

**DIAGNÓSTICO DE LA INFLUENCIA DE LAS TEMPERATURAS AMBIENTE  
EN LA RESISTENCIA FINAL DEL CONCRETO**

**DAVID LEONARDO LLANOS PEÑA**

**UNIVERSIDAD GRAN COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
BOGOTÁ, D.C.  
MAYO DE 2015**

**DIAGNÓSTICO DE LA INFLUENCIA DE LAS TEMPERATURAS AMBIENTE EN  
LA RESISTENCIA FINAL DEL CONCRETO**

**Autor: David Leonardo Llanos Peña**

**PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERIA CIVIL.**

**Asesor disciplinar  
Lucio Lopez Yepez, I.c.**

**Asesor metodológico  
Olga Lucia Vanegas Alfonso, I.c.**

**UNIVERSIDAD GRAN COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
BOGOTÁ, D.C.  
MAYO 2015**

**Notas de aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

---

**Firma de director.**

---

**Firma de coordinador**

---

**Firma de jurado**

---

**Firma de jurado**

A Dios, mis padres y toda mi familia.

## **AGRADECIMIENTOS**

Sobre todo a Dios y a mi familia, que los aquellos encargados de forjar en mi los buenos valores y la buena ética, pues prima lo humano ante lo profesional. Agradezco a mis docentes durante toda mi vida escolar, pues ellos formaron en mi el carácter de un buen profesional.

## **TITULO**

DIAGNÓSTICO DE LA INFLUENCIA DE LAS TEMPERATURAS AMBIENTE EN LA RESISTENCIA FINAL DEL CONCRETO

## **AUTOR**

David Leonardo Llanos Peña

## **TUTORES DEL PROYECTO**

Ing. Lucio López Yopez

Ing. Olga Lucia Vanegas A.

## **LUGAR DE ELABORACION**

Departamento: Cundinamarca.

Ciudad/Año: Bogotá D.C./ 2015.

Entidad: Universidad la Gran Colombia.

## **LINEA DE INVESTIGACION.**

Edificaciones y obras civiles con tecnología apropiada para la reducción de la vulnerabilidad y mejoramiento de la calidad de vida: EDOC – UGC.

## **PALABRAS CLAVE**

Agregados, concreto, cemento, cilindros, curado, flexión, temperatura, hidratación, resistencia, carbonatación, concreto en masa, termocuplas, compresión.

## TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS .....	5
1 INTRODUCCION.....	12
2 OBJETIVOS.....	14
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	14
3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA. ....	15
4 JUSTIFICACION .....	18
5 ANTECEDENTES.....	20
5.1 LOS PRIMEROS REGISTROS DE LA TEMPERATURA EN EL HORMIGÓN.....	20
5.2 EL ESTUDIO DE KIEGER Y EL ACI .....	21
5.3 DOCUMENTO DE LA PCA .....	22
5.4 LA NRMCA Y SUS ARTÍCULOS DE WHAT, WHY & HOW .....	24
5.5 NATIONAL CONCRETE PAVEMENT TECHNOLOGY CENTER .....	25
5.6 MÉ TODO DE LA MADUREZ Y ALGUNAS INVESTIGACIONES DESARROLLADAS.....	26
6 HIPOTESIS.....	29
7 MARCO REFERENCIAL .....	30
7.1 MARCO CONCEPTUAL .....	30
7.1.1 Hormigón .....	30
7.1.2 Cemento.....	31
7.1.3 Agua .....	33
7.1.4. Agregados pétreos .....	34
7.1.5 Temperatura .....	34
7.1.8 Resistencia a la compresión. ....	38
7.1.9 Clima.....	39
7.1.10 El desarrollo de la temperatura y humedad durante el día. ....	40

7.2	MARCO LEGAL .....	41
7.2.1	Normatividad en el Diseño de Mezcla .....	41
8	MATERIALES .....	43
8.1	CEMENTO PORTLAND TIPO 1 .....	43
8.1.1.	Densidad del cemento (NTC 221) .....	44
8.2	Agregado grueso de rio (grava): .....	44
8.3	Agregado Fino .....	45
8.4	Agua .....	45
9	MARCO METODOLOGICO.....	46
9.1	FASE 1: PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS .....	48
9.1.1	Diseño De Mezcla .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
9.1.2	Análisis del equipo usado para la preparación del ensayo .....	49
9.2	FASE 2: FRAGUADO Y CURADO DE LAS MUESTRAS .....	55
9.2.2	Curado de especímenes dentro de la cámara de clima constante. ....	56
9.2.3	Registro de información de las termocuplas. ....	58
9.3	FASE 3: DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION .....	58
10	RESULTADOS .....	60
10.1.	Graficas de temperatura. ....	62
10.1.3	Graficas de temperatura del ensayo en la camara de clima constante. ....	72
11	CONCLUSIONES .....	77
12	RECOMENDACIONES .....	78



## LISTA DE TABLAS

	Pag
<b>Tabla 1</b> Resultados de la compresión de cilindros en el Effect Of Mixing And Curing Temperature On Concrete Strength	22
<b>Tabla 2</b> Resultados del test por el PCA, Para The Influence of Casting and Curing Temperature on the Properties of Fresh and Hardened Concrete	23
<b>Tabla 3.</b> Secuencia de hidratación de los silicatos.	38
<b>Tabla 5 .</b> Especificaciones del cemento portland	44
<b>Tabla 6</b> Características del Agregado grueso	45
<b>Tabla 7</b> Otras características del agregado fino	46
<b>Tabla 8</b> de corrección por humedad de la mezcla	49
<b>Tabla 9</b> Temperaturas y humedades promedio en ciudades de Colombia	56
<b>Tabla10.</b> Resultados a la compresión (NTC-550) de las muestras fraguadas al aire libre.	58

## LISTA DE GRÁFICAS

	Pág
<b>Grafica 1</b> Comportamiento de la temperatura en Bogotá Del año 1981 al 2010	17
<b>Grafica 2</b> Graficas de relación de temperatura y madurez.	21
<b>Grafica 3</b> Relación de la resistencia a la compresión de concretos con fraguados y curados a baja temperatura.	25
<b>Grafica 4.</b> Evolución de calor de concreto a diferentes temperaturas para un volumen de 0.5m3.	27
<b>Grafica 5</b> Influencia del espesor del elemento de hormigón en la temperatura interna de hidratación.	32
<b>Grafica 6</b> Incremento de la resistencia Vs tiempo.	33
<b>Grafica 7</b> Desarrollo de calor del cemento.	37
<b>Grafica 8</b> Desarrollo de la temperatura del hormigo y sus etapas.	38
<b>Grafica 9</b> Registro de la Humedad y la Temperatura en Bogotá 13 y 14 de Marzo de 2015.	41
<b>Grafica 10</b> Resultados de las resistencias a 7 y 28 días para el ensayo al aire libre	60
<b>Grafica 11</b> Desarrollo de temperaturas a las 6:00 am	61
<b>Grafica 12</b> Desarrollo de temperaturas a las 10:00 am	62
<b>Grafica 13</b> Desarrollo de temperaturas a las 2:00 pm	64
<b>Grafica 14</b> Desarrollo de temperaturas a las 6:00 pm	65
<b>Grafica 15</b> Cotejo de temperaturas internas del hormigo.	66
<b>Grafica 16</b> Cotejo de humedades ensayo al aire libre.	68
<b>Grafica 17</b> Desarrollo de la temperatra en el hormigon a temperatura de 25°C y humedad 73.5% (Cali)	69
<b>Grafica 18</b> Desarrollo de la temperatra en el hormigon a temperatura de 22,4°C y humedad 68,2% (Medellin).	69
<b>Grafica 19</b> Desarrollo de la temperatra en el hormigon a temperatura de 22,4°C y humedad 68,2% (Barranquilla).	70
<b>Grafica 20</b> Desarrollo de la temperatra en el hormigon a temperatura de 22,4°C y humedad 68,2% (Barranquilla).	71

## LISTA DE FIGURAS

	Pág
<b>Imagen1</b> Cilindros para prueba al aire libre.	51
<b>Imagen 2</b> Cilindros para prueba en cámara de clima constante.	51
<b>Imagen 3</b> Data Logger Cem. Aparato de registro de temperatura.	51
<b>Imagen 4</b> Pesaje de los materiales	52
<b>Imagen 5</b> Mezclado de los materiales	52
<b>Imagen 6</b> Construcción de los cilindros	53
<b>Imagen 7</b> Fraguado y curado inicial de las muestras dejadas al aire libre	54
<b>Imagen 8</b> Colocación de las muestras en camisas de pvc, dentro de la cámara de clima constate.	55
<b>Imagen 8</b> Extracción de datos de humedad y temperatura.	57
<b>Imagen 9</b> Extracción de datos de humedad y temperatura.	57
<b>Imagen 10</b> Colocación de probeta en la máquina de compresión.	58

## 1 INTRODUCCION.

El hormigón convencional, es uno de los insumos más importantes y usados en la construcción, se obtiene a partir de mezclar cemento hidráulico, agua y agregados grueso y fino, de los cuales a través de un proceso de fraguado y curado se consigue una roca artificial lo suficientemente resistente para soportar cargas de gran magnitud comunes en el diseño de una edificación.

Registrar y controlar estas propiedades mecánicas del concreto, son dos aspectos de vital importancia, para garantizar que los cálculos del diseñador, correspondan a las características evidentes en la obra.

Sin embargo, por experiencia propia, un diseño de mezcla, no garantiza las propiedades mecánicas del concreto, pues hay diferentes factores que influyen en el fraguado y el curado del hormigón que afectan directamente los procesos de hidratación. Uno de estos, es el clima. Las temperaturas y humedades en el ambiente, pueden provocar cambios que inclusive, podrían llegar a afectar hasta en un 50%<sup>1</sup> la resistencia del concreto.

La Norma Sismo Resistente Colombiana, solicita que los ambientes de fraguado y curado del hormigón sean adecuados<sup>2</sup>, sin embargo, no señalan la importancia que tienen los procesos térmicos en el fraguado y curado del concreto. Los procesos químicos generados por la hidratación del cemento, involucran un aumento de temperatura dentro de la mezcla de hormigón; este aumento se presenta particularmente dentro de las primeras diez horas posteriores a la mezcla de los componentes. Este desarrollo de calor por parte del concreto, se ve afectado por la temperatura ambiente.

Las recomendaciones que se hacen en la NSR-10 sobre las condiciones climáticas al momento de mezclar y fundir hormigón, no hacen referencia a la resistencia perdida a causa de los cambios térmicos debido al clima, tales como humedad y temperatura.

---

<sup>1</sup> NATIONAL READY MIXED CONCRETE ASSOCIATION, Vaciados [Colados] en climas fríos, Estados Unidos de América, Pág. 1,

<sup>2</sup> ASOCIACION COLOMBIANA DE INGENIERIA SISMICA, Norma sismo resistente de 2010 NSR-10, Título C, Supervisión técnica, Bogotá: ICONTEC [2007], pag 10

El aumento de calor en una mezcla de hormigón, es evidencia del desarrollo de las propiedades mecánicas, inclusive, podemos medir la resistencia a la compresión, verificando la temperatura adquirida por el elemento durante el fraguado y curado. El procedimiento para determinar la resistencia a través del historial de temperaturas de una mezcla de hormigón, se conoce como Método de la madurez especificado en la NTC-3756. La técnica se basa en la suposición de que dos o más muestras de un hormigón, alcanzan resistencias iguales, si estas obtienen a su vez iguales valores del índice de madurez. El índice, es un indicador que se calcula usando la fórmula de madurez que se puede hallar en la norma, usando el historial de temperaturas de una mezcla. El historial de las temperaturas, se logra usando una termocupla electrónica generalmente conectada a una memoria que registre la información constantemente. Por consiguiente, si el ambiente altera la temperatura interna del hormigón, este modificara sus propiedades mecánicas.

En este documento, se verificara la importancia de mezclar y fundir el concreto a distintas horas del día, intentando señalar la influencia de la temperatura y la humedad ambiente en la temperatura interna del concreto durante las primeras horas de fraguado en la mezcla. Los datos obtenidos, arrojaran la resistencia final del hormigón sometido a condiciones climáticas diferentes. Al final de este documento señalaremos un ambiente con temperatura y humedad optimo para obtener los mejores resultados al momento de fundir hormigón.

## **2 OBJETIVOS.**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Determinar la incidencia que tiene la temperatura ambiente en la resistencia final del concreto, durante el vaciado y las primeras horas de maduración de la mezcla.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Construir probetas de concreto de acuerdo a las norma NTC-550, sometiendo las muestras a diferentes condiciones de temperatura y humedad ambiente presentes durante el día y la noche en la ciudad de bogota.

Construir probetas de concreto de acuerdo a las norma NTC-550, usando la camara de clima constante para someter las muestras a humedades y temperaturas seleccionadas de acuerdo a los climas medios de algunas ciudades del territorio nacional.

Registrar los cambios de la temperatura interna del concreto y del medio ambiente, durante las primeras horas del fraguado y el curado usando dos termocuplas CEM 171 y CEM 171 T.

Determinar la resistencia a la compresión de las probetas fundidas aplicando la norma NTC- 673, para edades de maduración del hormigón de 7 y 28 días

Comparar las graficas obtenidas junto con los resultados de la maquina a la compresión, para determinar la condición climática ideal para fundir el hormigón.

### 3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Con frecuencia los procesos involucrados con el manejo del concreto, como el mezclado, el fraguado y el curado, no tienen el debido registro y control que se debe prestar por parte del constructor, provocando inconsistencias entre lo diseñado y lo ejecutado.

El concreto es una mezcla de agua, cemento, grava y arena, materiales de fina clasificación, seleccionados con particularidad, siguiendo parámetros normalizados por estándares nacionales y en algunos casos internacionales. El cemento posee la propiedad de unir los agregados, dejando un compuesto de alta resistencia a la compresión. Este compuesto se logra a través de la hidratación del cemento, este proceso, demanda de una ganancia de calor por parte del hormigón, que influye directamente sobre las propiedades mecánicas del concreto.

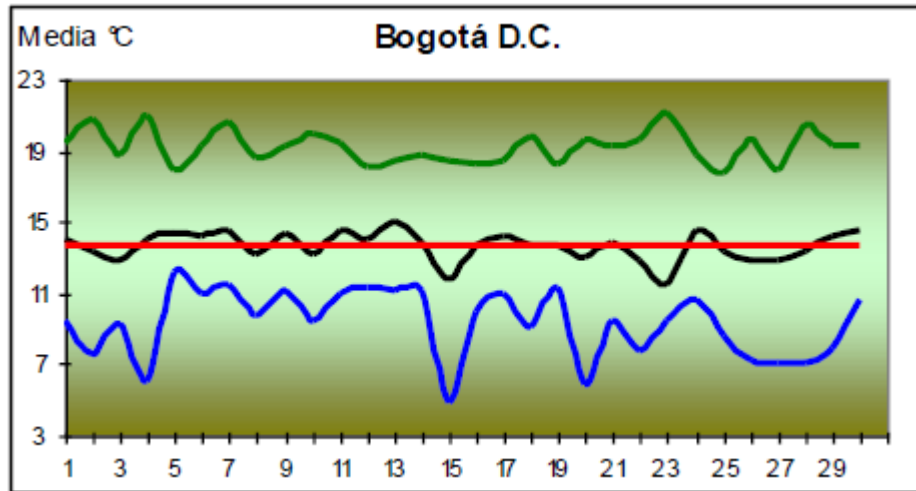
Por lo general, aquellos encargados de la ejecución de un proyecto de ingeniería, no enfocan sus esfuerzos en controlar el desarrollo de la temperatura durante la madurez de una mezcla de hormigón. La resistencia del concreto depende, entre otras cosas, de una mezcla homogénea de agregados y productos de calidad, sin embargo, hay aspectos que no se tienen en cuenta para el curado de una mezcla de concreto, como los cambios bruscos de temperaturas, el secado rápido ocasionado por exposiciones a la luz solar, los vientos continuos, lluvias, y otros mas, que podrían cambiar las condiciones ideales que se desea el diseñador para obtener un buen resultado.

El método 211 de la A.C.I para el diseño de mezcla de hormigón es usado frecuentemente, sin embargo, es usado en ciudades como Tunja y Cartagena, ciudades con temperaturas y humedades diferentes. Inclusive durante el día, las temperaturas varían de una forma considerable, tal es así, que en ciudades como Bogotá, las mañanas tiene 8°C de temperatura, y el medio día en ocasiones supera los 30°C, sin mencionar los cambios de humedad.<sup>3</sup> La Grafica 1, revela los drásticos cambios de temperatura en la ciudad de Bogotá.

---

<sup>3</sup> CADENA Martha, VEGA Araminta y PARDO Esperanza, IDEAM, Anuario climatológico 2014, Bogotá: [IDEAM 2014]

**Grafica 1 Comportamiento de la temperatura en el mes de Noviembre en Bogotá. Del año 1981 al 2010 (en años)**



Fuente: CADENA Martha, VEGA Araminta y PARDO Esperanza, IDEAM, Anuario climatológico 2014, Bogotá: [IDEAM 2014] pag. 319

La línea azul corresponde a la temperatura mínima, la negra a la temperatura media y la verde a la máxima. La línea roja representa la temperatura media histórica promediada para el periodo (1981-2010).

El Título C de la NSR-10 menciona el tema dos párrafos:

“Cuando la temperatura ambiente sea menor que 4°C o mayor que 35°C, debe llevarse un registro de las temperaturas del concreto y de la protección dada al concreto durante su colocación y curado”<sup>4</sup>.

“Estos aspectos están fuera del alcance del Título C del Reglamento NSR-10 y deben cubrirse necesariamente en las especificaciones del proyecto”<sup>5</sup>.

Sin embargo la norma señala que las condiciones óptimas para la madurez de un concreto deben ser con temperaturas superiores a los 10 grados centígrados, por

<sup>4</sup> ASOCIACION COLOMBIANA DE INGENIERIA SISMICA, Norma sismo resistente de 2010 NSR-10, Título C, Supervisión técnica, Bogotá: ICONTEC [2007] , pag 10

<sup>5</sup> ASOCIACION COLOMBIANA DE INGENIERIA SISMICA, Norma sismo resistente de 2010 NSR-10, Título C, Requisitos De Durabilidad, Bogotá: ICONTEC [2007] , pag 60



lo menos durante los primeros 7 días de madurez<sup>6</sup>. La norma también señala que debemos tener un control de temperaturas para las condiciones que se salgan de rango enmarcadas con anterioridad, reportando al supervisor técnico, las particularidades dadas en obra.

Por evidencia propia, he registrado bajas en las resistencias de los concretos inclusive usando la misma proporción de agregados en obra, motivo por el cual se genera esta investigación, para determinar el grado de importancia que tiene el vaciar el hormigón a una hora determinada.

Uno de los aspectos mas importantes a señalar, es la trabajabilidad. Se conoce como el esfuerzo requerido para manipular la mezcla en estado fresco, sin general una segregación. El fraguado inicial, se ve afectado por un aumento de la temperatura ambiente, acortando los tiempos de manipulación de la mezcla, y los asentamientos propios del hormigón; particularmente, esto se evita aumentando la cantidad de agua de la mezcla, afectando directamente la cantidad de cemento usada.

