

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DE LA INCIDENCIA DE LA TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA, EN EL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO DURANTE SU MEZCLADO Y CURADO (siete días) UTILIZANDO DOS TIPOS DE CEMENTOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN  
PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

**GILBERTO PÉREZ CHAJÓN**

ASESORADO POR EL ING. SERGIO VINICIO CASTAÑEDA LEMUS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2007





Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Civil

**EVALUACIÓN DE LA INCIDENCIA DE LA TEMPERATURA Y  
HUMEDAD RELATIVA, EN EL COMPORTAMIENTO DEL  
CONCRETO DURANTE SU MEZCLADO Y CURADO (siete días)  
UTILIZANDO DOS TIPOS DE CEMENTOS**

**Gilberto Pérez Chajón**

Asesorado por el Ing. Sergio Vinicio Castañeda Lemus

Guatemala, octubre de 2007



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

<b>DECANO</b>	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
<b>VOCAL I</b>	Inga. Glenda Patricia García Soria
<b>VOCAL II</b>	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
<b>VOCAL III</b>	Ing. Miguel Angel Dávila Calderón
<b>VOCAL IV</b>	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
<b>SECRETARIA</b>	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

<b>DECANO</b>	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
<b>EXAMINADOR</b>	Ing. Rafael Morales Ochoa
<b>EXAMINADOR</b>	Ing. Oswaldo Romeo Escobar Álvares
<b>EXAMINADOR</b>	Ing. Jeovany Rudaman Miranda Castañon
<b>SECRETARIA</b>	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas



## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **EVALUACIÓN DE LA INCIDENCIA DE LA TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA, EN EL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO DURANTE SU MEZCLADO Y CURADO (siete días) UTILIZANDO DOS TIPOS DE CEMENTOS,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 28 de marzo de 2007.

Gilberto Pérez Chajón



## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios:** Por todas tus bendiciones que me ha dado a mí y a mi familia.
- Mi esposa e hijo:** Por todo su apoyo y comprensión.
- Mis padres:** Toribio Pérez (D.E.P.)  
Juliana de Pérez  
Por todos los sacrificios hechos para que pudiera hoy llegar a cumplir esta etapa de mi vida, por el ejemplo de lucha en alcanzar nuestras metas y por todo su cariño
- Mis hermanos:** Victor Pérez (D.E.P.)  
Toribio Pérez (D.E.P.)  
Cristina Pérez (D.E.P.)  
Santos Pérez  
Estela Pérez
- Mi familia:** Por toda la confianza depositada en mí.
- Los señores:** Elmer Yoc,  
Pedro Paiz



## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios:</b>	Porque sin <b>Él</b> nada soy
<b>Mi asesor</b>	Ing. Sergio Castañeda
<b>El Ingeniero:</b>	Jeovany Miranda Por su apoyo
<b>El Ingeniero:</b>	Javier Quiñónez
<b>El Ingeniero:</b>	Rafael Morales
<b>Los señores:</b>	Elmer Yoc Pedro Paiz



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES _____	V
LISTA DE SÍMBOLOS _____	VII
GLOSARIO _____	IX
RESUMEN _____	XI
OBJETIVOS _____	XIII
INTRODUCCIÓN _____	XV

### 1. CONCRETO

1.1 Definición _____	01
1.2 Tipos _____	01
1.2.1 Tamaño máximo del agregado _____	01
1.2.2 Consistencia _____	01
1.2.3 Tiempos de fraguado _____	01
1.2.4 Resistencia a la compresión _____	02
1.2.5 Durabilidad _____	02
1.2.6 Peso Unitario _____	02
1.2.7 Apariencia _____	02
1.2.8 Especialidad _____	02
1.3 Componentes _____	03
1.3.1 Agua _____	03
1.3.2 Agregados _____	03
1.3.3 Aire _____	03
1.3.4 Aditivos _____	04
1.3.5 Cemento _____	04
1.3.5.1 Cemento Pórtland _____	04
1.3.5.2 Cemento de mampostería _____	04
1.3.5.3 Cementos hidráulicos mezclados _____	05

