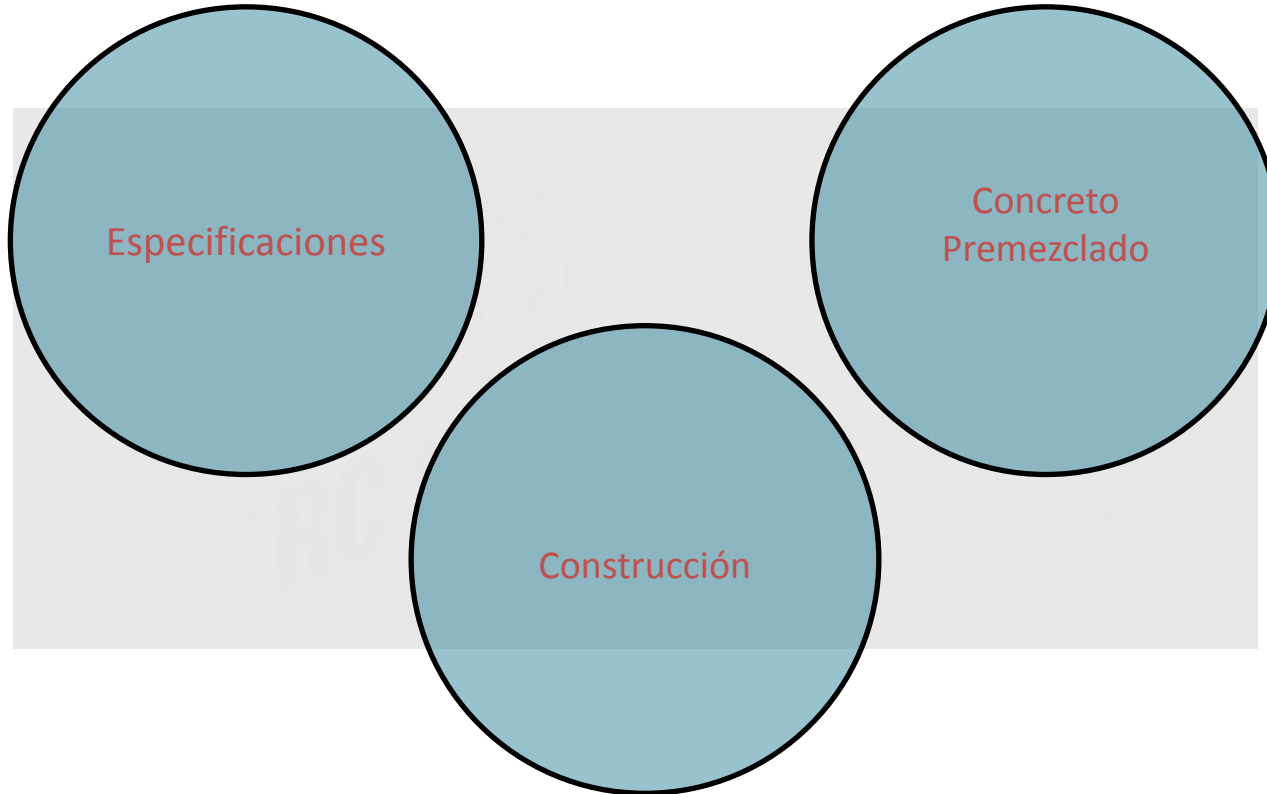


**Lo mejor es hacer  
pruebas con la mezcla  
de concreto**

# Guías Generales

- Temperatura del concreto fresco
  - Necesaria para evitar que el concreto endurecido exceda  $160^{\circ}\text{F}$
- Temperatura máxima del concreto en sitio
  - $160^{\circ}\text{F}_{\text{max}}$
- Gradiente máximo de la temperatura interna del concreto
  - $35^{\circ}\text{F}_{\text{max}}$
- Monitoreo de la temperatura interna del concreto
  - Varios lugares
  - Profundidad: 2 @ 7.5cm., 1 @ 15 cm. & 30 cm., 2 @ media profundidad
- Curado/ Protección durante la temprana edad
  - 7 días
  - Temperatura interna en descenso
  - Gradiente interno  $\leq 35^{\circ}\text{F}$
  - Gradiente máximo con el ambiente durante 24 horas anteriores  $\leq 50^{\circ}\text{F}$
  - Temperatura ambiente en ascenso por las próximas 6 horas