¿Qué efectos sobre la resistencia final del hormigón, tiene fundir un concreto en condiciones de temperatura determinada, si el desarrollo de calor interno de la mezcla durante la hidratación y el fraguado se ve afectado por la temperatura ambiente?

---

<sup>6</sup> ASOCIACION COLOMBIANA DE INGENIERIA SISMICA, Norma sismo resistente de 2010 NSR-10, Titulo C, Calidad del concreto, mezclado y colocación, Bogotá: ICONTEC [2007] , pag 83

## 4 JUSTIFICACION

El desarrollo de una sociedad, está basado fundamentalmente en la infraestructura con la cual cuenta para proporcionar una calidad de vida a sus ciudadanos; vías, acueductos y alcantarillados, puentes, túneles, represas de almacenamiento de agua, hidroeléctricas, vivienda y demás, son los indicadores de desarrollo de un país. Ejecutar las obras con calidad, garantiza la durabilidad y funcionalidad de las estructuras. Controlar permanentemente los procesos constructivos, de vital importancia para poder confiar en lo ejecutado.

El hormigón, es uno de los materiales más importantes en la construcción, debido a su gran uso y a las características mecánicas que desarrolla a partir de la hidratación del cemento, por tal motivo, controlar la resistencia final del concreto, es de vital importancia.

Uno de los aspectos más importantes, es el desarrollo de calor debido a la hidratación del cemento, ya que la resistencia del hormigón, esta relacionada directamente con el desarrollo de la temperatura y la edad, a su vez depende de la absorción de agua por parte de las partículas de cemento. Una mayor hidratación, genera más calor y mayor resistencia.

La siguiente investigación, se hace con el fin de verificar la incidencia de la temperatura ambiente en la velocidad de reacción química interna de la mezcla durante el fraguado y el curado inicial.

En ocasiones, la resistencia alcanzada por un hormigón, no es la deseada, debido a factores en el curado, pues este, no se hacen bajo condiciones señaladas por la norma. Las temperaturas extremadamente bajas y de la misma forma las altas, no están contempladas en las normas como parámetros fundamentales para el uso del concreto.

Este trabajo, se concentrara, en el efecto provocado por las temperaturas durante el fraguado de un concreto normal, teniendo claridad, que los concretos fundidos en obra en ocasiones no ofrecen las resistencias necesarias para alcanzar los objetivos de los diseños. Para esto, usaremos el método de la madurez, descrito

en la NTC-3756 para concretos en obra, procesos que permite a través de controles de temperatura, ofrecer un aval de resistencia inicial, para el descimbrado de formaletas y encofrados. Cabe notar, que la resistencia del concreto depende de los procesos de hidratación de pérdida y ganancia de calor durante el fraguado. El método de la madurez, es un control usado para determinar las resistencias iniciales durante un periodo de 48 horas, método que permite al ingeniero, tener una herramienta para la toma de decisiones en obra.

La hipótesis de este proyecto señala el detrimento ocasionado a las propiedades del concreto a causa de las bajas y altas temperaturas presentes durante los vaciados del concreto en las primeras horas de fraguado.

Deseamos ayudar, al futuro ingeniero a tener un mayor cuidado para los procesos de fundidas de concretos colocados en obra con temperaturas que se salgan de los rangos estipulados.

## 5 ANTECEDENTES.

Las investigaciones llevadas a cabo para determinar el comportamiento a temprana edad del hormigón, se empezaron a realizar debido a incidencias posteriores en los descimbrados de las formaletas de los elementos fundidos con la mezcla. Liberar rápidamente la formaleta, disminuye los costos del proyecto. De las características del hormigón antes del fraguado destacamos la manejabilidad, el fraguado inicial, el asentamiento, el contenido de aire de la mezcla, el fraguado y el curado. Estos factores han sido investigados con el fin de determinar las propiedades mecánicas del concreto. Unas de las investigaciones sobresalientes, tienen que ver con el desarrollo de la resistencia a compresión, inferido del comportamiento del calor hidratación del hormigón. Las investigaciones se basan fundamentalmente en el método descrito como METODO DE LA MADUREZ, que consta de realizar el seguimiento a la temperatura del concreto durante el proceso de obtención del calor de hidratación; un monitoreo de 48 horas con calorímetros que toman la temperatura del concreto durante el primer periodo de ganancia de la resistencia.

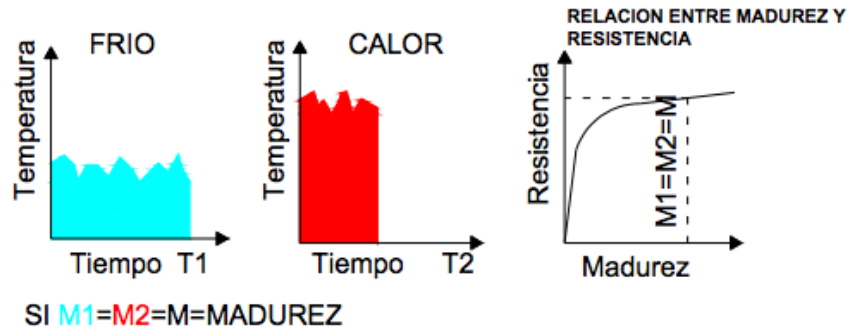
### 5.1 LOS PRIMEROS REGISTROS DE LA TEMPERATURA EN EL HORMIGÓN

Las primeras investigaciones, fueron generadas por laboratorios particulares, sin estimar conceptos básicos para la realización del ensayo del registro de temperaturas en el hormigón, a partir de 1987 la Asociación Americana para Ensayo de Materiales (ASTM) por primera vez aprobó la norma C 1074 (Práctica estándar para determinar la resistencia del concreto por el método de madurez) que estandarizó el procedimiento para desarrollar relaciones de resistencia-madurez. El método consiste en determinar la resistencia del concreto, a partir del registro constante de la temperatura del concreto, durante su fraguado inicial y las primeras horas posteriores al amasado<sup>7</sup>. El concreto desprende calor, debido a las reacciones químicas ocurridas por el cemento y el agua, es decir la hidratación del cemento. Una mayor hidratación se traduce en un aumento de la temperatura interna del hormigón. (Grafica 2).

---

<sup>7</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN, Ingeniería civil y arquitectura, Procedimiento para estimar la resistencia del concreto por el método de la madurez : Bogotá: ICONTEC 2002, PAG 1 [NTC-3756]

## Grafica 2. Graficas de relación de temperatura y madurez.



Fuente: Mechura, Verónica, Aplicación del ensayo de madurez a pavimentos de hormigón, 2010, pág. 3.

Aunque la influencia del medio ambiente ha sido considerada en diferentes artículos del A.C.I y otros laboratorios, como un importante factor de influencia en el fraguado del concreto, el seguimiento que se le han hecho a dicho tema ha sido realmente superficial, sin contar que Colombia, no tiene investigaciones concretas que involucren los histogramas y registros del climas típicos del país. Estos son algunos estudios enfocados a la influencia de la temperatura del medio ambiente en la resistencia del concreto.

### 5.2 EL ESTUDIO DE KLIEGER Y EL ACI<sup>8</sup>

En Noviembre de 1958, Paul Klieger, escribió el “Effect Of Mixing And Curing Temperature On Concrete Strength” en el que desarrollo uno de los procedimientos de escala para señalar los efectos de la temperatura ambiente en el fraguado y curado del concreto. El ensayo se desarrolló de acuerdo a la normas ASTM<sup>9</sup> C-31, en donde se tomaron 3 tipos de concreto con un diseño de mezcla estándar por medio del método 211 de la A.C.I. Las probetas de 102mm X 203 mm, fueron fundidas después de mezclar por dos minutos y medio, un volumen de 0.05 m<sup>3</sup> de hormigón. Luego, estas probetas fueron sometidas a temperaturas de 23, 32, 40 y 48°C. Luego se fallaron las probetas a 1, 3,7 y 28 días. Los resultados, fueron consignados en la Tabla1.

<sup>8</sup> Klieger, Paul, Effect Of Mixing And Curing Temperature On Concrete Strength, 1958

<sup>9</sup> Las normas NTC, están basadas en los procedimientos discutidos en las normas ASTM (Modelo Norteamericano).

**Tabla 1 Resultados de la compresión de cilindros en el Effect Of Mixing And Curing Temperature On Concrete Strength a diferentes temperaturas**

CEMENTO		TEMPERATURA DE FABRICACION Y CURADO EN °F PRIMEROS 7 DIAS	RESISTENCIA			
LOT No	ASTM TYPE		1 DIA	3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS
18922	I	73	1150	2600	4060	5440
		90	1490	3090	4160	5240
		105	1850	3200	3850	4720
		120	2040	2840	3440	4110
18931	III	73	2210	3460	4610	5460
		90	2760	42090	5010	5710
		105	3010	3900	4580	5120
		120	3280	3850	4160	4720
18925	II	73	990	2180	3680	5230
		90	1250	2720	3900	5780
		105	1500	3070	4420	5330
		120	1950	3060	3930	4820

Fuente: Kliege Paul, Effect Of Mixing And Curing Temperature On Concrete Strength, vol. 54. 1958

Como se puede evidenciar, el comportamiento del concreto cambia conforme aumenta o disminuye la temperatura ambiente. Los mejores resultados se encontraron cuando el concreto fue fraguado en las temperaturas más bajas.

En el artículo se recomienda tener cuidado con los desarrollos de calor interno en la reacción química ocasionada por la hidratación del cemento.

### 5.3 DOCUMENTO DE LA PCA<sup>10</sup>

La PCA (Portland Cement Association), desarrollo un documento dirigido a este tema; “The Influence of Casting and Curing Temperature on the Properties of Fresh and Hardened Concrete”, en donde se practico una serie de ensayos realizados a dos tipos de concretos usando dos tipos de cemento diferentes

<sup>10</sup> Burg, Ronal , Portland Cement Association, The Influence of Casting and Curing Temperature on the Properties of Fresh and Hardened Concrete,

curados a temperaturas de 10 23 y 32 °C simultáneamente. El diseño de mezcla se mantuvo constante. Entre las cosas que se revisaron están, las propiedades de manejabilidad, tiempo de fraguado inicial y resistencia la compresión durante los 3 y 56 días de edad. Como resultado, los concretos fundidos a altas temperaturas tenía resistencia superiores que el concreto fundido a 10 °C, sin embargo después del séptimo día las resistencias aumentaron en los concretos fundidos con temperaturas bajas. Otra de las propiedades que también fue revisada, fue el asentamiento de las mezclas; este varía debido a la densidad de la mezcla.

Fueron usados dos tipos de cementos, con dos diferentes dosificaciones, fundiendo probetas según las normas ASTM, usando agregados de ½ y ¾ de pulgada. El modulo de finura de la arena era 2.97, los cementos usados son considerados como portland tipo 1, sin embargo, las características también están señaladas en el informe. Todos los materiales fueron controlados en cuanto a gradación, almacenamiento, pureza, retiro de material vegetal e inclusive térmicamente (no se manejaron procesos para alterar la temperatura de los agregados).

Se fabrico 0.5 m3 de concreto para cada lote, midiendo el asentamiento, el contenido de aire, y la temperatura, fabricando quince probetas de 102mm X 203 mm. El proceso de amasado duro 3 minutos en todos los casos.

Estos fueron los resultados obtenidos (Tabla 2):

**Tabla 2: Resultados del test por el PCA, Para The Influence of Casting and Curing Temperature on the Properties of Fresh and Hardened Concrete**

EDAD EN DIAS	ENSAYO DE LA TEMPERATURA/ TEMPERATURA DE CURADO EN °F			
	73/73	90/90	50/50	73/50
3	3740	3970	3250	3340
7	4400	4400	4730	4460
14	5250	4960	5880	5410
28	5800	5570	6850	6270
56	6420	5820	7250	6330

\*LAS UNIDAD DE COMPRESION ESTAN EN PSI

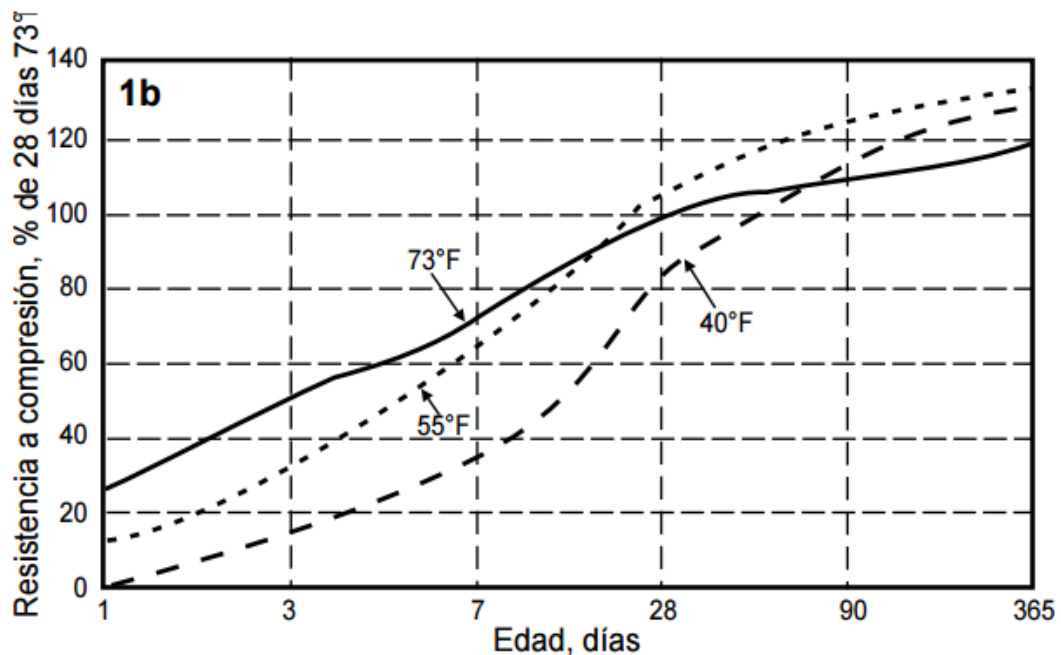
Fuente: Ronald G Burg, The Influence of Casting and Curing Temperature on the Properties of Fresh and Hardened Concrete,1996.

Como se puede ver, las resistencias iniciales adquiridas por los concretos sometidos a alta temperatura, adquirieron competencias mejores comparadas con el concreto sometido a bajas temperaturas. Sin embargo, las resistencias al 7 día, fueron mejores para los concretos que recibieron temperaturas más bajas, esto debio a un desarrollo mas prolongado de las propiedades mecanicas del hormigon.

#### 5.4 LA NRMCA Y SUS ARTÍCULOS DE WHAT, WHY & HOW<sup>11</sup>

En el año 1998, la NRMCA (National Ready Mixed Concrete Association) en su artículos “What, Why & How?” publico un documento llamado “Could Weather Contreting”. En este se menciona, la importancia de mantener un ambiente con temperatura adecuada para el fraguado y curado del hormigón. Una de sus conclusiones señalo que los concretos perderán el 50% de su resistencia, si son sometidos a temperaturas por debajo del punto de congelamiento del hormigón (-4°C), debido a que las reacciones químicas del cemento se detienen. El articulo relaciono el resultado a la compresión de una serie de probetas hechas con una mezcla de hormigón sometida a 3 temperaturas bajas relativamente (Grafica 3).

**Grafica 3. Relación de la resistencia a la compresión de concretos con fraguados y curados a baja temperatura.**



Fuente: NRMCA, Could Weather Contreting, Estados Unidos De America: 1998

<sup>11</sup> National Ready Mixed Concrete Association, Could Weather Contreting, En: What, Why & How?, Estados unidos de América 1998, pag 1



La resistencia final del hormigón, y el tiempo para alcanzarla, son realmente diferentes en las tres curvas; es decir, el concreto se ve afectado directamente por la temperatura ambiente, teniendo un comportamiento favorable, o en el peor de los casos, una pérdida de resistencia. El artículo finaliza, dando una serie de recomendaciones para la colocación de hormigón en climas fríos, tales como el asentamiento bajo para evitar tiempos largos de fraguado, el espesor de los elementos a fundir y su influencia en la temperatura interna del concreto, la limpieza de la superficie de contacto de partículas como hielo y cubrir el concreto para que este conserve una temperatura apropiada.

### **5.5 NATIONAL CONCRETE PAVEMENT TECHNOLOGY CENTER<sup>12</sup>**

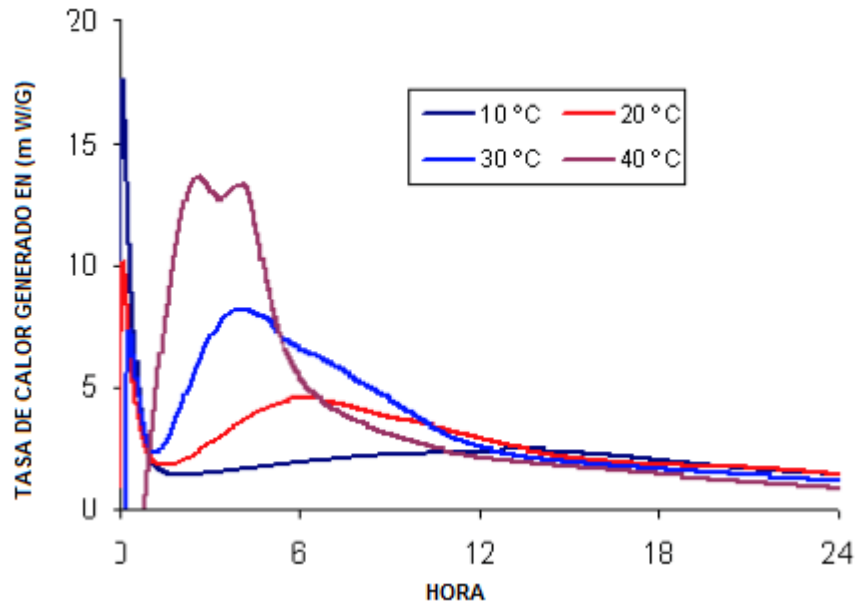
En enero de 2007, el NCPTC, publicó el artículo “Developing a Simple and RapidTest for Monitoring the Heat Evolution of Concrete Mixtures for Both Laboratory and Field Applications”, con el cual, se pretendía estandarizar un método fácil y económico para determinar el rendimiento de los materiales de construcción, a través de un calorímetro. Se realizaron los seguimientos del desarrollo de calor de hidratación y su influencia en el comportamiento del hormigón para 120 muestras en laboratorio y 2 en campo, en donde se involucraron concretos usados para la pavimentación de dos carreteras en Dakota del Sur y New York. Uno de los aspectos que se revisó, fue la tasa de crecimiento de calor de hidratación de un tipo de concreto sometido a diferentes temperaturas. En la Gráfica 4, se puede ver los incrementos de calor. Señalo la importancia que tiene el volumen de concreto usado, pues la cantidad de hormigón acumulada, aumenta drásticamente la temperatura en los puntos más alejados de la superficie de contacto con el medio ambiente<sup>13</sup>.

---

<sup>12</sup> National Concrete Pavement Technology Center, Developing a Simple and RapidTest for Monitoring the Heat Evolution of Concrete Mixtures for Both Laboratory and Field Applications, 2007

<sup>13</sup> Quimbay Rodrigo, Adecuada aplicación del control térmico y de madurez del concreto (Calorimetrías del concreto) en la determinación de tiempos de desmolde y descimbre de vivienda.