1.3.5.4	Cementos especiales _____	05
1.4	Características _____	05
1.4.1	Estado Fresco _____	05
1.4.2	Estado Endurecido _____	06
1.5	Control de calidad _____	06
1.5.1	Ejecución del control de calidad en obra _____	07

## **2. CONCRETO EN ESTADO FRESCO**

2.1	Operaciones con concreto en estado fresco _____	09
2.1.1	Transporte _____	09
2.1.2	Colocación _____	10
2.1.3	Compactación _____	10
2.1.4	Acabado _____	10
2.2	Características del concreto fresco _____	10
2.2.1	Trabajabilidad _____	10
2.2.1.1	Definición _____	11
2.2.2	Homogeneidad y uniformidad _____	11
2.2.2.1	Producción _____	11
2.2.2.2	Evaluación _____	11
2.2.3	Consistencia (cohesión y viscosidad) _____	12
2.2.3.1	Grados de consistencia _____	12
2.2.3.2	Evaluación _____	12
2.2.4	Consistencia como medio de control _____	13
2.2.4.1	Factores que la hacen variar _____	14
2.2.5	Estabilidad _____	22
2.2.6	Compacidad _____	23
2.2.6.1	Proceso de compactación _____	24
2.2.7	Acabado superficial _____	24

### **3. CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO**

3.1	Etapas del proceso de fraguado y endurecido	27
3.2	Actividades en las etapas	30
3.2.1	Antes del fraguado	30
3.2.2	Durante el fraguado	30
3.2.3	Después del fraguado	31
3.3	Evolución del fraguado	31
3.4	Evolución del endurecimiento	32
3.4.1	Tipo de cemento	32
3.4.2	Temperatura	32
3.4.3	Madurez del concreto	32
3.5	Medios para modificar el fraguado y endurecimiento	33
3.5.1	Ajuste de la temperatura en la mezcla del concreto	33
3.5.2	Transmisión del calor al concreto recién colocado	35
3.5.3	Modificación por efecto del aditivos	36
3.5.4	Modificación por efecto del cemento	36

### **4. CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO**

4.1	Caracterización agregados	37
4.1.1	Agregado fino	37
4.1.1.1	Peso unitario volumétrico	37
4.1.1.2	Contenido de materia orgánica	37
4.1.1.3	Peso específico y porcentaje de absorción	37
4.1.1.4	Granulometría	37
4.1.2	Agregado grueso	37
4.1.2.1	Peso unitario volumétrico	37
4.1.2.2	Peso específico y porcentaje de absorción	37
4.1.2.3	Granulometría	37
4.2	Condiciones de elaboración y curado de concretos	37

4.2.1	Elaboración de concretos	38
4.2.1.1	Proporciones y materiales	38
4.2.1.2	Relación agua cemento	38
4.2.1.3	f'c de diseño	38
4.2.1.4	Asentamiento	39
4.2.2	Evaluación de concretos	39
4.2.2.1	Concreto en estado fresco	39
4.2.2.2	Concreto en estado endurecido	39
4.2.3	Resultado	40
4.2.3.1	Agregados	40
4.2.3.2	Concretos	40
4.2.3.3	Fundición Capital	40
4.2.3.4	Fundición Quetzaltenango	43
4.2.3.5	Fundición Zacapa	46
4.3	Análisis de resultados	54
4.3.1	Agregados	54
4.3.2	Cementos	54
4.3.3	Agua	54
4.3.4	Concretos	54
4.3.4.1	Condiciones ambientales para cada fundición	55
4.3.4.2	Fundición Capital	57
4.3.4.3	Fundición Quetzaltenango	57
4.3.4.4	Fundición Zacapa	58
	<b>CONCLUSIONES</b>	61
	<b>RECOMENDACIONES</b>	63
	<b>REFERENCIAS</b>	65
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	67
	<b>APÉNDICE</b>	69