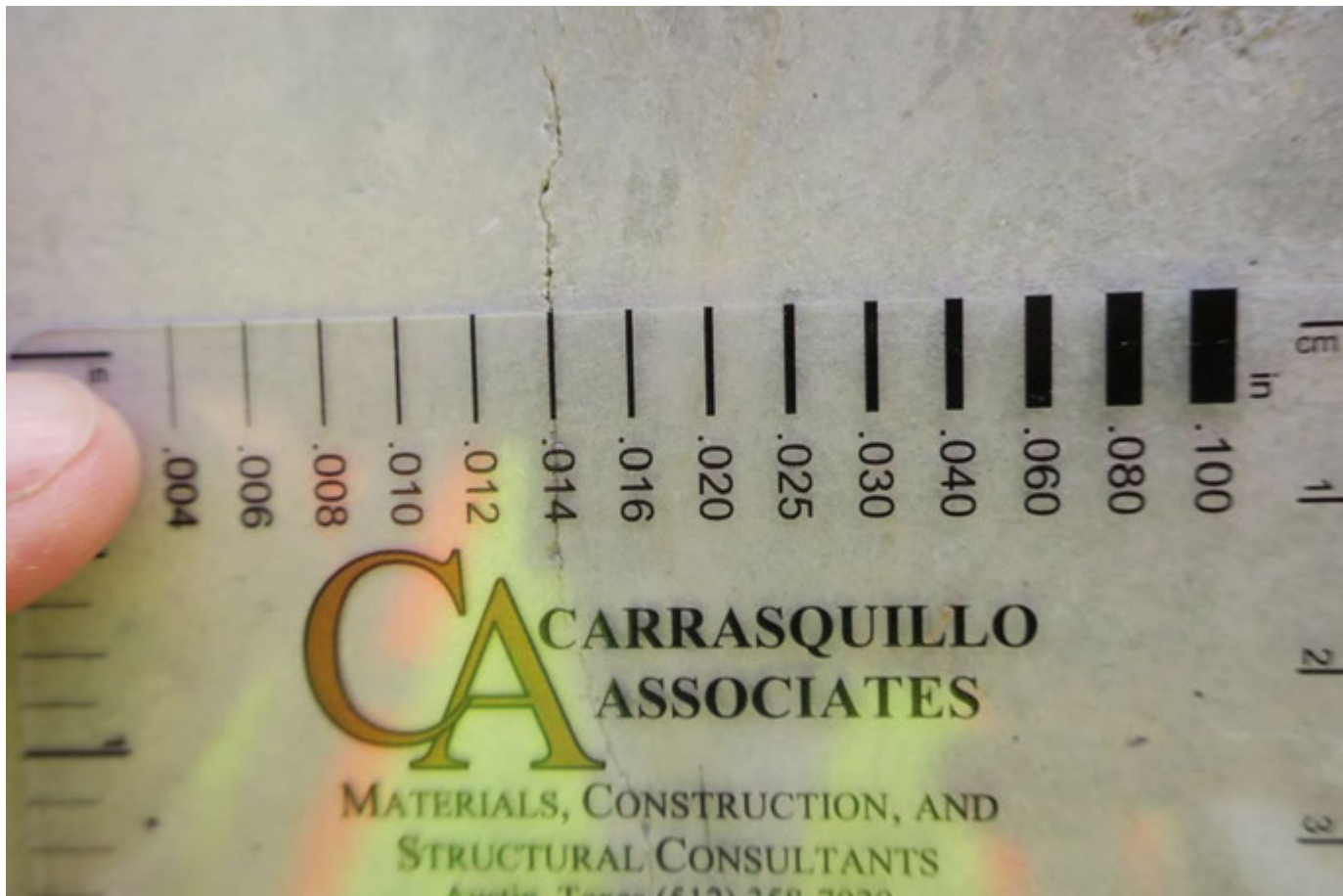
# ¿Problema?











# ¡MUCHAS GRACIAS!