**Grafica 4. Evolución de calor de concreto a diferentes temperaturas para un volumen de 0.5m3.**



Fuente: National Concrete Pavement Technology Center, Developing a Simple and RapidTest for Monitoring the Heat Evolution of Concrete Mixtures for Both Laboratory and Field Applications, pag 19.

Como se puede ver, los procesos de hidratación del cemento se aceleraron en edades tempranas bajo altas temperaturas ambiente, pero se detiene bruscamente poco después. El pico principal, que se atribuye a la hidratación del C3S se desplaza con forme el valor de la temperatura aumenta. El pico principal es mucho mayor a 40°C. Esta influencia es la real importancia de la temperatura ambiente en el fraguado del concreto, teniendo en cuenta, que el calor es hidratación y esta involucra la calcificación, que es la encargada de las propiedades de compresión en el hormigón.

## **5.6 MÉTODO DE LA MADUREZ Y ALGUNAS INVESTIGACIONES DESARROLLADAS**

El método fue desarrollado a finales del año 1940, relacionando los efectos en la temperatura y la edad del hormigón in-situ (Nurse 1949, Mc Intosh 1949, Saúl 1951). Saúl mencionaba “Muestras de una misma mezcla de hormigón tendrán iguales resistencias si es que tienen iguales valores de madurez, aun que el

historial de temperaturas varíe en el transcurso del tiempo”. Esto nos lleva a pensar, que dos muestras de la misma mezcla, pueden tener la misma resistencia en diferentes tiempos si el ciclo térmico de las dos es diferente una de la otra.

Investigaciones recientes han ofrecido soporte al método de la madurez como proceso para conocer la resistencia del concreto, como método no destructivo y de completa validez para ser usado in situ. Esto puede llegar a ser muy útil, si se trata de conocer la verdadera resistencia del elemento en un proyecto civil; hay que recordar, que las muestras llevadas al laboratorio posterior a la fundida en una obra, tienen un proceso de fraguado y curado totalmente diferente al experimentado por el elemento. Los elementos como muros y placas de concreto en muchas oportunidades no son hidratados durante los días siguientes a la fundida, teniendo procesos de madurez diferentes.

En el año 1993, el Grupo Polpaico, en colaboración con Holcim ofreció una cartilla con características para el descimbrado de placas y muros en encofrados, señalando la resistencia mínima, para soportar los pesos del propio elemento para evitar el colapso de la estructura. Una de sus conclusiones señala que las resistencias mínimas para desencofrado de placas es de 12 Mapa y para muros con una resistencia de 2 MPa, es suficiente para descimbrar el elemento. Condición que no es evaluada en obra.

“Debido a que el desarrollo de temperatura en el interior del hormigón no es uniforme, también es de esperar que suceda lo mismo con la resistencia mecánica”<sup>14</sup>.

Podemos sugerir, que los sitios del elemento a fundir los cueles estén expuestos a mayores temperaturas por el sol, ofrecerán resistencias mecánicas diferentes a las esperadas. Recordemos, que la sugerencia de la NSR-10 en el Título C, para fundir concretos, es utilizar la mezcla con temperaturas ambiente de entre 8°C a 23°C.

La Universidad Andrés Bello, con Sede en Chile, en le año 2003, realizo una tesis de grado llamada “EVALUACION DEL GRADO DE MADUREZ CON CEMENTOS NACIONALES”, donde concluyo, que el método de la madurez es un proceso valido para determinar la resistencia del concreto in situ. La norma chilena en la que se baso la investigación fue la NCh-170, la cual relaciona los procesos y recomendaciones en descimbrados del concreto.

---

<sup>14</sup> POLAICO, [en línea], <<http://www.polpaicoconexion.cl/uploads/docXobra/pdf20091117194331.pdf>> [Revisado en 13 enero de 2015]

En 2006, la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata, gestiona un proyecto de grado titulado, “APLICACIÓN DEL ENSAYO DE MADUREZ A PAVIMENTOS DE HORMIGÓN”, el cual resalta, el método de la madurez, para estructuras viales hechas con concreto. Cabe notar, que las investigaciones anteriores, hacían referencia única a aplicaciones del método de la madurez para viviendas. Es de resaltar una de sus conclusiones:

- “Pueden no caracterizarse totalmente los efectos de la temperatura del hormigón a edad temprana sobre la resistencia a largo plazo. En algunos casos, cuando se cura el hormigón a altas temperaturas, puede desarrollar mayor resistencia a edad temprana pero reducida resistencia a largo plazo”<sup>15</sup>.

Esta conclusión, señala que los procesos térmicos ambientales, afectan los procesos de resistencia del concreto. Característica que será analizada en esta tesis. Cabe notar que esta investigación hace referencia a los cambios térmicos en el municipio de Soacha en el departamento de Cundinamarca, pero que procederá a determinar las características diferenciales de la temperatura en el proceso del método de la madurez.

En el año 2009 la Universidad del Salvador, desarrollo una investigación basada en la norma ASTM-1074, llamada “DETERMINACION DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO A EDADES TEMPRANAS BAJO LA NORMA ASTM C 1074, EN VIVIENDAS DE CONCRETO COLADAS EN EL SITIO”, con la que señalo:

- “Debido a que el componente que genera más calor en el concreto es el cemento, por su reacción exotérmica en el proceso de hidratación, se sugiere controlar los cambios bruscos de temperatura productos del ambiente, ya que estos podrían generar contracciones plásticas generando agrietamientos excesivos, que si bien es cierto no ocasionan daños estructurales, si pueden producir daños estéticos”<sup>16</sup>.

Cabe notar, los cambios bruscos en la temperatura y humedad que se pueden notar en las madrugadas y en las mañanas de Bogotá, estos, no destacados en ningún rango térmico de fundida estipulado por la NSR-10; en la actualidad, no se tiene en cuenta los cambios de temperatura para procesos de curado del concreto.

---

<sup>15</sup> Mechura Veronica, Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata, APLICACIÓN DEL ENSAYO DE MADUREZ A PAVIMENTOS DE HORMIGÓN, 2006,

<sup>16</sup> Aguilar Oscar ,Rodríguez Edwin , Sermeño Martín José Universidad del Salvador, Determinación De La Resistencia Del Concreto A Edades Tempranas Bajo La Norma Astm C 1074, En Viviendas De Concreto Coladas En El Sitio , 2009

## **6 HIPOTESIS.**

La resistencia final del concreto es afectada por las condiciones térmicas medioambientales presentes durante el vaciado y las primeras horas de maduración de la mezcla.

## 7 MARCO REFERENCIAL

### 7.1 MARCO CONCEPTUAL

#### 7.1.1 Hormigón

El hormigón es una mezcla diseñada matemáticamente para alcanzar propiedades mecánicas como la compresión, útiles para la construcción. Esta constituido principalmente por agua agregados pétreos y cemento hidráulico, aunque acelerantes, refrigerantes y otros aditivos son agregados a la mezcla en ocasiones para poder alcanzar propiedades que demanda el diseño de la mezcla o de la estructura a construir<sup>17</sup>.

La NSR-10 (Norma sismo resistente colombiana de 2010), considera el concreto como: “Mezcla de cemento portland o cualquier otro cemento hidráulico, agregado fino, agregado grueso y agua, con o sin aditivos”<sup>18</sup>. Además, define específicamente algunos de los concretos más usados tales como el concreto liviano, concreto de peso normal, concreto estructural, concreto prefabricado, concreto reforzado, concreto simple y demás.

Para el estudio de los procesos térmicos en el hormigón, es necesario señalar que el volumen de concreto es indispensable para el desarrollo de calor desprendido de la reacción química entre el cemento y el agua<sup>19</sup>.

##### 7.1.1.1 Hormigón en masa

“Concreto en masa es cualquier volumen de hormigón de dimensiones lo suficientemente grandes como para exigir que se adopten medidas para hacer frente a la generación de calor por hidratación del cemento y a el cambio de volumen provocado por el secado.”<sup>20</sup> La consideración se hace debido a la generación de fisuras y mico-fisuras, resultado final del fraguado de un concreto de gran volumen.

---

<sup>17</sup> VENUAT Mieche y PAPADAKIS Michel, Control y ensayo de cementos, morteros y hormigones, 1ra edición, Bilbao: URMO s.a.s de ediciones 1975, pag 230

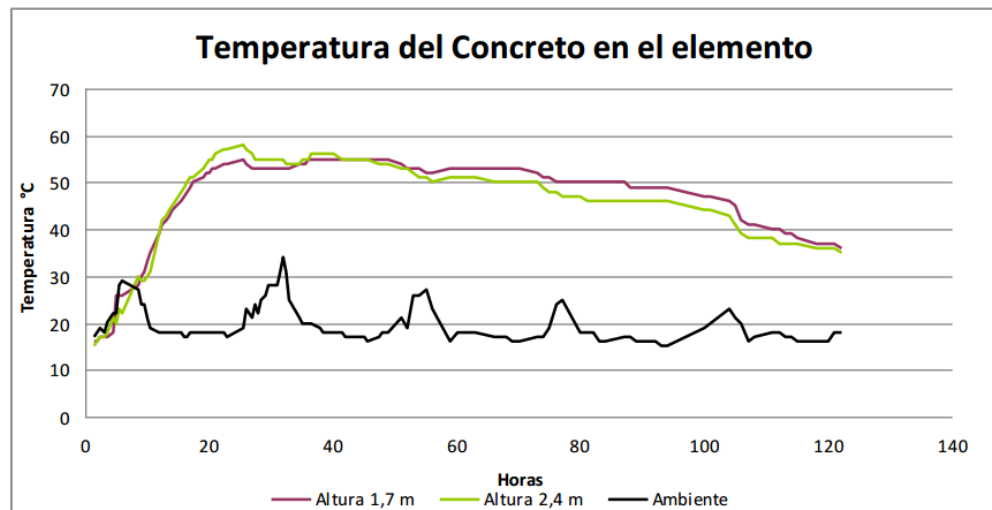
<sup>18</sup> ASOCIACION COLOMBIANA DE IGENIERIA SISMICA, Norma sismo resistente de 2010 NSR-10, Titulo C, Definiciones, Bogotá: ICONTEC [2007] , pag 28

<sup>19</sup> Arteta Ester, Control de la temperatura en el concreto en obras de infraestructura, En: Reunión del concreto 2010, [2010 Cartagena] pag 9

<sup>20</sup> AMERICAN CONCRETE INSTITUT, Cement and Concrete Terminology, Informe ACI 116R , Estados Unidos de America 2007,pag 3

Si el volumen aumenta la temperatura también lo hará considerablemente. Los volúmenes supuestos por algunos autores varían entre los 70 mm a 90 mm de radio de influencia al punto de toma de la temperatura; es decir losas y muros con espesores superiores a los 140 mm<sup>21</sup>. Sin embargo, otros elementos de influencia deben ser considerados, como la temperatura ambiente, los agregados, el módulo de finura del cemento, la superficie libre de contacto con el medio ambiente, geometría de los elementos y todo aquello que aumente o disminuya la temperatura de reacción presente al hidratarse el concreto. En la Grafica 5, se evidencia la influencia del espesor de los elementos en la temperatura interna del hormigón.

**Grafica 5 Influencia del espesor del elemento de hormigón en la temperatura interna de hidratación.**



Fuente: Arteta Ester, Control de la temperatura en el concreto en obras de infraestructura, En: Reunión del concreto 2010, (2010 Cartagena) pag 32

Para los procesos de obra, la NTC-3357, ofrece el debido proceso para la toma de la temperatura una vez ha llegado o se ha producido en concreto en obra.

### 7.1.2 Cemento

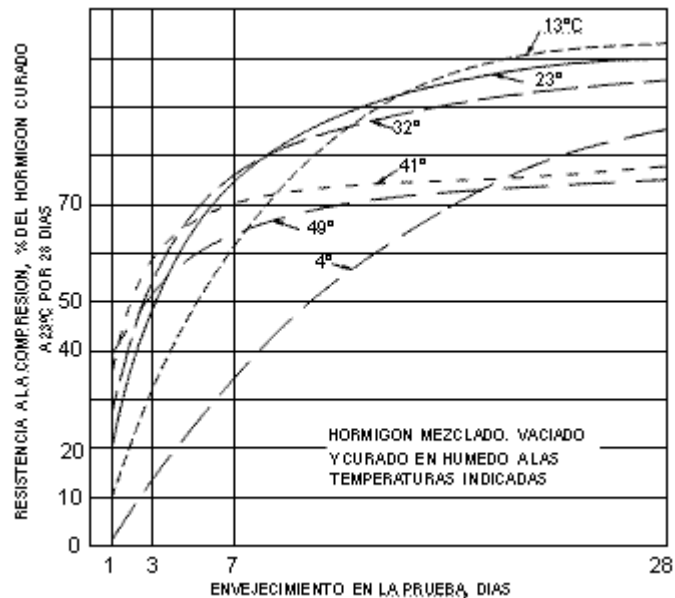
El cemento es el resultado de un proceso industrial en que ese involucra silicatos aluminatos de calcio. Se obtiene a partir de la fusión parcial y combinación en

<sup>21</sup> Arteta Ester, Control de la temperatura en el concreto en obras de infraestructura, En: Reunión del concreto 2010, [2010 Cartagena] pag 8

proporciones convenientes de materias primas que son ricas en cal sílice y alumina con un mayor porcentaje de CaO. En las naturalezas se encuentran en forma de calizas arcillas o margas, explotadas en canteras en su mayoría a cielo abierto<sup>22</sup>.

Uno de los factores más importantes para los procesos de hidratación es el modulo de finura del cemento, esto debido al contacto de las partículas con el agua. Revisando la Grafica 6 que representa la resistencia del concreto en función su edad, nos podemos dar cuenta, que algunos autores sugieren un crecimiento aunque leve, continuo de la resistencia del concreto. Esto se debe, a que algunas de las partículas de cemento, se siguen hidratando a través del tiempo en una escala muy pequeña, sin embargo hay partículas que no se hidratan nunca.

**Grafica 6 Incremento de la resistencia Vs tiempo.**



Fuente: (Consulta en línea) <http://www.ingenierocivilinfo.com/2011/04/temperatura-de-curado-del-hormigon.html>

El proceso de fabricación del cemento involucra las siguientes etapas<sup>23</sup>:

- A. Explotación de materias primas
- B. Preparación y dosificación de materias primas

<sup>22</sup> FRITZ Keil, Cemento fabricación- propiedades- aplicaciones, Quimismo y propiedad del clinker y de los materiales hidráulicos. 12 ed Barcelona Editores técnicos y asociados 1973. Pag 40

<sup>23</sup> VENUAT Mieche y PAPADAKIS Michel, Control y ensayo de cementos, morteros y hormigones, 1ra edición, Bilbao: URMO s.a.s de ediciones 1975, pag 230



- C. Homogeneización
- D. Clinkerización
- E. Enfriamiento
- F. Adiciones Finales y Molienda
- G. Empaque y distribución

### 7.1.1.2 Componentes químicos de cemento.

Por lo general, los cementos portland están compuestos por  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $CaO$ ,  $Fe_2O_3$ . Posee  $SO_2$  añadido en forma de yeso. Algunos óxidos como  $MgO$ ,  $K_2O$ ,  $Na_2O$  en mínimas cantidades. Estos compuestos reaccionan hidráulicamente, ofreciendo propiedades cementantes necesarias para la mezcla de hormigón<sup>24</sup>.

### 7.1.3 Agua

El agua, es la encargada de activar las propiedades del cemento hidráulico. Es de suma importancia que el agua sea destilada en el mejor de los casos, o que sea agua potable libre de arcillas, químicos como aceites y combustibles, pues puede afectar las propiedades finales del hormigón. La relación agua cemento (proporción uno del otro), es fundamental para el desarrollo del proceso de cristalización dentro de la mezcla de concreto. Además, el asentamiento también está relacionado al valor antes mencionado. Es importante que la temperatura del agua no sea adecuada para la mezcla preferiblemente a los 23°C, sin embargo, la práctica demanda en ocasiones que esta sea baja para evitar que la temperatura de colocación sea elevada.

El agua es usada para rociar posteriormente los elementos estructurales de concreto, con el fin de bajar la temperatura e hidratar los gránulos de cemento que aun no han reaccionado.

La cantidad de agua permitir la plasticidad del hormigón para poder ser moldeado. El exceso de agua provoca un descenso en la resistencia mecánica del hormigón puede generar una lechada que puede arrastrar con el cemento al momento de vibrar la mezcla. La falta de agua también provoca igualmente un descenso en la resistencia mecánica aumentando el porcentaje aire, no garantizando una mezcla homogénea de los agregados el cemento y el agua<sup>25</sup>.

---

<sup>24</sup> FRITZ Keil, Cemento fabricación- propiedades- aplicaciones, Quimismo y propiedad del clinker y de los materiales hidráulicos. 12 ed Barcelona Editores técnicos y asociados 1973. Pag 40-41

<sup>25</sup> RIVERA Gerardo, Concreto simple, Capítulo 3 Agua de mezcla, [Consulta en Línea] <ftp://ftp.unicauca.edu.co/cuentas/geanrilo/docs/FIC%20y%20GEOTEC%20SEM%20%20de%202010/Tecnologia%20del%20Co>

#### **7.1.4. Agregados pétreos**

Se consideran agregados, todos aquellos materiales que teniendo una resistencia propia, que aglomerados por el cemento hidráulico mezclado con agua forman el concreto. El origen de estos materiales puede ser natural o artificial, y generalmente esto son granulares. Otras características importantes de los agregados que se tienen que tener en cuenta, es que estos materiales tienen que garantizar una adherencia suficiente con la pasta endurecida y adicionalmente no perturban ni afectan las características de propias del concreto.

Generalmente los agregados son materiales inertes, es decir, no presentan ningún tipo de reacción con los otros constituyentes del concreto, especialmente con el cemento. Pero en algunos casos se utiliza otro de tipo de material que presenta actividad en la mezcla del concreto ayudando especialmente a la resistencia mecánica de este, alguno de estos pueden ser: escorias de alto horno de las siderúrgicas, los materiales de origen volcánico que hay en el sílice activo y el ladrillo triturado entre otros. Es importante tener en cuenta que otros materiales pueden presentar efectos nocivos dentro de la mezcla del concreto, estos pueden llegar a afectar la estructura interna del concreto y la durabilidad, como por ejemplo los que presentan compuestos sulfurados o aquellos que se encuentran en descomposición latente como algunas pizarras<sup>26</sup>.

#### **7.1.5 Temperatura**

Considerada una de las magnitudes fundamentales de la física, refleja la cantidad de calor en un cuerpo o ambiente. Esta directamente relacionada con la energía interior entre partículas, así como el movimiento molecular, la presión interna y otros factores físicos y químicos. El estado, la solubilidad y el volumen de la materia depende de la temperatura.

La unidad de medida es grados Centígrado (°C) en el sistema internacional de medidas, aun que algunos autores, laboratorios y universidades, usan los grados Fahrenheit (°F).

La temperatura es fundamental en los proceso constructivos, involucrando industrias como el acero, la fabricación de cementos y hormigones, y otros mas necesarios para el desarrollo de una obra civil.