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1. Máquina para ensayo a compresión de probetas cilíndricas de concreto _____	25
2. Máquina universal, ensayos de flexión de probetas de concreto _____	26
3. Equipo ensayo velocidad de endurecimiento, método de resistencia a la penetración (ASTM C – 403) _____	34
4. Molde normalizado para ensayo a flexión _____	35
5. Relación Agua Cemento (CUGC)_____	49
6. Relación Agua Cemento (CCP) _____	49
7. Resultados Contenido de aire (CUGC)_____	50
8. Resultados Contenido de aire (CCP) _____	50
9. Temperatura Ambiente (CUGC)_____	51
10. Temperatura Ambiente (CCP) _____	51
11. Humedad Relativa ambiente (CUGC) _____	52
12. Humedad Relativa ambiente (CCP) _____	52
13. Resistencia a compresión (CUGC) _____	53
14. Resistencia a compresión (CCP)_____	53
15. Velocidad de endurecimiento (CUGC)_____	58
16. Velocidad de endurecimiento (CCP) _____	59

## TABLAS

I. Factores que hacen variar la consistencia _____	18
II. Factores que hacen variar la consistencia _____	19
III. Temperatura promedio mensual 2006 Estaciones Meteorológicas INSIVUMEH _____	20
IV. Humedad relativa promedio mensual 2006 Estaciones Meteorológicas INSIVUMEH _____	21
V. Características y límites previsibles de las etapas de fraguado y endurecimiento del concreto _____	29
VI. Condiciones fundición capital _____	40
VII. Condiciones fundición capital _____	41
VIII. Resistencia a compresión capital _____	42
IX. Resistencia a flexión capital _____	42
X. Velocidad de endurecimiento capital _____	43
XI. Condiciones fundición Quetzaltenango _____	43
XII. Condiciones fundición Quetzaltenango _____	44
XIII. Resistencia a compresión Quetzaltenango _____	45
XIV. Resistencia a flexión Quetzaltenango _____	45
XV. Velocidad de endurecimiento Quetzaltenango _____	45
XVI. Condiciones fundición Zacapa _____	46
XVII. Condiciones fundición Zacapa _____	47
XVIII. Resistencia a compresión Zacapa _____	47
XIX. Resistencia a flexión Zacapa _____	48
XX. Velocidad de endurecimiento Zacapa _____	48

## LISTA DE SÍMBOLOS

SÍMBOLO	SIGNIFICADO
“	Pulgadas
g	Gramos
Hz	Hertz
kg	Kilogramos
PE	Peso Específico
PUS	Peso Unitario Suelto
PU	Peso Unitario compactado
%	Porcentaje
°C	Grados Celsius
kg/cm <sup>2</sup>	Kilogramos por centímetro cuadrado
PSI	Libras por pulgada cuadrada
Log	Logaritmo
No.	Número
CCP	Concreto cemento Pórtland tipo 1
CUGC	Concreto cemento uso general en la construcción



## **GLOSARIO**

<b>Compactación</b>	Proceso según el cual un volumen de mortero o concreto colocado se reduce al espacio mínimo practicable, por medio de vibración, centrifugación, apisonamiento, o una combinación de estas acciones.
<b>Compactibilidad</b>	Es la facilidad con que las mezclas de concreto permiten la remoción del aire atrapado durante el moldeo, a fin de lograr un alto grado de compacidad en el concreto endurecido.
<b>Consistencia de mezclas de concreto</b>	Es una característica que se relaciona principalmente con el aspecto de la trabajabilidad definido como movilidad.
<b>Durabilidad del concreto</b>	Capacidad para resistir las acciones del medio, el ataque químico, la abrasión o cualquier otro proceso que pueda causar deterioro.
<b>Estabilidad</b>	Se refiere a la resistencia que las mezclas oponen para agregarse y exudar agua; en otras palabras, representa su disposición para conservarse homogéneas.
<b>Fraguado</b>	Condición adquirida paulatinamente por una pasta de cemento o por una mezcla de mortero o concreto, cuando ha perdido plasticidad en un grado arbitrario,

definido normalmente en función de su resistencia a la penetración o de su deformación.

**Humedad relativa ambiental**

Relación a una determinada temperatura de la cantidad de vapor de agua en la atmósfera en un momento cualquiera, respecto a la cantidad de vapor de agua en una atmósfera saturada, expresada en porcentaje.

**Movilidad**

Es la aptitud de las mezclas de concreto para deformarse y fluir, cuya característica depende de la cohesión, viscosidad y ángulo de fricción interna del concreto.

**Segregación del concreto**

Una concentración diferencial de sus componentes que da como resultado proporciones no uniformes en la masa. (estado opuesto a la homogeneidad).

## **RESUMEN**

El presente documento muestra los resultados obtenidos en la evaluación de concretos elaborados y curados (7 días) en condiciones de temperatura y humedad relativa diferentes, con dos tipos de cementos nacionales (Pórtland Tipo I y Cemento mezclado UGC).

Para esto se definieron las condiciones en materiales, proporciones, f'c y trabajabilidad requeridas así como los rangos de temperatura (10 – 32 °C) necesarios, realizándose las fundiciones en la ciudad de Guatemala (capital), Quetzaltenango y Zacapa, sitios donde se encontraron las condiciones de temperatura y humedad particulares.

A los concretos elaborados se les evaluó en estado fresco y endurecido, siguiendo procedimientos y especificaciones de normas ASTM aplicables, para esto se contó con el apoyo de personal del Centro de Investigaciones de Ingeniería, así como de vecinos de Quetzaltenango y Zacapa lo que permitió alcanzar los objetivos planteados.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se comprueba la influencia que las condiciones ambientales en el lugar del proyecto, tienen en los concretos evaluados principalmente en los requerimientos de agua, tiempos de fraguado y resistencia mecánica, por lo que se sugiere a los usuarios considerar las recomendaciones que se presentan a efectos de minimizar los efectos que esto puede causar en sus obras.



## **OBJETIVOS**

- **General**

Evaluar la incidencia de las condiciones de temperatura y humedad relativa en la elaboración y curado (siete días) del concreto, por medio de ensayos normalizados por la ASTM.

- **Específicos**

1. Generar información local sobre la incidencia del clima en el comportamiento del concreto en estado fresco y endurecido.
2. Evaluar la incidencia de las condiciones de temperatura en el curado del concreto durante los primeros siete días.
3. Caracterizar los materiales utilizados en los concreto a evaluar, por medio de ensayos normalizados por la ASTM.
4. Elaborar y evaluar concretos en iguales proporciones, trabajabilidad y condiciones de curado con dos tipos de cementos, en los departamentos de Guatemala, Quetzaltenango y Zacapa.
5. Evaluar los concretos en estado fresco y endurecido por medio de ensayos normalizados por la ASTM.
6. Comparar los resultados obtenidos en las diferentes condiciones evaluadas.



## INTRODUCCIÓN

El concreto es uno de los materiales de construcción de más uso en el mundo, para un mejor desempeño de éste se debe tener un adecuado proporcionamiento de materiales, así como el control de calidad adecuado durante su mezclado, manejo, colocación y curado que permita obtener las características deseadas. Dentro de los factores que pueden afectar la consistencia y resistencia del concreto merecen especial importancia la temperatura y humedad relativa en el sitio del proyecto, así como la de los materiales utilizados.

En el presente estudio se evaluaron concretos (en estado fresco y endurecido) con dos tipos de cementos (Pórtland tipo I, Cemento mezclado UGC), elaborados y curados en condiciones de temperatura y humedad relativa diferentes (durante los primeros siete días) que permitan conocer su comportamiento por medio de ensayos normalizados por la ASTM, se escogieron la ciudad capital, Quetzaltenango y Zacapa, dado que de acuerdo a los boletines del INSIVUMEH se registran valores promedios de temperatura en el rango de interés.