---

ncreto%20-%20%20PDF%20ver.%20%202009/Cap.%2003%20-%20Agua%20de%20mezcla.pdf [Citado en 28 de Marzo de 2015]

### 7.1.1.3 Temperatura en el concreto.

La Norma Sismo Resistente menciona en varios párrafos la importancia del control de la temperatura del hormigón en los procesos de diseño; sin embargo, para este proyecto, me refiere al Título C, involucrando los procesos como la colocación y el fraguado del concreto y los registros del control de la temperatura.

Las Normas Técnicas Colombianas (NTC), también sugiere algunos procesos de control de la temperatura y la determinación de la resistencia por métodos no destructivos como el método de la madurez.

Durante los procesos de hidratación del cemento, también ocurren cambios térmicos, que deben ser señalados en un registro de obra. El volumen de concreto, la temperatura del medio ambiente, la temperatura de los agregados y del agua son factores que influyen en la temperatura final del hormigón. Algunos estudios del concreto han sido propuestos para la verificación de la temperatura del hormigón y la importancia que tiene esta en la resistencia final del hormigón<sup>27</sup>.

#### 7.1.1.3.1 Calor de hidratación del cemento.

El comienzo del fraguado de una pasta cementante está caracterizado por una rigidez y un calentamiento inicial de la mezcla, producto de las reacciones químicas de la hidratación del cemento. La NTC-117 y la ASTM C186, definen los procesos para determinar el calor de hidratación del cemento. Esta norma tiene por objeto establecer el método para determinar el calor de dilatación del cemento hidráulico midiendo la diferencia entre el calor de disolución del cemento anhídrido en condiciones determinadas y el calor de disolución del mismo, parcialmente hidratado a 7 días y 28 días, en las mismas condiciones del ensayo.

Las curvas del calor desarrollado por el cemento hidráulico se pueden obtener por varios métodos, como el método del calor de disolución (NTC- 117), el método de la botella aislante y el calorímetro adiabático. Aun que los tres tienen procesos similares, el único reglamentado por las normas colombianas es el método de calor de disolución.

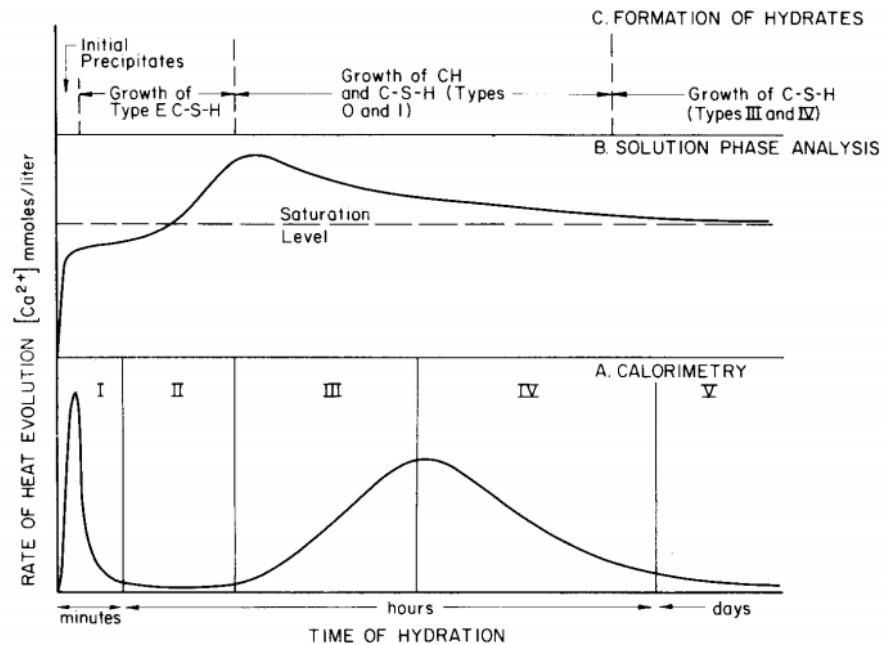
El calor de hidratación, depende fundamentalmente de las proporciones químicas del cemento, además del módulo de finura de la muestra, de la temperatura del agua y del medio ambiente en contacto con la superficie del elemento.

---

<sup>27</sup> Fritz Keil, Cemento fabricación propiedades aplicaciones , Variaciones de la Temperatura, Pag 252 1973

Las reacciones químicas entre el cemento y el agua, determinan el crecimiento de calor. Cabe notar, que las proporciones de silicatos y aluminatos de calcio, son recetas propias de las cementeras, es decir, los cementos son productos diferentes, que varan de uno a otro productor, es decir, desarrollan temperaturas durante la hidratación distintas entre sí. En la Grafica 7, se muestra el desarrollo de calor del cemento y en la tabla, se pueden ver el proceso químicos en los tiempos indicados.

**Grafica 7 Desarrollo de calor del cemento.**



Fuente: UNIVERSIDAD DE OVIEDO [Consulta en línea] -<<http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/leccion7.hidratacion cemento>> [Revisado en 24 de Febrero de 2015]

Esta secuencia, corresponde a un cemento portland tipo 1, usado generalmente en la construcción de obras de infraestructura, aunque no hay valores de la rata de crecimiento de calor, se puede ver el comportamiento térmico para los cementos en ambientes de hidratación normal.

Como podemos ver, los procesos químicos, son realmente involucrados en el desarrollo de calor del cemento. En la Tabla 3 se puede ver el desarrollo químico del cemento.

**Tabla 3. Secuencia de hidratación de los silicatos.**

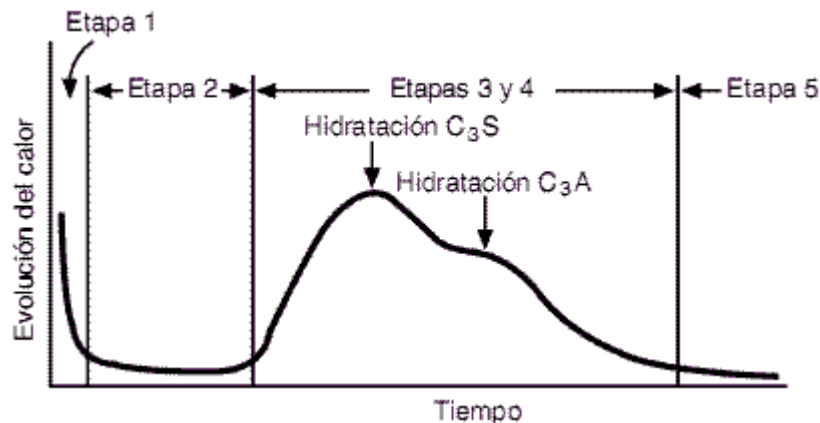
<i>Period</i>	<i>Reaction stage</i>	<i>Chemical processes</i>	<i>Overall kinetic behaviour</i>
Early	I. Pre-induction period	Initial hydrolysis; release of ions	Very rapid Chemical control
	II. Induction period	Continued dissolution; formation of early C-S-H	Slow Nucleation or diffusion control
Middle	III. Acceleration period (post-induction period)	Initial growth of permanent hydration products	Rapid Chemical control
	IV. Deceleration period	Continued growth of hydration products; development of microstructure	Moderate Chemical and diffusion control
Late	V. Diffusion period (steady-state period)	Gradual densification of microstructure	Very slow Diffusion control

Fuente: (citado en línea) <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion7.HidratacionCEMENTO.pdf>( citado el 10 de febrero de 2015)

#### 7.1.1.3.2 Calor de hidratación del concreto.

Los procesos de hidratación del concreto, corresponde sistemáticamente a los procesos de calor del cemento, con algunos cambios, debido a la temperatura de los agregados y el agua. En la Grafica 8, se pueden evidenciar las similitudes con los procesos de hidratación de la pasta de cemento.

**Grafica 8. Desarrollo de la temperatura del hormigo y sus etapas.**



Fuente: NOTAS DE CONCRETO, Calor de hidratación [Citado en línea] <<http://notasdeconcretos.blogspot.com/2011/04/calor-de-hidratacion-del-hormigon.html>>,[Revisado Enero de 2015]

“La etapa 1 es el calor de humedecimiento o de la hidrólisis inicial (hidratación del C3Ay del C3S). La etapa 2 es el período de incubación relacionado al tiempo de fraguado inicial. La etapa 3 es una reacción acelerada de los productos de hidratación que determina la tasa de endurecimiento y el tiempo de fraguado final. En la etapa 4 hay una desaceleración de la formación de los productos de hidratación y determina la tasa de aumento de resistencia inicial. La etapa 5 es lenta, caracterizada por la formación estable de productos de hidratación, estabilizando la tasa de aumento de resistencia a edades avanzadas”<sup>28</sup>.

Como se puede ver, los procesos térmicos son iguales; pero si se realizara un ensayo, podría evidenciarse, que los agregados disminuyen la temperatura del hormigón.

#### **7.1.8 Resistencia a la compresión.**

Para determinar la resistencia a la compresión de un concreto un método estandarizado y estructurado por las normas técnicas colombianas, este método se encuentra definido en la NTC 673, y determinan el módulo de rotura de la siguiente manera:

#### **NORMA TECNICA COLOMBIANA 673 – ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECIMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO**

Este método de ensayo trata sobre la determinación de la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto, tales como cilindros moldeados y núcleos perforados. Se encuentra limitado al concreto que tiene un peso unitario mayor que 800 kg/m<sup>3</sup> [50 lb/ft<sup>3</sup>].

Teniendo en cuenta lo anterior, para determinar la resistencia a la compresión, se debe utilizar la siguiente fórmula:

---

<sup>28</sup> NOTAS DE CONCRETOS, Calor de hidratación, [Consulta en Línea], <<http://notasdeconcretos.blogspot.com/2011/04/calor-de-hidratacion-del-hormigon.html>>[Consulta 15 de Abril de 2015]

### **Ecuación 1. Resistencia a la compresión del espécimen.**

$$f'_c = \frac{P}{a}$$

Fuente: Autor.

#### **Dónde:**

F'c= resistencia a compresión de la muestra

P= carga máxima aplicada, indicada por la máquina de ensayo (KN)

A= área trasversal a la aplicación de la carga

Las edades de falla de las probetas de este documento serán 7 y 28 días, con el fin de verificar las resistencias iniciales y finales del concreto.

#### **7.1.9 Clima.**

El clima son las condiciones estacionales y diarias de una región; incluye la temperatura, las precipitaciones, el viento y el sol y la humedad. Se recopilan las observaciones de varias décadas y se clasifican en zonas climáticas. Hay cinco zonas climáticas principales. Tropical, seco, latitudes medias templadas, latitudes medias extremas y polar<sup>29</sup>. Dependiendo de la altitud, la temperatura varia. Bogotá, tiene una temperatura media de alrededor de 17°C y una humedad del 73%. Las precipitaciones son constantes y se tiene una idea de una ciudad húmeda y de clima frio templado. El clima es de gran influencia para el desarrollo de la resistencia en el hormigón, como ya lo habíamos mencionado. Es de

---

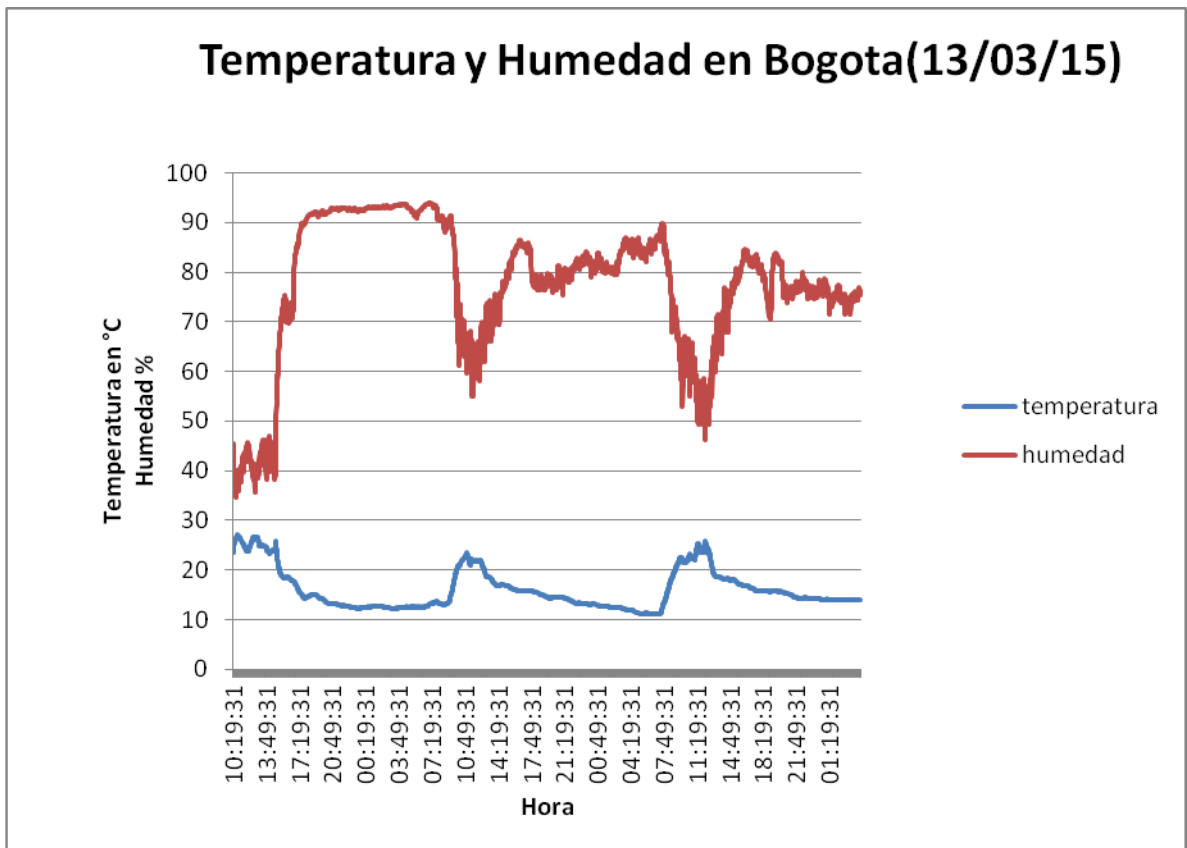
<sup>29</sup> THE WEATER CHANEL, [Citado en Línea],< <http://espanol.weather.com/climate/climate> > [Citado en 20 de Enero de 2015]

esperarse, que los climas cálidos ofrezcan resistencias en el hormigón bajas a una edad avanzada.

### 7.1.10 El desarrollo de la temperatura y humedad durante el día.

La Grafica 8 muestra el desarrollo de la humedad y la temperatura en la ciudad de Bogotá.

**Grafica 8 Registro de la Humedad y la Temperatura en Bogotá 13 y 14 de Marzo de 2015.**



Fuente: Autor.

Como se puede ver, la temperatura y la humedad varían con el tiempo, por ende la necesidad de desarrollar la evaluación de la resistencia del concreto y su afección con la temperatura ambiente para cada ciudad.



## 7.2 MARCO LEGAL

Los procesos de diseño, amasado, fraguado y curado del hormigón, fueron ejecutados, bajo los parámetros de las normas colombianas. Aunque en algunos casos estos fueron modificados con el fin de cambiar las condiciones de endurecimiento inicial, condiciones que se señalan posteriormente. Esto se hace, para obtener los resultados de un experimento que involucra someter el concreto a condiciones distintas a las especificadas en la Norma Sismo Resistente (NSR) y las Normas Técnicas Colombianas (NTC). Durante el desarrollo de este proyecto, usamos las siguientes normas en los diferentes procesos.

### 7.2.1 Normatividad en el Diseño de Mezcla

**NTC 221- ASTM C188** - Método de ensayo para determinar la densidad del cemento hidráulico; Esta norma establece el método de ensayo para determinar la densidad del cemento hidráulico. Su principal utilidad está relacionada con el diseño y control de las mezclas de concreto

**NTC 3459- ASTM C1602** - Agua para la elaboración de concreto. Determinar el método para establecer por medio de ensayos, si el agua es apropiada para la elaboración de concreto

**NTC 174 -ASTM C 33** - Especificaciones de los agregados para concreto -Esta norma establece los requisitos de gradación y calidad para los agregados finos y gruesos, (excepto los agregados livianos y pesados) para uso en concreto.

**NTC 237 -ASTM C128** - Método para determinar la densidad y la absorción del agregado fino- Este método de ensayo cubre la determinación de la densidad aparente y nominal, a una condición de temperatura de  $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  y la absorción del agregado fino.

Este método de ensayo determina (después de 24 h en agua) la densidad aparente, la densidad nominal y la absorción según se define en la NTC 385 Terminología del Cemento y Concreto.

**NTC 77 - ASTM D136** - Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos. Esta norma abarca la determinación de la distribución de los tamaños de las partículas que componen los agregados finos y gruesos, a través de un proceso de tamizado.

**NTC 1777 - ASTM C566** - Método de ensayo para determinar por secado el contenido total de humedad de los agregados - Esta norma establece el método de ensayo para determinar el porcentaje de humedad evaporable en una muestra de agregado sometida a secado.

**NTC 78 -ASTM C117-90** -Método para determinar por lavado el material que pasa el tamiz 75  $\mu\text{m}$  en agregados minerales Esta norma establece el procedimiento para determinar por lavado, la cantidad de material más fino que el tamiz 75  $\mu\text{m}$  (No 200) en agregados.

**NTC 92 - ASTM C29M-91a** - Determinación de la masa unitaria y los vacíos entre partículas de agregados.- Por medio de esta norma, determinaremos la masa unitaria en condición compactada o suelta y el cálculo de los vacíos entre las partículas de agregados finos, gruesos o mezclados.

**NTC 396 - ASTM C143** - Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto. Esta norma establece el método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto en la obra y en el laboratorio.

**NTC 550 - ASTM C31** - Elaboración y curado de especímenes de concreto de obra. Establecer los procedimientos para la elaboración y curado de especímenes cilíndricos y prismáticos, tomados de muestras Representativas de concreto fresco para construcción.

**NTC 3756 - ASTM C39** - Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto Este método de ensayo trata sobre la determinación de la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto, tales como cilindros moldeados y núcleos perforados. Se encuentra limitado al concreto que tiene un peso unitario mayor que 800 kg/m<sup>3</sup> [50 lb/ft<sup>3</sup> ].

**NTC 3459 - ASTM C 1074-** Procedimiento para estimar la resistencia del concreto por el método de la madurez - Esta norma presenta un procedimiento para la determinación de la resistencia del concreto por medio del método de la madurez. La madurez se expresa en términos del factor temperatura-tiempo o en términos de la edad equivalente a una temperatura especificada.

## **NSR-10 NORMA SISMO RESISTENTE DE 2010**

## 8 MATERIALES

Los ensayos se realizaron con materiales a temperatura ambiente, no se realizaron modificaciones a estos en cuanto a temperatura y gradación.

### 8.1 CEMENTO PORTLAND TIPO 1

Se utilizó cemento portland tipo 1 (CEMEX), que cuenta con las siguientes especificaciones según el fabricante (Tabla 4).

**Tabla 4 . Especificaciones del cemento portland**

INFORMACIÓN TÉCNICA		
<b>Resistencias a compresión (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>		
1 día	65 - 95	NA
3 días	125 - 175	Mínimo 80
7 días	170 - 230	Mínimo 150
28 días	260 - 310	Mínimo 240
<b>Análisis físicos</b>	<b>Rango resultados</b>	<b>Requisitos Norma NTC121</b>
Superficie específica Blaine (cm <sup>2</sup> /g) Tiempos de fraguado Vicat (minutos)	5000 - 7000	Mínimo 2800
Inicial	120 - 160	Mínimo 45
Final	170 - 230	Máximo 480
Expansión en autoclave (%)	0,01 - 0,10	Máximo 0,80
<b>Análisis químicos</b>		<b>Requisitos Norma NTC321</b>
% SO <sup>3</sup>	2,0 - 3,5	Máximo 3,5
%MgO	1,0 - 3,0	Máximo 7,0

Cumple las normas NTC 121 y 321 para Cemento Portland Tipo I.

Producto elaborado bajo un sistema de gestión de calidad y ambiental certificado con ISO 9001 e ISO 4001 por ICONTEC.

Fuente: Cemex Colombia [Citado en línea]  
<<http://www.cemexcolombia.com/solucionesconstructor/files/SuperResistente.pdf>>  
[Citado en 20 de Febrero de 2015]

Las proporciones de las materias primas son de uso exclusivo de la compañía, las propiedades mecánicas se sugieren a partir de estas dosificaciones.

Para el diseño de mezcla, se realiza el ensayo de para determinar la densidad del cemento, sugerida por la NTC.

### 8.1.1. Densidad del cemento (NTC 221)

De acuerdo al procedimiento realizado en laboratorio, conforme a la NTC 221 la densidad del cemento a usar en la metodología será:

$$\gamma = 2,97$$

### 8.2 Agregado grueso de río (grava):

Este agregado fue explotado en la río Magdalena; con un tamaño máximo nominal de 1½ pulgada. El material, visualmente se ve competente y de buena calidad.

A este, se le realizaron algunos procedimientos de laboratorio, para determinar sus características. En la Tabla 6 se pueden apreciar las propiedades.

**Tabla 6 Características del Agregado grueso**

CARACTERISTICAS DEL AGREGADO GRUESO	VALOR	UNIDAD
<b>Peso Específico del Agregado Grueso</b>	2.554	(Kg/m <sup>3</sup> )
<b>Peso Volumétrico del Agregado Grueso</b>	2376	kg/m <sup>3</sup>
<b>Absorción del Agregado Grueso</b>	1,3	%
<b>Humedad del Agregado Grueso</b>	1	%
<b>Tamaño máximo</b>	1 ½"	in
<b>Tamaño máximo nominal</b>	1"	in

Fuente: Autor

### 8.3 Agregado Fino

Al igual que el agregado grueso, el agregado fino se adquirió de la misma cantera y proveedor. Para determinar sus propiedades físicas, fueron usadas las normas NTC que se pueden ver en el marco legal de este documento. En la Tabla 7 se pueden ver las características del agregado fino.

**Tabla 7 Otras características del agregado fino.**

<b>CARACTERISTICA</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDAD</b>
<b>Peso Volumétrico del Agregado Fino</b>	1455	kg/m <sup>3</sup>
<b>Peso Específico del Agregado Fino</b>	2618	(Kg/m <sup>3</sup> )
<b>Absorción del Agregado Fino</b>	1,48	%
<b>Humedad del Agregado Fino</b>	1,0	%

Fuente: Autor.

### 8.4 Agua

El agua que se utilizó para la producción de la mezcla de concreto, es agua potable suministrada por el acueducto de Bogotá, libre de impurezas aparentes, sin olor y sin sabor. Al igual cumple con los requisitos expuestos por la NTC 3459.

Uno de los parámetros más importantes en la resistencia del concreto, es la relación agua cemento que para los ensayos, será de 0.45. Además, el asentamiento seleccionado fue de 4", otro de los factores de gran influencia del agua.

## 9 MARCO METODOLOGICO

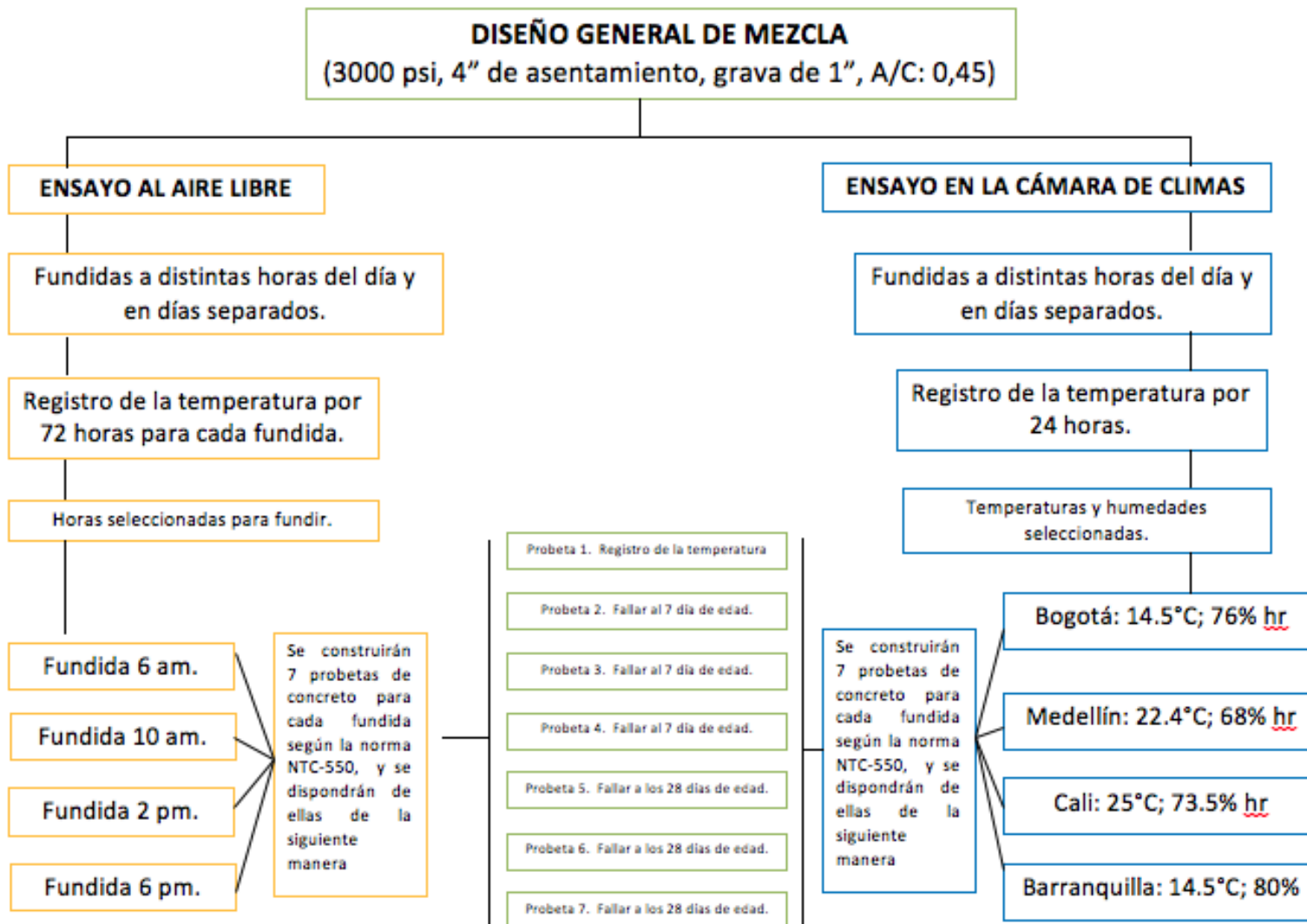
El presente proyecto se enmarca dentro del campo de la investigación experimental y consistirá, en realizar un único diseño de mezcla de concreto, construyendo probetas circulares, fallándolas a los 7 y 28 días de maduración del hormigón usando el procedimiento descrito en la norma NTC-673.

Alteraremos la temperatura de fraguado y curado del hormigón por medio de dos procedimientos. El primero, consiste en fundir a distintas horas del día, usando los cambios térmicos propios del ambiente, para intentar modificar la temperatura interna del hormigón; este ensayo será conocido durante este trabajo como *el ensayo al aire libre*. El segundo procedimiento, radica en el uso de una cámara de clima constante, llevando las muestras por 24 horas a temperaturas y humedades propias de los climas medios de algunas ciudades del territorio colombiano; este procedimiento será conocido durante este trabajo como *el ensayo en la cámara de climas*.

Registraremos constantemente la temperatura del hormigón, y la temperatura de ambiente.

Cada procedimiento será analizado por separado, sin embargo, la metodología de desarrollo para los dos casos es similar y constan de 3 fases que se mencionaran a continuación.

La siguiente imagen, muestra la matriz de desarrollo experimental para el proyecto en general. Cada proceso esta separado para ser analizado de forma específica (**Imagen 1**)



Fuente: Autor.

## 9.1 FASE 1: DISEÑO DE MEZCLA Y PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS

### 9.1.1 Diseño único de mezcla para los dos procedimientos.

Lo primero que se realizara, es calcular un diseño de mezcla para un concreto de 3000 psi con un asentamiento de 4", usando las características obtenidas de los agregados suministrados por "EL VINCULO"<sup>30</sup>, tales como granulometría, peso específico, absorción y densidad. Usando las normas mencionadas en la tabla del marco legal de este documento, procederemos a la elaboración del diseño de mezcla y producción de probetas de 102mm X 203mm.

De acuerdo con los resultados de laboratorio y el método A.C.I 211, el diseño de mezcla usado será el mostrado en la Tabla 8.

**Tabla 8 Corrección por humedad de la mezcla.**

CORRECCION POR HUMEDAD						
MATERIAL	Kg/m3	factor	kg/30 litros	%ABSORCION	CORRECCION	KG
CEMENTO	400,000	0,3	12,000	0,000		12,000
ARENA	756,569	0,3	22,697	0,008	0,181	22,878
GRAVA	924,690	0,3	27,740	0,013	0,360	28,101
AGUA	200,000	0,3	6,000			5,457
TOTAL	2281,259		68,437			68,437

Fuente. Autor

De acuerdo a esto, las proporciones de la mezcla para las fundidas serán:

**1 : 1,9 : 2,34**

La tabla muestras las proporciones de los agregados usadas para todos los ensayos.

	CEMENTO	GRAVA	ARENA	AGUA
PESO (Kg)	7,085 kg	16,593 kg	13,509 kg	3,186 kg

Fuente: Autor

<sup>30</sup> Agregados "EL VINCULO", empresa nacional que suministra el agregado en la ciudad de Bogotá.



Con una relación agua cemento (A/C): 0.45

### **9.1.2 Construcción de probetas**

La construcción de probetas, demanda de un cuidado específico señalado en las normas técnicas. Para esto, previamente, se analizaron los equipos a usar y se revisaron las normas NTC-550 y NTC-673 con sus procedimientos para garantizar un buen desarrollo.

#### **9.1.2.1 Análisis del equipo usado para la preparación de los ensayos**

Se verifica la calibración del equipo de toma de temperatura. Además, se verifican los equipos usados para la elaboración de los cilindros de hormigón. Cabe notar, que para el procedimiento realizado dentro de la recámara de clima constante, se usaron camisas de pvc, con el fin de afectar la máquina. Sin embargo, los parámetros generales del procedimiento estipulado por las NTC se conservaron, como la relación de diámetro y altura, resistencia mínima de falla en la máquina de compresión. En las imágenes 2, 3 y 4 se puede evidenciar los equipos y camisas usadas.

**Imagen 2 . Cilindros para prueba al aire libre.**



Fuente: Autor.

**Imagen 3. Cilindros para prueba en cámara de clima constante.**



Fuente: Autor

**Imagen 4 . Data Logger Cem. Aparato de registro de temperatura.**



Fuente: Autor

### **9.1.2.2 Mezclado De Los Materiales**

Después que se realiza el diseño de mezcla se procede a pesar cada uno de los materiales. Para efectos de no variar las condiciones de ensayo, fueron usadas las mismas proporciones sin importar el tamaño de la muestra ni el volumen requerido con el fin de hacer una fundida mas homogénea. (Imagen 4).

#### Imagen 4. Pesaje de los materiales



Fuente: Autor

Se procede a mezclar todos los componentes en una mezcladora de concreto durante 3 minutos, tiempo seleccionado con anterioridad para todos los ensayos. Se selecciono este tiempo de mezcla, pues se garantiza la homogeneidad de la mezcla. (Imagen 5)

#### Imagen 5. Mezclado de los materiales



Fuente: Autor

Luego de esto se procede a la toma del asentamiento de la mezcla y se procede a vaciar el concreto en las probetas cilíndricas siguiendo lo estipulado por la norma NTC 550 la cual dice que este tipo de probetas debe ser fundida en tres capas de igual espesor y apisonadas cada una con 25 golpes respectivamente (Imagen 6). Para las probetas utilizadas en la cámara de clima constante, se aseguro la acomodación de partículas, por medio de golpes suaves a la probeta durante la realización del ensayo. Cabe notar que la norma NTC 550, afirma que los 25 golpes, son para simular el vibrado en obra.

### **Imagen 6. Construcción de los cilindros**



Fuente: Autor

Posteriormente, se procede a introducir la termocupla programa para el registro de las temperaturas y humedades durante el ensayo. El seguimiento, se realizara durante 72 horas, para revisar el comportamiento de la temperatura en el hormigo.

Se colocaran los componentes del hormigón durante 3 minutos en un mezclador mecánico de eje vertical, poniendo primero el agregado grueso, seguidamente el agua, la arena y por último el cemento. Se registrara el asentamiento de la mezcla posterior a los 3 minutos. Se buscara que los procesos de mezclado de los

agregados y sus proporciones sean similares en todos los ensayos, con el fin de variar únicamente la temperatura en el proceso.

La toma de asentamiento y la fabricación de probetas, demanda de un equipo que será analizado antes de empezar los ensayos. Cabe notar, que los equipos mencionados, están contemplados en la norma NTC-550.

Para el ensayo al aire libre, usaremos probetas de 4" x 8", conforme a la norma NTC-550 y para el procedimiento en la cámara de climas, usaremos probetas de 3"x 6", debido a limitaciones en espacio de la cámara. Estos aspectos se verán con más detalle a continuación.

#### **9.1.2.1 Construcción de probetas ensayo al aire libre.**

Se fabricaran siete probetas de 102mm X 203mm, de las cuales tres serán usadas para fallar al séptimo día de maduración del concreto, los siguientes tres, serán fallados a una edad de 28 días, y la última de las probetas será usada para registrar la temperatura interna del hormigón.

Los cambios de temperatura interna del hormigón serán registrados inmediatamente una vez construida la probeta, por medio de una "termocupla datalogger CEM 171", que tomara los datos constantemente durante los primeros 3 días de maduración de la mezcla.

Para la colocación de la termocupla, se usaran los parámetros establecidos en la norma NTC-3756 referente al método de la madurez.

En una primera parte, se realizaran 4 fundidas, a las 6:00am, 10:00am, 2:00pm y 6:00 pm, horas seleccionadas, para cubrir la mayor parte del día. Las muestras serán rotuladas con la fecha y la hora en las cuales fueron fundidas, con el fin de evitar confundir las probetas (**Imagen 5**).



## Imagen 5 Rotulacion de probetas



Fuente: Autor.

### 9.1.2.2 Construcción de probetas ensayo en la cámara de climas.

Debido al tamaño de la cámara de clima constante, usaremos probetas más pequeñas poco comunes para la determinación de la resistencia del hormigón. Sin embargo, nos apoyaremos en la NTC-3658 (método para la obtención y ensayo para núcleos extraídos), para definir el tamaño de la muestras según la relación diámetro altura.

Para este proceso, se utilizara la cámara de clima constante, para simular las temperaturas y humedades propias de algunas ciudades de Colombia. Las probetas serán de 3" de diámetro por 6" de altura. Con el fin de evitar daños en la cámara, se usaran probetas en pvc (**Imagen 6**).

## Imagen 6 Probetas en pvc, para el procedimiento en la cámara de climas



Fuente: Autor

En esta fase se elaboraran probetas en concreto (cilíndricas), estas se harán con un único diseño de mezcla, teniendo en cuenta cada una de las características particulares de los materiales utilizados para la fabricación de cualquier concreto (cemento, agregado grueso, agregado fino y agua), con el fin de evaluar la resistencia a compresión , de los diferentes concretos preparados según el diseño de mezcla obtenido, el procedimiento se realizara así, para realizar el diseño de mezcla anteriormente nombrado se utilizó el método A.C.I 211, en donde se mantuvo constante de relación de agua 0.45.

### 9.2 FASE 2: FRAGUADO Y CURADO DE LAS MUESTRAS

Para el fraguado y el curado de los especímenes, se tiene en cuenta las siguientes condiciones.

#### 9.2.1 Curado de especímenes al aire libre

Estas probetas, se dejan durante 72 horas en condiciones de exposición térmica y de humedad ambiente, las cuales cualquier elemento estructural como un muro o una placa de concreto puede experimentar. Se introduce la termocupla previamente programada y se registra la información. (Imagen 7)

**Imagen 7. Fraguado y curado inicial de las muestras dejadas al aire libre**



Fuente: Autor

Posteriormente, las probetas son colocadas dentro de una piscina con agua y cal, rotulándolas para evitar confundirlas entre sí, esperando los días de maduración para fallar el cilindro a cada edad correspondiente.

### **9.2.2 Curado de especímenes dentro de la cámara de clima constante**

Para este procedimiento, se usaron camisas de 3" de diámetro, con una altura de 6", como estipula la NTC-550 respecto a la relación diámetro altura de las muestras a fallar. Su material es pvc, y fueron recicladas para cada ensayo. De la misma manera, se coloca la termocupla dentro de una de las probetas, y se procede a registrar la información (Imagen 8).



**Imagen 8. Colocación de las muestras en camisas de pvc, dentro de la cámara de clima constate.**



Fuente: Autor.

Los especímenes, son dejados durante 24 horas con las temperaturas mostradas en la tabla , estas, corresponden a temperaturas típicas presentes en cuatro de las ciudades del territorio nacional. Intentamos simular los ensayos de laboratorio descritos en la investigación desarrollada por la PCA pero con temperaturas y humedades de la región (Tabla 9).

**Tabla 10 Temperaturas y humedades promedio en ciudades de Colombia**

<b>CLIMA PROMEDIO EN CIUDADES</b>		
<b>Ciudad</b>	<b>Temperatura °C</b>	<b>Humedad %</b>
Medellín	22.4	68.2
Cali	25	73.5
Bogotá	14.5	76
Barranquilla	27	80

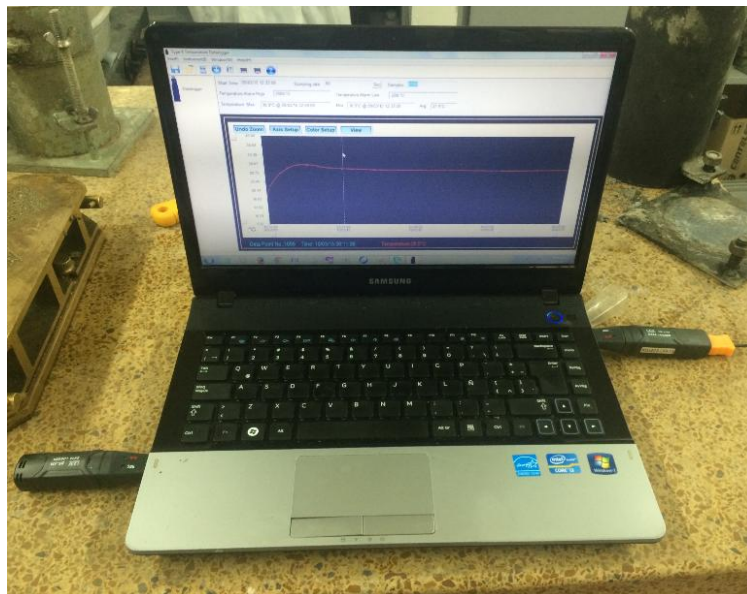
Fuente: CADENA Martha, VEGA Araminta y PARDO Esperanza, IDEAM, Anuario climatológico 2014, Bogotá: [IDEAM 2014]

Pasadas las 24 horas dentro de la cámara de clima constante, se procede a descimbrar las muestras y a colocarlas dentro de una alberca con agua y cal, de igual forma que se hizo con las probetas de 102mm de radio.