En el capítulo uno se presentan aspectos teóricos, tipos y componentes del concreto. Los capítulos dos y tres incluyen temas sobre el concreto en estado fresco y endurecido, así como sus principales características y medios de evaluación, también la información sobre las condiciones de temperatura y humedad que ofrece el INSIVUMEH, de las estaciones meteorológicas en los sitios escogidos para las fundiciones.

El capítulo cuatro presenta el desarrollo experimental así como los resultados y el análisis de los mismos, por medio de tablas y gráficas de interés. Al final se incluyen las condiciones y recomendaciones, las cuales son de utilidad para los usuarios de este material, haciéndose énfasis en la importancia del control de calidad, dentro de las diferentes operaciones y procesos que se realizan con el concreto.



# **1. CONCRETO**

## **1.1. Definición**

El concreto u hormigón se define como la mezcla de un material aglutinante (cemento hidráulico), un material de relleno (agregado fino y grueso), agua y eventualmente aditivos, que al endurecerse forman un todo compacto (piedra artificial) y después de cierto tiempo, es capaz de soportar grandes esfuerzos de compresión. (1)

El concreto (hormigón) es una mezcla de pasta de cemento (cemento, agua y espacios vacíos), agregados y ocasionalmente productos adicionales (aditivos).

## **1.2. Tipos**

El concreto se puede clasificar de acuerdo a las propiedades y características de los ingredientes utilizados, las especificaciones que se apliquen, condiciones de servicio del concreto, y las condiciones particulares de manejo del mismo.

### **1.2.1 Tamaño máximo del agregado**

#### **1.2.2 Consistencia**

- muy seca
- seca
- semi seca
- media
- húmeda
- muy húmeda

#### **1.2.3 Tiempos de fraguado**

- aditivo retardante

- aditivo reductor de agua
- aditivo acelerante

#### **1.2.4 Resistencia a la compresión**

#### **1.2.5 Durabilidad**

- permeabilidad normal
- concretos impermeables
- concretos resistentes al congelamiento y deshielo

#### **1.2.6 Peso unitario**

- ligero
- normal
- pesado

#### **1.2.7 Apariencia**

- coloreados
- agregado expuesto
- estampados
- bordados

#### **1.2.8 Especialidad**

- agregado precolocado
- lanzado
- pavimentos
- bombeo
- vaciado por tubo embudo
- fluido

- ligero
- aireado
- reforzado con fibras
- alta resistencia
- compactado con rodillo

### **1.3. Componentes**

#### **1.3.1 Agua**

Es el elemento que hidrata las partículas de cemento y hace que éstas desarrollen sus propiedades aglutinantes, además influye en la trabajabilidad del concreto. El agua suele representar entre el 10 – 25 % del volumen del concreto, además se le debe calificar la calidad de la misma, ya que existen sustancias que pueden resultar perjudiciales para el concreto.

#### **1.3.2 Agregados**

En el concreto hidráulico los agregados suelen representar entre el 60 – 75 % del volumen de todos los componentes. Se pueden clasificar por su origen, modo de fragmentación y tamaño de las partículas.

#### **1.3.3 Aire**

Cuando el concreto se encuentra en proceso mezclado, es normal que quede aire incluido dentro de la masa, el cual posteriormente es liberado por los procesos de compactación a que es sometido una vez ha sido colocado. También se puede incluir burbujas de aire por medio de aditivos.

### **1.3.4 Aditivos**

Cualquier otro ingrediente que se incluya en la elaboración del concreto que sea diferente al agua, cemento, y agregados se considera un aditivo, estos modifican las propiedades del concreto de manera que lo hagan más adecuado para las condiciones de trabajo por razones económicas. Se pueden añadir a la mezcla inmediatamente, antes o durante el mezclado

### **1.3.5 Cemento**

Un material cementante es aquel que tiene las propiedades adhesivas y cohesivas, que le dan la capacidad de aglutinar los áridos para conformar el concreto, esta categoría incluye no solo al cemento sino también limos, asfaltos y alquitranes, tal como se usan en la construcción de carreteras y otros. (2) Para la fabricación de concreto estructural se utilizan, exclusivamente los llamados cementos hidráulicos.

#### **1.3.5.1 Cemento Pórtland**

La norma ASTM C – 150 “*Standard Specification for Portland Cement*” (Especificación estándar para cemento Pórtland) en ella se definen ocho tipos de cementos Pórtland, también se encuentra el cemento Pórtland blanco.

#### **1.3.5.2 Cemento de mampostería**

La norma ASTM C – 91 “*Standard Specification for Masonry Cement*” (Especificación estándar para cemento de mampostería), contiene las especificaciones sobre estos, en ellas se definen los tipos N, M, S.

### **1.3.5.3 Cementos hidráulicos mezclados**

La norma ASTM C – 595 “*Standard Specification for Blended Hydraulic Cements*” (Especificación estándar para cementos hidráulicos mezclados), reconoce cinco tipos de cementos mezclados:

- cemento Pórtland de escoria de alto horno (Tipo IS)
- cemento Pórtland puzolana (Tipo P y IP)
- cemento de escoria (Tipo S)
- cemento Pórtland modificado con puzolana (Tipo I (PM))
- cemento Pórtland modificado con escoria (Tipo I (SM))

### **1.3.5.4 Cementos especiales**

Estos pueden ser para pozos petroleros, Pórtland impermeabilizados, plásticos con adiciones funcionales y de fraguado controlado.

## **1.4 Características**

Al observar las características y propiedades que definen el comportamiento del concreto, generalmente solo se le consideran dos estados básicos, el fresco y el endurecido, debido a que representan dos aspectos esencialmente opuestos en el curso de su utilización en la construcción.

### **1.4.1 Estado fresco**

- **Trabajabilidad:** es aquella propiedad del concreto recién mezclado, que determina la facilidad y homogeneidad con que puede ser mezclado, transportado, colocado, compactado y acabado.

- Mezclado: después de dosificar el concreto, este deberá de tener uniformidad, homogeneidad y la consistencia necesaria (grado de fluidez).
- Transporte y colocación: el concreto deberá de mantener su consistencia inicial, no produciéndose segregación n pérdida de fluidez.
- Compactación: deberá de tener la suficiente plasticidad para poder ser moldeado, el tiempo de fraguado resulta importante en esta etapa.
- Acabado: el concreto debe ofrecer condiciones para poder realizar esta operación, así obtener una superficie adecuada.

#### **1.4.2 Estado endurecido**

- Resistencia mecánica: el concreto se puede considerar suficientemente endurecido desde que adquiere la resistencia mecánica que le permite soportar los esfuerzos de diseño con el factor de seguridad previsto.
- Durabilidad: cuando la estructura debe operar en condiciones de exposición y servicio tales que sus efectos crean el riesgo de que se deteriore prematuramente. Estas condiciones pueden ser identificadas como:
  - físicas
  - químicas
  - biológicas

#### **1.5 Control de calidad**

Las propiedades y características del concreto en sus dos estados pueden ser predecibles y regulables a pesar de su composición heterogénea, esto mediante una

adecuada selección y combinación de sus componentes, así como de un adecuado control de calidad.