### 9.2.3 Registro de información de las termocuplas.

Los dos aparatos de medición, son conectados al computador, y se extraen los datos de temperatura y humedad (Imagen 8), y se procede a analizar los datos obtenidos junto con los datos de la fase 3, en donde se fallaran los cilindros, de acuerdo a la NTC-673.

#### Imagen 9. Extracción de datos de humedad y temperatura.



Fuente. Autor.

## 9.3 FASE 3: DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION

Para esta fase, se utilizara la NTC-673, teniendo cuidado en la colocación de la muestra dentro de la maquina; cabe notar, que defectos de las muestras, pueden hacer variar las resistencias de las probetas (imagen 10). Consiste, en aplicar una carga que aumenta progresivamente a una velocidad determinada, hasta que la probeta falle. El dato es tomado e introducido en las tablas de resultados, para su posterior análisis.

**Imagen 10. Colocación de probeta en la máquina de compresión.**



Fuente: Autor

## 10 RESULTADOS

Para el análisis de los resultados y graficas obtenidas, a continuación, se revisaran los dos procedimientos por separados.

### 10.1 RESULTADOS Y ANALISIS PARA EL ENSAYO AL AIRE LIBRE

En la tabla 10, se pueden ver, los resultados obtenidos apartir de realizar el ensayo a la compresion de cilindros de hormigon.

**Tabla 11. Resultados a la compresión (NTC-673) de las muestras fraguadas al aire libre.**

TABLA DE CARGAS Y RESISTENCIAS (ENSAYO DE COMPRESION EN CILINDROS DE CONCRETO Norma NTC 673:2000)							
HORA DE PRUEBA	CILINDRO	PESO MUESTRA(g)	EDAD	CARGA (KN)	RESISTENACI A (PSI)	RESISTENCIA (Mpa)	PROMEDIOS (Mpa)
6AM	A-1	3752	7 DIAS	137.80	2545	17.5	15.19
	A-2	3872	7 DIAS	119.80	2212	15.3	
	A-3	3732	7 DIAS	100.40	1854	12.8	
	A-4	3769	28DIAS	162.10	2994	20.6	22.74
	A-5	3785	28DIAS	185.40	3424	23.6	
	A-6	3723	28DIAS	188.20	3476	24.0	
10AM	A-1	3719	7 DIAS	124.00	2290	15.8	15.28
	A-2	3882	7 DIAS	123.60	2283	15.7	
	A-3	3712	7 DIAS	112.40	2076	14.3	
	A-4	3763	28DIAS	134.40	2482	17.1	21.42
	A-5	3748	28DIAS	182.30	3367	23.2	
	A-6	3754	28DIAS	188.00	3472	23.9	
2PM	A-1	3671	7 DIAS	95.25	1759	12.1	13.92
	A-2	3919	7 DIAS	112.03	2069	14.3	

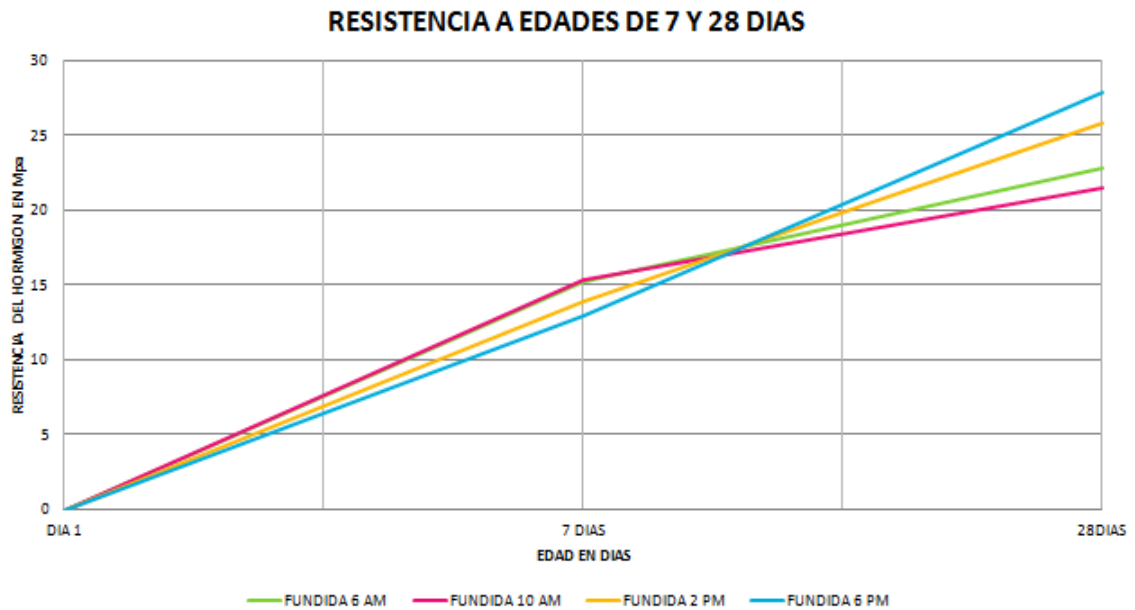
	A-3	3709	7 DIAS	120.64	2228	15.4	
	A-4	3804	28DIAS	203.40	3756	25.9	25.81
	A-5	3747	28DIAS	215.10	3972	27.4	
	A-6	3641	28DIAS	189.60	3501	24.1	
6PM	A-1	3713	7 DIAS	106.20	1961	13.5	12.88
	A-2	3843	7 DIAS	105.10	1941	13.4	
	A-3	3678	7 DIAS	92.20	1703	11.7	
	A-4	3740	28DIAS	209.20	3863	26.6	27.85
	A-5	3789	28DIAS	219.50	4054	27.9	
	A-6	3716	28DIAS	227.50	4201	29.0	

Fuente: Autor

Como se puede observar, las resistencias obtenidas a los 28 días de edad en la fundida de las 6:00 pm, son mayores a las obtenidas en el ciclo de las 10:00 am. Como se puede ver en las graficas , los procesos térmicos del medio ambiente durante las primeras horas de fraguado y curado del hormigón en estos dos ciclos, son realmente diferentes. Se puede ver, que la resistencia de un hormigón fundido en las horas de la noche, es mayor, debido a los factores favorables de humedad y temperatura.

La grafica 10, se puede apreciar las resistencias y la temperatura de fundida y fraguado para cada situación.

**Gráfica 10 Resultados de las resistencias a 7 y 28 días para el ensayo al aire libre**



Este cuadro, debe ser analizado junto con las graficas de temperatura.

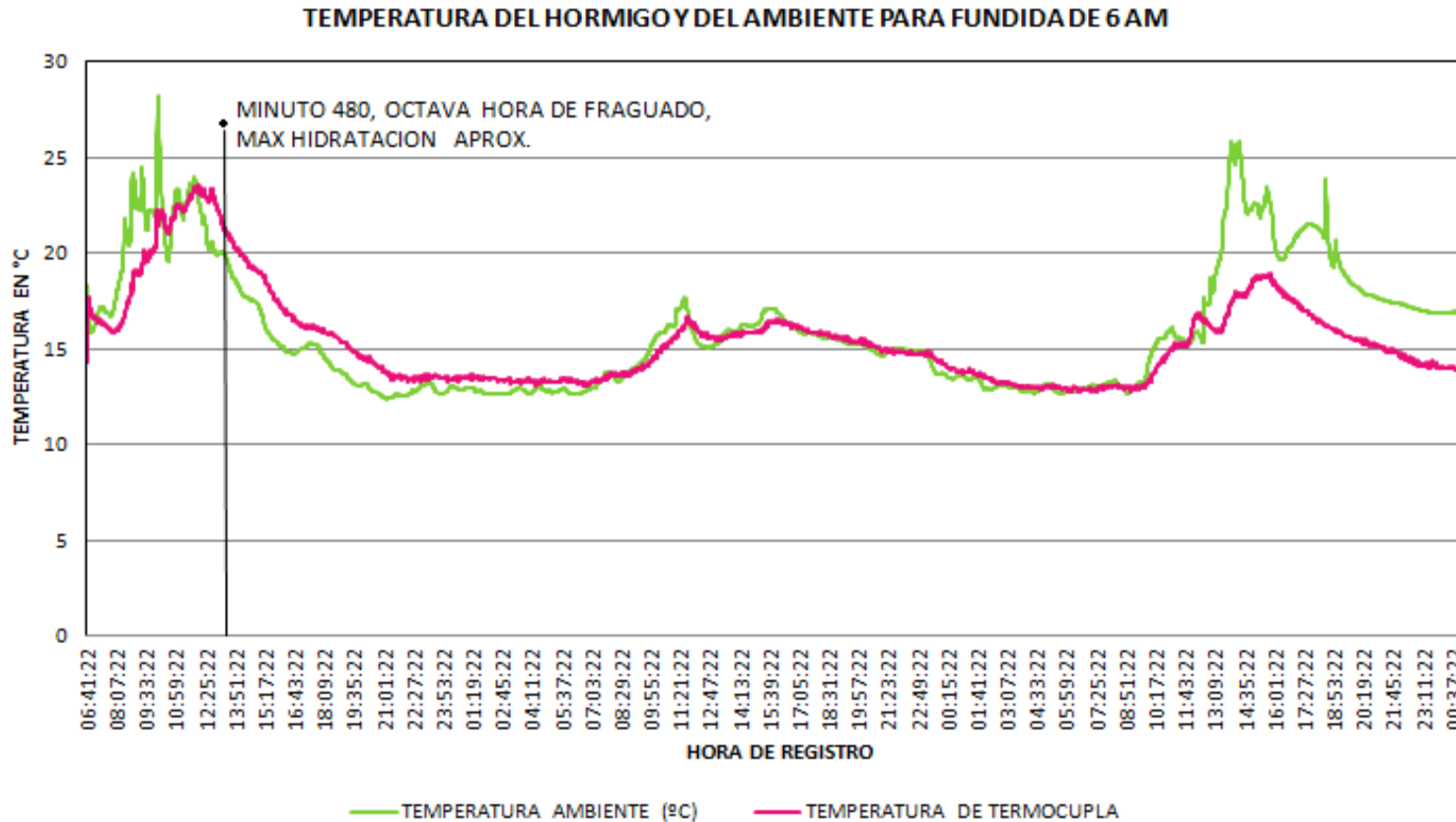
### 10.1. Graficas de temperatura.

A continuación, se mostraran los resultados de la graficas de temperatura ambiente e interna del concreto, para las diferentes horas.

#### 10.1.1 Graficas de temperatura de ambiente vs temperatura de termocuplas

En las graficas 11 se puede apreciar el desarrollo de calor de las muestras de hormigón cotejado con la temperatura ambiente. Note que las muestras con temperaturas mayores experimentadas, dentro de las primeras horas, son a las 6 y 10 de la mañana.

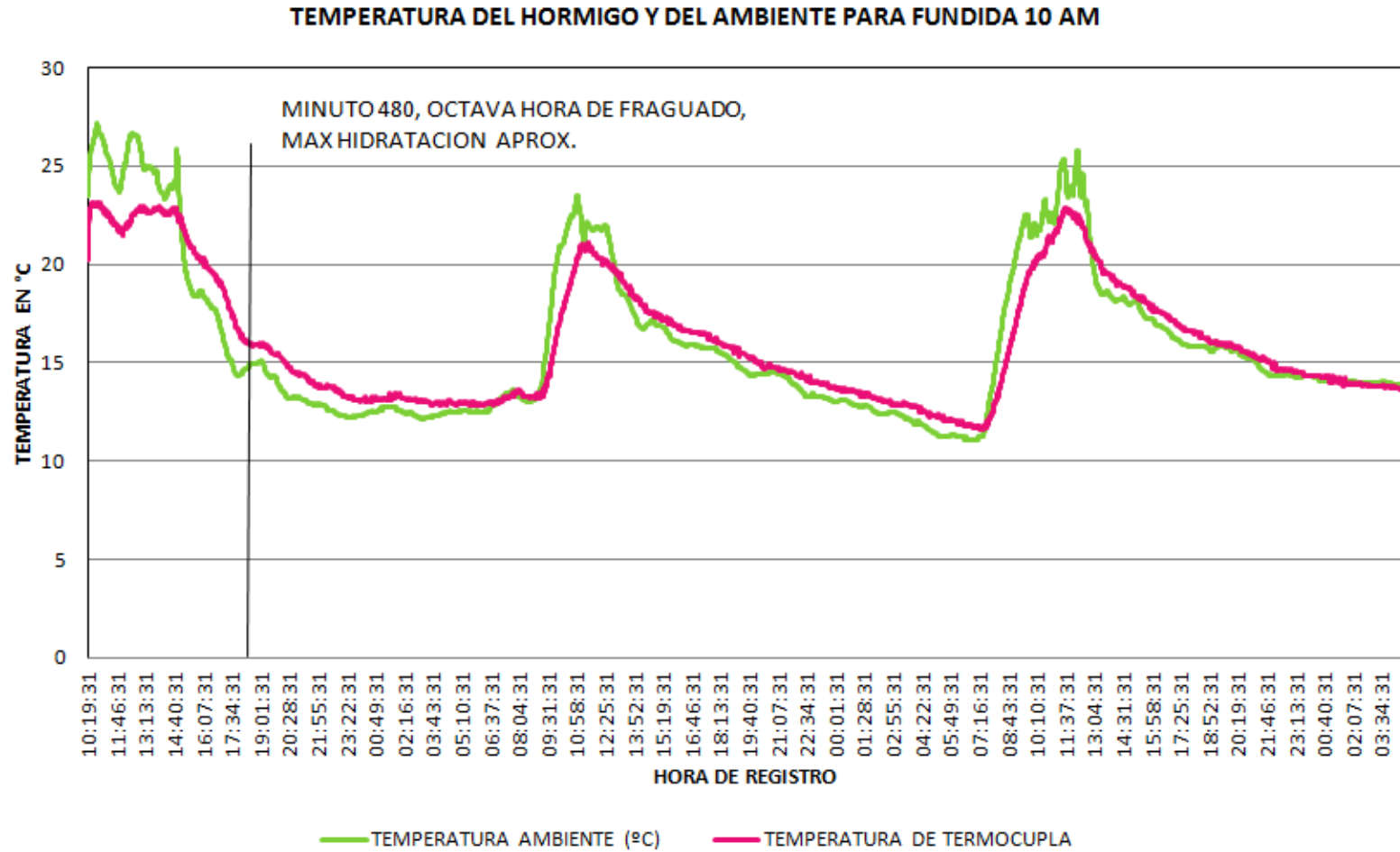
**Grafica 11. Desarrollo de temperaturas a las 6:00 am**



FUENTE: AUTOR.

El desarrollo de calor de la muestras, es realmente parecido al proceso de calor del clima. Las temperaturas de la termocupla superiores a las temperatura ambiente, se debe a que el elemento se enfría a una velocidad menor (Grafica 12).

Grafica 12. Desarrollo de temperaturas a las 10:00 am



Fuente. Autor



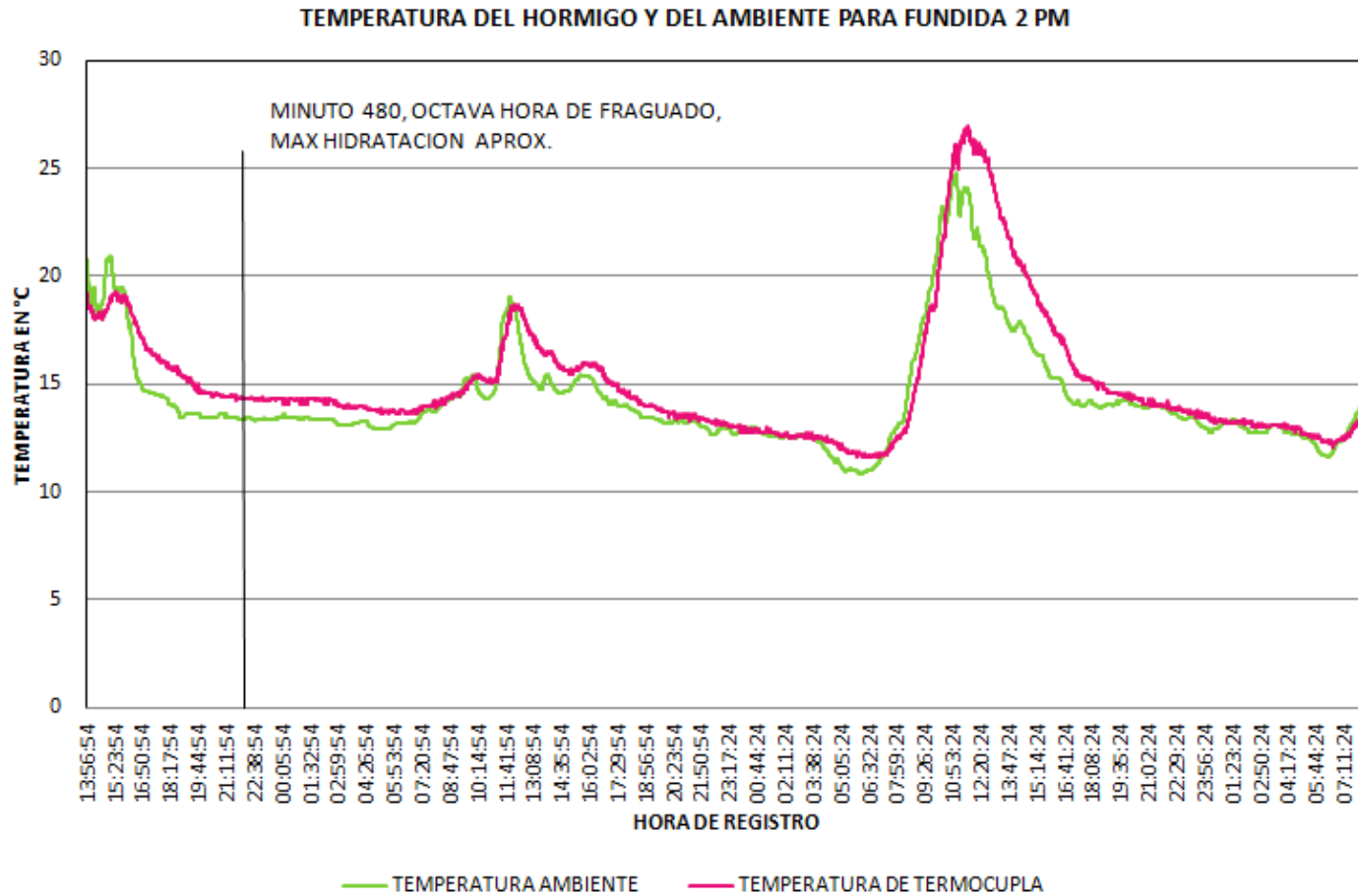
Este concreto, experimentó un proceso térmico mucho mayor al señalado por los demás los otros hormigones. Puede verse claramente, que el área bajo la curva desde las hora cero hasta la hora octava, es mucho mayor a las demás graficas.