Definimos el control de calidad como la aptitud de éste para satisfacer un requerimiento (especificación) definida, al menor costo. Existen dos medios básicos para esta labor:

- control interno
- supervisión externa

### **1.5.1 Ejecución del control de calidad en obra**

Normalmente, el control de calidad de cualquier producto se apoya en tres actividades:

- control de material prima
- supervisión del proceso completo de fabricación
- verificación total del producto terminado

En el caso del concreto tenemos variable muy particular y de especial control, es el tiempo que debe transcurrir después de concluido el proceso de producción, para que el producto pueda considerarse totalmente terminado. En el estado fresco las pruebas más utilizadas son los ensayos de asentamiento, peso unitario, contenido de aire y temperatura, también se deben preparar cilindros en los que se determina la resistencia a compresión del concreto a diversas edades. Esto se realiza con tres fines principales:

- comprobar si el concreto diseñado cumple con la resistencia del proyecto.
- controlar la uniformidad de la resistencia del concreto producido, y realizar los ajustes necesarios.
- verificar la resistencia del concreto en su desempeño.



## **2. CONCRETO EN ESTADO FRESCO**

El comportamiento del concreto en estado fresco interesa en toda la etapa constructiva, desde que se elabora hasta que finalmente es colocado, compactado en reposo dentro de la formaleta, el comportamiento del concreto en estado endurecido es decisivo en el desempeño de las estructuras a lo largo de su vida útil.

El concreto fresco se refiere a la mezcla recién elaborada, como una masa plástica que puede ser moldeado con relativa facilidad y que a temperatura normal permanece en ese estado por pocas horas. Luego comienza a perder plasticidad y alcanza cierto grado de rigidez, conocido como fraguado final, aunque el concreto puede ser moldeado todo el lapso previo al fraguado inicial, al cumplirse este tiempo el concreto deberá de estar colocado y compactado en su posición definitiva dentro de la estructura.

La duración del período de tiempo en que el concreto permanece en estado fresco, es una característica muy variable que depende de factores intrínsecos relacionados con su composición, así como factores externos representados principalmente por la temperatura.

### **2.1 Operaciones con concreto en estado fresco**

Es necesario conocer las operaciones que normalmente se llevan a cabo en el curso de su uso en obra durante este estado.

#### **2.1.1 Transporte**

Abarca el traslado de la mezcla hacia al sitio mas cercano al de su colocación en la estructura. El procedimiento y los medios dependen de aspectos tales como:

- distancia y condiciones del trayecto
- facilidades de acceso a los sitios de carga y descarga
- características de las mezclas de concreto

### **2.1.2 Colocación**

Consiste en hacer llegar el concreto fresco al interior de la formaleta. El procedimiento y los medios en esta fase pueden variar de acuerdo a las condiciones particulares del proyecto.

### **2.1.3 Compactación**

Consiste en someter al concreto fresco recién colocado a la acción de fuerzas que pueden deformarlo, con el doble propósito de expulsar el aire atrapado (concreto mas compacto), así como que tome la forma del encofrado.

### **2.1.4 Acabado**

Es la última operación destinada a obtener la superficie del concreto de acuerdo a las especificaciones y condiciones de servicio necesarias, depende en mucha medida del comportamiento del concreto en estado fresco.

## **2.2 Características del concreto fresco**

### **2.2.1 Trabajabilidad**

El principal atributo del concreto en estado fresco es la trabajabilidad, esta depende de factores externos e internos relacionados con el uso y la forma como se va a

utilizar, su evaluación puede ser subjetiva de acuerdo al criterio de quien supervisa su mezclado.

#### **2.2.1.1 Definición**

Es aquella propiedad del mortero o del concreto recién mezclado que determina la facilidad y homogeneidad con que puede ser mezclado, transportado, colocado, compactado y acabado. (3)

#### **2.2.2 Homogeneidad y uniformidad**

La mezcla deberá de comportarse de manera homogénea en el curso de todas las operaciones a la que se le someta, desde que abandona la mezcladora hasta que se coloque en la formaleta. Se puede considerar la homogeneidad del concreto desde dos puntos de vista.

##### **2.2.2.1 Producción**

- uniformidad de ingredientes
- características operacionales del equipo (calibración rutinaria)
- control del calida

##### **2.2.2.2 Evaluación**

- peso volumétrico
- contenido de aire
- revenimiento
- contenido de agregado grueso
- peso unitario del mortero libre de aire

- resistencia a compresión

## **2.2.3 Consistencia (cohesión y viscosidad)**

### **2.2.3.1 Grados de consistencia**

Se pueden valorar en función de la resistencia a la deformación y flujo, considerando lo siguiente:

- términos descriptivos: apariencia y comportamiento del concreto al ser manipulado.
- Términos cuantitativos: expresados en base a los resultados de alguna prueba específica.