Revesando la Tabla 15 de resistencias de hormigo a diferentes edades, podemos notar, que la resistencia de este concreto, es mayor a una edad temprana, sin embargo, cuando analizamos la edad final del ensayo, este concreto presenta una resistencia relativamente baja comparada con los demás casos, concordando con lo escrito en las investigaciones y desarrollos por el A.C.I. En 1997<sup>31</sup> y por Paul Klieger (1958), quienes afirmaron, que a edades tempranas, los concretos sometidos a temperaturas altas tendrán unas resistencias relativamente altas comparadas con concretos sometidas a ambientes de baja temperatura.

---

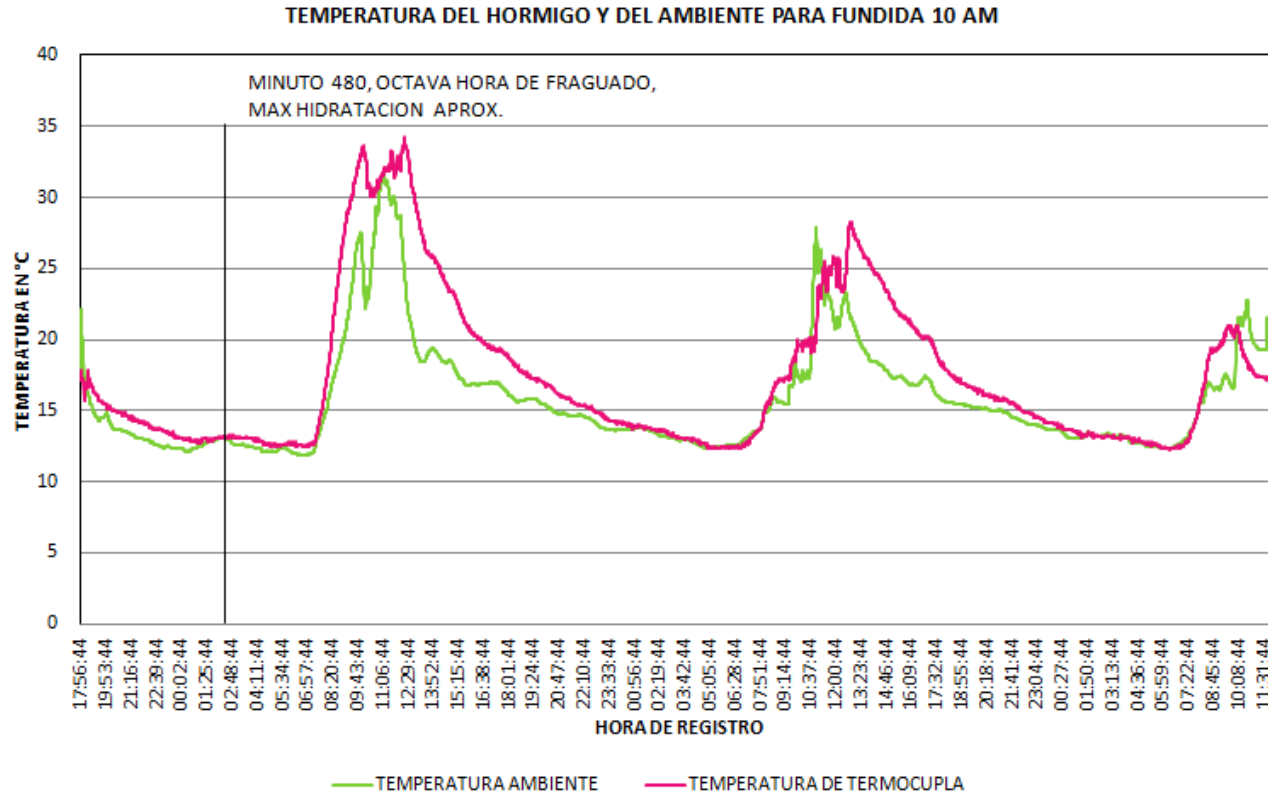
<sup>31</sup> A.C.I. Cold weather Concreting , informe ACI 306R-88 (1997)

**Grafica 13. Desarrollo de temperaturas a las 2:00 pm**



Fuente. Autor

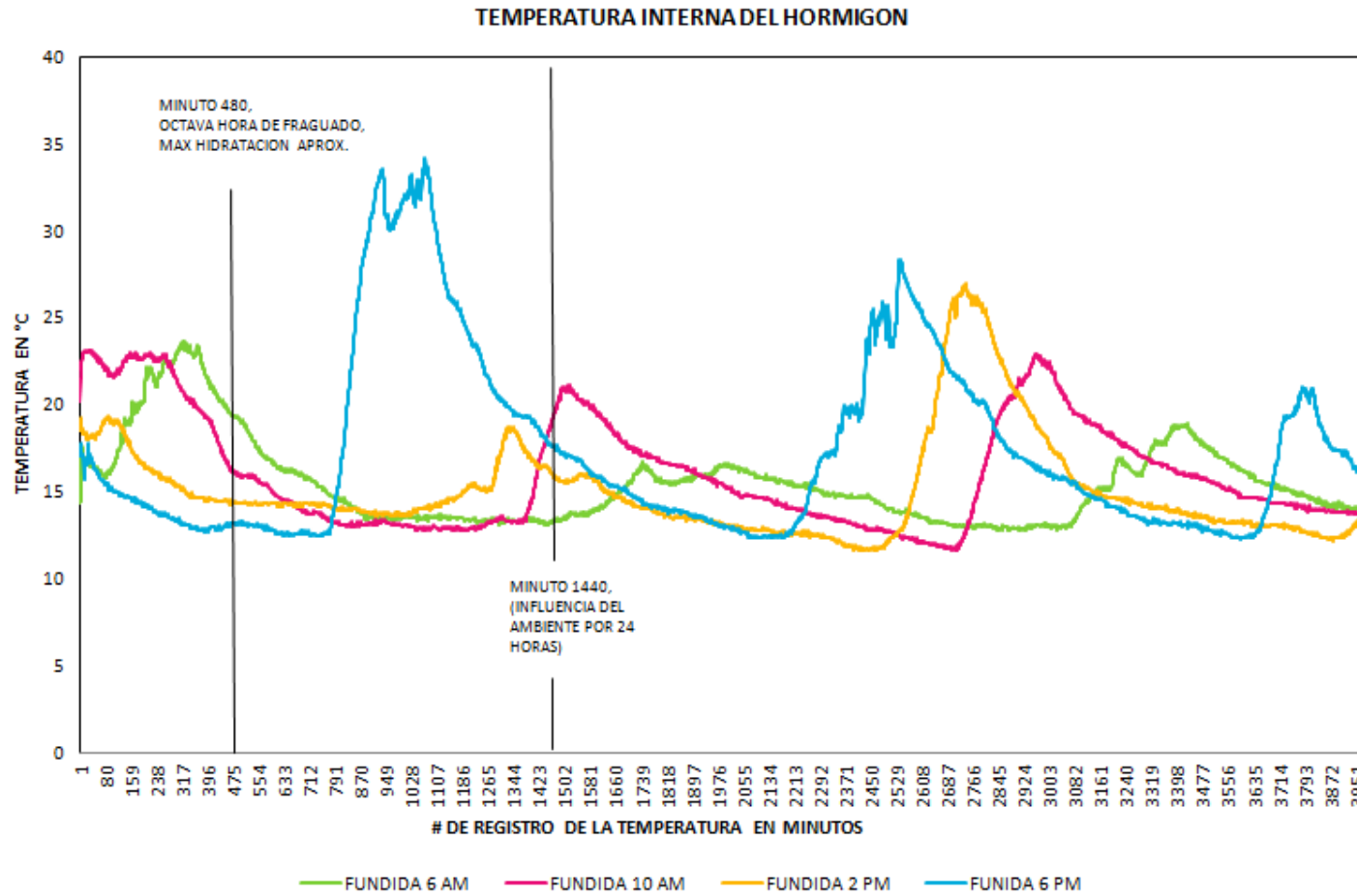
**Grafica 14. Desarrollo de temperaturas a las 6:00 pm**



Fuente. Autor

Como se puede ver, los procesos térmicos en las horas de la noche, ofrecen las mejores condiciones para fundir hormigón en la ciudad de Bogotá, debido a la poca pérdida de resistencia evidenciada en el cuadro de compresión. Además las humedades relativas son muchos mayores, favoreciendo el fraguado del hormigo (Grafica 15).

**Grafica 15. Cotejo de temperaturas internas del hormigo.**



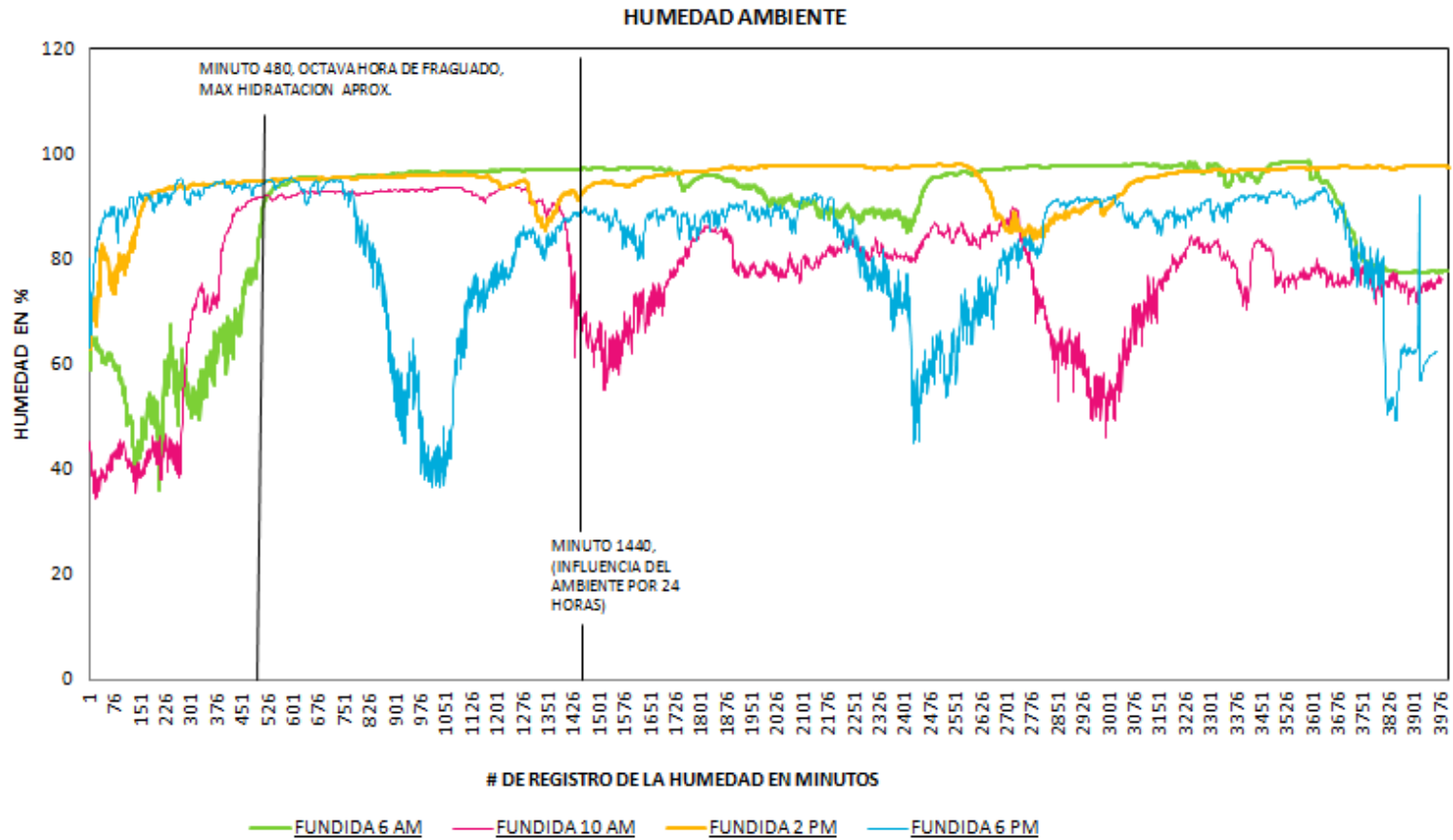
Fuente: Autor.

Fuente Autor

Claramente se puede observar, que los procesos termicos durante las primeras horas de fundida son similares, iniciando con temperaturas bajas y aumentanto hasta un pico, posteriormete, estas decrecen progresivamente y se deteienen justo a la temperatura ambiente presente en ese momento. Cabe notar, que la parte mas importantete de la grafica, se encuentra entre el punto 0 y el 480, correspondiente a la octava hora.

### 10.1.2 Cotejo de humedades relativas durante el fraguado de las muestras

Grafica 16. Cotejo de humedades ensayo al aire libre.



Fuente: Autor

En la grafica 16, se puede evidenciar, que las mejores condiciones de humedad estuvieron presentes en las fundidas de la tarde y noche, esto, favorece la resistencia final, de acuerdo con la NTC y la NSR-10, en donde se señala, que las muestras, deben sumergirse posteriormente en agua con cal, para el curado de las muestra.

## 10.2 Resultados del ensayo a la compresion para en ensayo en la camara de climas.

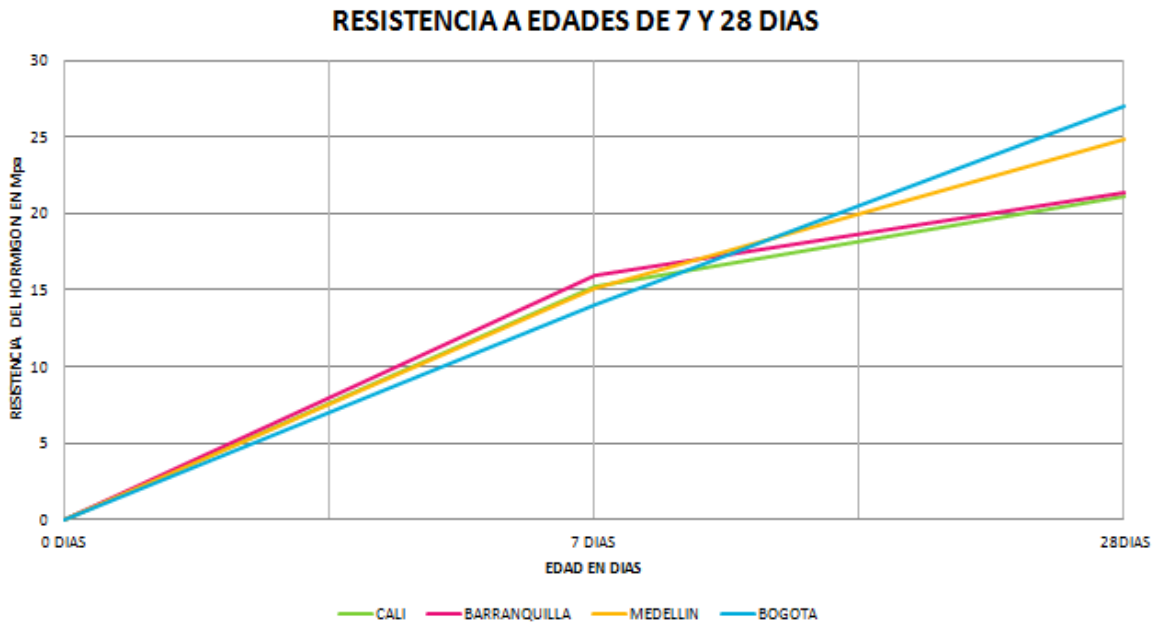
A continuacion, se evidencian los resultados a la compresión de las probetas sometías al proceso térmico dentro de la cámara de climas (Tabla 12) y (Grafica 17).

**Tabla 12. Resusltados a la compresion ensayo en la camara de climas.**

TABLA DE CARGAS Y RESISTENCIAS (ENSAYO DE COMPRESION EN CILINDROS DE CONCRETO Norma NTC 673:2000)								EDAD
HORA DE PRUEBA	CILINDRO	PESO MUESTRA(g)	EDAD	CARGA (KN)	RESISTENACIA (PSI)	RESISTENCIA (Mpa)	PROMEDIOS (Mpa)	
CALI 25 C 73,5% HUMEDAD	A-1	1642	7 DIAS	120.50	2225	15.3	15.24	7 DIAS
	A-2	1645	7 DIAS	129.40	2390	16.5		
	A-3	1855	7 DIAS	109.20	2017	13.9		
	A-4	1767	28DIAS	183.20	3383	23.3	21.17	28DIAS
	A-5	1854	28DIAS	145.20	2681	18.5		
	A-6	1656	28DIAS	170.50	3149	21.7		
BARRANQUILLA 27 C 80% HUMEDAD	A-1	1645	7 DIAS	128.30	2369	16.3	15.94	7 DIAS
	A-2	1566	7 DIAS	130.10	2403	16.6		
	A-3	1756	7 DIAS	117.20	2164	14.9		
	A-4	1892	28DIAS	133.30	2462	17.0	21.31	28DIAS
	A-5	1563	28DIAS	173.90	3212	22.1		
	A-6	1873	28DIAS	195.00	3601	24.8		
MEDELLIN 22,4 C 68,2% HUMEDAD	A-1	1673	7 DIAS	115.20	2127	14.7	15.06	7 DIAS
	A-2	1543	7 DIAS	119.10	2199	15.2		
	A-3	1865	7 DIAS	120.50	2225	15.3		
	A-4	1675	28DIAS	201.10	3714	25.6	24.87	28DIAS
	A-5	1564	28DIAS	206.20	3808	26.3		
	A-6	1675	28DIAS	178.60	3298	22.7		
BOGOTA 14,4 C 76% HUMEDAD	A-1	1982	7 DIAS	114.50	2115	14.6	14.00	7 DIAS
	A-2	1876	7 DIAS	107.10	1978	13.6		
	A-3	1567	7 DIAS	108.20	1998	13.8		
	A-4	1761	28DIAS	218.40	4033	27.8	27.01	28DIAS
	A-5	1897	28DIAS	208.90	3858	26.6		
	A-6	1765	28DIAS	209.20	3863	26.6		

Fuente: Autor

**Grafica 17. Resultados a la compresi3n ensayo en la camara de climas.**



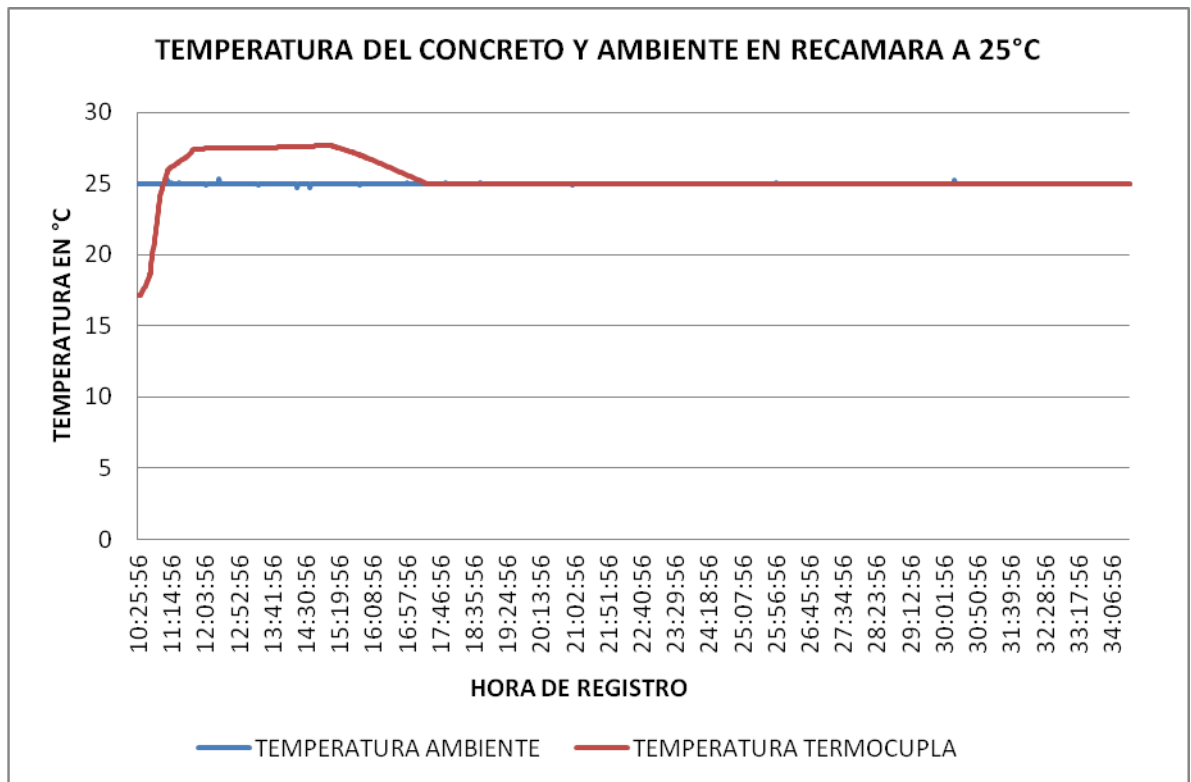
Fuente: Autor

**10.1.4 Graficas de temperatura del ensayo en la camara de clima constante.**

El ensayo en la camara de clima constante, se realizado, debido a las diferentes temperaturas que se pueden hallar en las ciudades mas imprantes de Colombia. Estas son, Medellin, Barranquilla, Bogota y Cali. a continuacion, veremos las graficas y su desarrollo con respecto al tiempo. (Grafica 17-20)

**Grafica 17 Desarrollo de la temperatura en el hormigon a temperatura ambiente de 25°C y humedad 73.5% (Cali)**



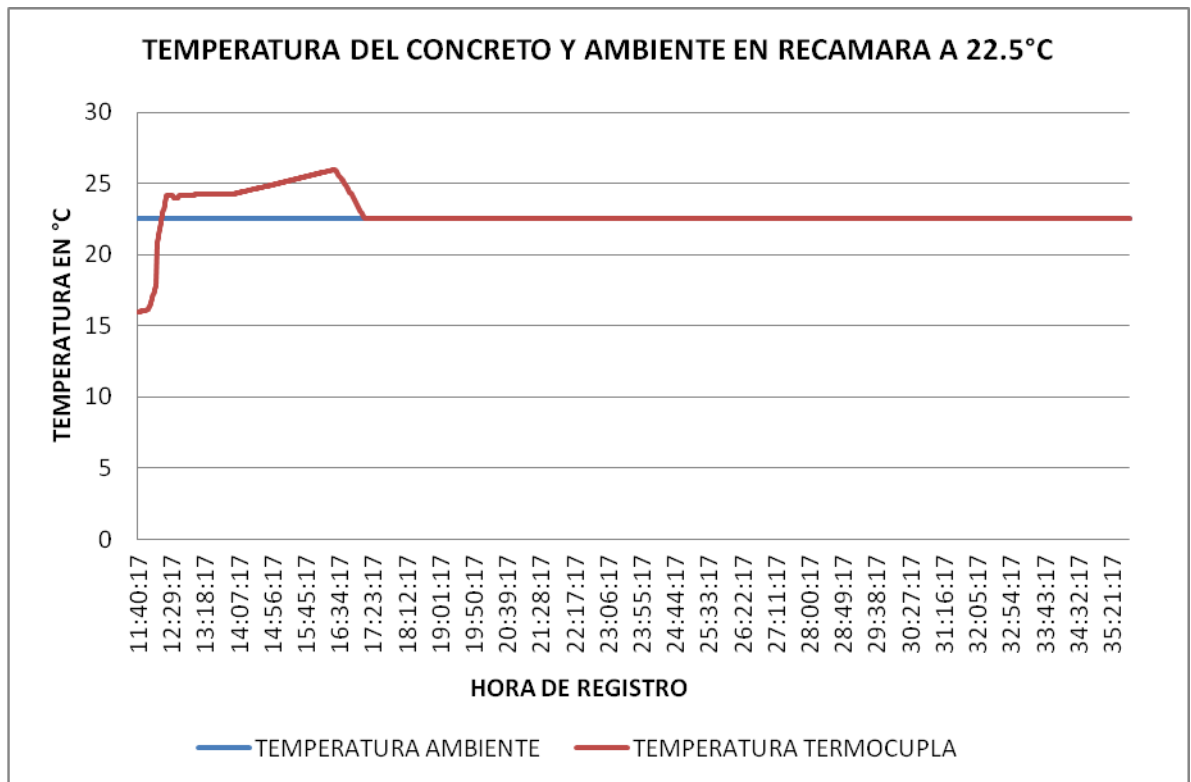


Fuente: Autor.

Como se puede ver en la grafica 17, el desarrollo de la temperatura interna del concreto, es similar, debido a el bajo volumen del hormigon, y la influencia directa de la temperatura de la recamara. Podemos decir siertamnte, que la temperatura de las muestras se ven afectadas directamente por la temperatura de la camara de clima constante.

Podemos ratificar lo mencionado, con en la Grafica 18, en donde señalamos el comportamiento del calor dentro del hormigon ,a una temperatrura ambiente y humedad constantes, pertenecientes a las temperaturas medias de Medellin.

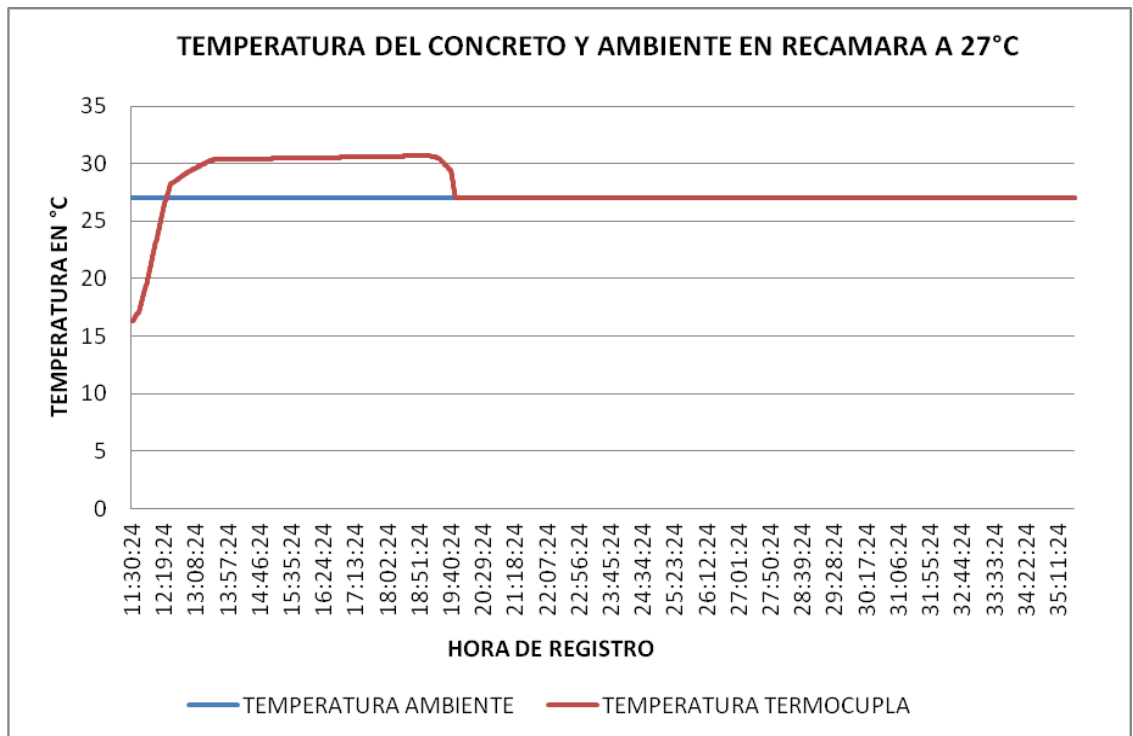
**Grafica 18. Desarrollo de la temperatra en el hormigon a temperatura ambiente de 22,4°C y humedad 68,2% (Medellin).**



Fuente: Autor.

Los cambios de temperatura registrados por la termocupla del concreto, registran y descensos de temperatura, a causa de los procesos de hidratacion del hormigo, evidenciable en todas las graficas. Las Graficas 18,19 y 20, señalan el comportamiento de la temperatura de la camara y la registrada por el hormigon. Cabe notar, que los desarrollos se ven afectados difectamente por la temperatura ambiente.

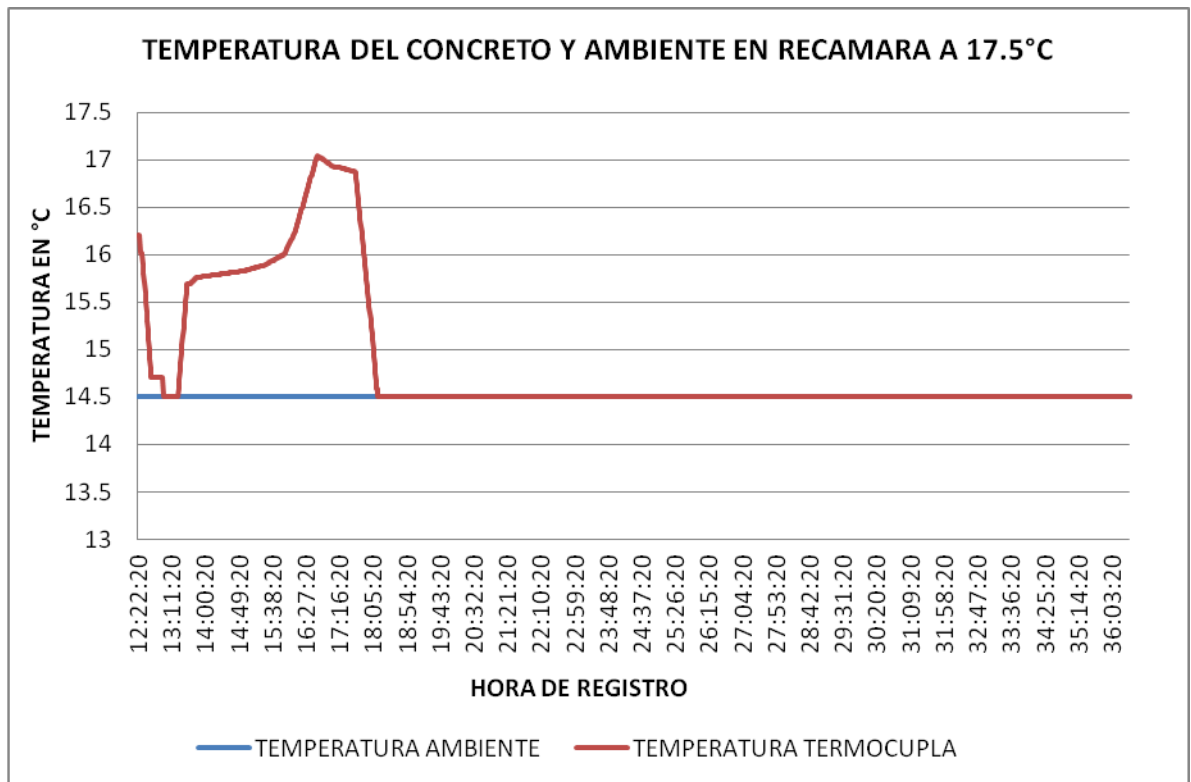
**Grafica 19. Desarrollo de la temperatra en el hormigon a temperatura ambiente de 27°C y humedad 80% (Barranquilla).**



Fuente: Autor.

Es de mencionar, que el clima en las ciudades de cualquier parte del mundo, no tienen un comportamiento lineal. Mas bien, los comportamientos de la temperatura obedecen a los registros hechos en la Grafica 9.

**Grafica 20. Desarrollo de la temperatura en el hormigon a temperatura ambiente de 14,5°C y humedad 76% (Barranquilla).**



Fuente: Autor

Como se puede ver en las graficas 17,18,19 y 20, el desarrollo de la temperatura de las muestras, no es mayor a 2.5 °C, debido a la cantidad de cemento usado y al tamaño de las probetas.

Para este ensayo, no se ferifico la resistencia a la compresion, debido al tamaño de la recamara, pues no permitia probetas de gran tamaño.

## 11 CONCLUSIONES

Analizando las graficas de la temperatura ambiente y la temperatura de las termocuplas, podemos señalar la gran influencia que tiene el clima sobre la temperatura del hormigón, concluyendo que el aumento de calor de hidratación, se ve alterada por el clima, variando así la resistencia del hormigón.

De acuerdo a los resultados hallados, podemos concluir que fundir en las horas de la noche, ayuda el desarrollo de las propiedades mecánicas del hormigón a edades de 28 días, debido al ciclo térmico del ambiente en tales horas. Esto debido a la hidratación lenta y prolongada de las partículas de cemento.

Las mejores resistencias a temprana edad fueron logradas a las 10:00 a.m. debido a la alta temperatura presente durante el fraguado, concordando con los antecedentes de la investigación. La rápida hidratación, afecta negativamente la resistencia final del hormigón.

Al comparar las graficas de las temperaturas registradas por las termocuplas en los cilindros de concreto, se puede ver, que a la octava hora (punto 480) la grafica tiene una tendencia a decrecer, sin importar la hora de fundida, esto debido a los procesos de hidratación del hormigo.

Podemos concluir, que el desarrollo de calor para elementos pequeños, tales como las probetas para el ensayo a la compresión mencionadas en la norma NTC-673, no presentan un aumento térmico mayor a  $2.5^{\circ}\text{C}$ , debido a la cantidad de hormigón usado.

## 12 RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar el ensayo de acuerdo a las temperaturas presentes en ciudades de Colombia, de una manera más acorde al desarrollo de la temperatura en las regiones señaladas, pues es lógico, que ningún lugar del mundo permanece con una humedad y una temperatura constante por más de 8 horas.

Se recomienda realizar los ensayos dentro de la cámara de clima constante, variando únicamente la humedad, esto con el fin de determinar los efectos causados por la humedad ambiente en el fraguado del hormigón.

Se debe evaluar los incrementos de temperatura para diferentes volúmenes de concreto, debido a las altas temperaturas provocadas por la cristalización del cemento. Un mayor volumen, se verá menos afectado por las temperaturas ambiente.

Se recomienda analizar las resistencias para concretos fundidos en horas, a las cuales experimenten cambios bruscos de temperatura, pues en ciudades como Bogotá, los cambios térmicos en las madrugadas, pueden variar drásticamente, afectando la temperatura dentro de las reacciones químicas del hormigón.

Se recomienda realizar el ensayo en más horas del día, con el fin de construir una isoterma, que señale las causas en la resistencia final del hormigón, provocada por la temperatura ambiente de fundida.

Para efectos de mejorar las condiciones de los ensayos, se recomendaría realizar una única fundida, para los concretos analizados en la cámara de clima constante, sometiéndolos simultáneamente al proceso térmico dentro de diferentes cámaras de clima.

### 13 BIBLIOGRAFIA.

Aguilar Oscar ,Rodríguez Edwin , Sermeño Martín, Universidad del Salvador, Determinación De La Resistencia Del Concreto A Edades Tempranas Bajo La Norma Astm C 1074, En Viviendas De Concreto Coladas En El Sitio , 2009

AMERICAN CONCRETE INSTITUT, Cement and Concrete Terminology, Informe ACI 116R , Estados Unidos de América 2007,

ARTETA ESTER, Control de la temperatura en el concreto en obras de infraestructura, En: Reunión del concreto 2010, [2010 Cartagena] pag 9

ASOCIACION COLOMBIANA DE IGENIERIA SISMICA, Norma sismo resistente de 2010 NSR-10, Titulo C, Supervisión técnica, Bogotá: ICONTEC [2007]

Burg, Ronal , Portland Cement Association, The Influence of Casting and Curing Temperature on the Properties of Fresh and Hardened Concrete,

CADENA Martha, VEGA Araminta y PARDO Esperanza, IDEAM, Anuario climatológico 2014, Bogotá: [IDEAM 2014]

FRITZ Keil, Cemento fabricación- propiedades- aplicaciones, Quimismo y propiedad del clinker y de los materiales hidráulicos. 12 ed Barcelona Editores técnicos y asociados 1973.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN, Ingeniería civil y arquitectura, Procedimiento para estimar la resistencia del concreto por el método de la madurez : Bogotá: ICONTEC 2002,

Klieger, Paul, Effect Of Mixing And Curing Temperature On Concrete Strength, 1958

Mechura Veronica, Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata, APLICACIÓN DEL ENSAYO DE MADUREZ A PAVIMENTOS DE HORMIGÓN, 2006

National Ready Mixed Concrete Association, Could Weather Contreting, En: What, Why & How?, Estados unidos de América 1998,  
National Concrete Pavement Technology Center, Developing a Simple and RapidTest for Monitoring the Heat Evolution of Concrete Mixtures for Both Laboratory and Field Applications, 2007

NOTAS DE CONCRETOS, Calor de hidratación,<<http://notasdeconcretos.blogspot.com/2011/04/calor-de-hidratacion-del-hormigon.html> >[ En línea]

POLAIC,<<http://www.polpaicoconexion.cl/uploads/docXobra/pdf20091117194331.pdf>> [En línea]

RIVERA Gerardo, Concreto simple, Capitulo 3 Agua de mezcla <ftp://ftp.unicauca.edu.co/cuentas/gearnilo/docs/FIC%20y%20GEOTEC%20SEM%202%20de%202010/Tecnologia%20del%20Concreto%20%20%20PDF%20ver.%20%202009/Cap.%2003%20-%20Agua%20de%20mezcla.pdf> [En línea]

THE WEATER CHANEL, <http://espanol.weather.com/climate/climate> > [En línea]  
Quimbay Rodrigo, Adecuada aplicación del control térmico y de madurez del concreto (Calorimetrías del concreto) en la determinación de tiempos de desmolde y descimbre de vivienda.

VENUAT Mieche y PAPADAKIS Michel, Control y ensayo de cementos, morteros y hormigones, 1ra edición, Bilbao: URMO s.a.s de ediciones 1975,