### **2.2.3.2 Evaluación**

Existen varios métodos para evaluar la consistencia, dependiendo del tipo de concreto entre estos se pueden mencionar:

- Concreto fluido: se define en función del revenimiento (ASTM C – 1017 ó C – 143), tabla de sacudidas (DIN 1048) y/o con el cono de revenimiento en miniatura que evalúa la fluidez de la pasta de cemento.
- Concreto normal o convencional: es aplicable la prueba estándar de revenimiento, bola de penetración de Nelly (ASTM C – 360), aparato del factor de compactación (BS 1881), mesa de sacudidas de Thaulow y mesa vibratoria Vebe.
- Concreto masivo: la principal característica del concreto masivo en su comportamiento térmico, debido a la acumulación de calor de hidratación del

cemento en el seno de la estructura como consecuencia de la medida del espesor. Esto significa que la mezcla se diseña para producir menos calor por unidad de volumen, reduciendo al mínimo posible su contenido de consistencia uniformemente adecuada, constituye una actividad en la que el juicio del personal de operación y supervisión es de vital importancia.

- Concreto sin revenimiento: son aquellas mezclas de concreto de consistencia dura, muy dura o extremadamente dura, resulta que la prueba de revenimiento no es la mejor para clasificar a este tipo de mezclas, debido a la reducida cantidad de energía que en esta prueba se involucra, los procedimientos opcionales para medir la consistencia a estas mezclas son:

- Factor de compactación
- Mesa de sacudidas de Thaulow
- Mesa vibratoria de Vebe

#### **2.2.4 Consistencia como medio de control**

Generalmente previo al uso del concreto en obra, la mezcla se evalúa en laboratorio con los materiales a utilizar en el proyecto, con el propósito de obtener el concreto que mejor desempeño tenga de acuerdo a las condiciones de diseño particulares. Dentro de éstos el grado de consistencia resulta ser una de las características que se especifican para el concreto fresco, normalmente expresado en términos del revenimiento seleccionado de acuerdo al tipo de construcción condiciones de colado también deben de proveerse los atributos de estabilidad y compactibilidad que den como resultado una buena trabajabilidad.

Luego de obtener la información de laboratorio, la mezcla deberá de reproducirse en obra tantas veces como sea necesario, para esto uno de los recursos más

útiles y sencillos consiste en medir regularmente la consistencia de las mezclas, realizando los cambios y ajustes necesarios. Otra condición necesaria es que las mezclas no se modifiquen de manera adversa en el lapso comprendido desde su salida de la mezcladora hasta su colocación y compactación en la formaleta.

#### **2.2.4.1 Factores que la hacen variar**

La consistencia puede verse afectada por diferentes factores, que pueden ser internos o externos. Los principales, que en términos generales tienen alguna injerencia en la variación de la consistencia del concreto fresco se presentan a continuación (ver tablas I y II).

- Características de los componentes: sobre todo en el cemento y agregados, cuyas variaciones modifican el requerimiento de agua y por tanto influyen en los cambios de consistencia de las mezclas. La característica del cemento que normalmente influye en el requerimiento de agua del concreto es la finura, la cual se mantiene sin mayores variaciones si el suministro de cemento no cambia. En cuanto a los agregados las características que más influyen en el requerimiento de agua son: tamaño máximo, composición granulométrica, forma y textura superficial de las partículas, estado de humedad al momento de ser utilizados.

- Proporción: la cantidad de cada componente debe dosificarse para dar una mezcla de consistencia requerida. Normalmente es mas notoria la influencia que ejercen las variaciones del agua y los aditivos que las del cemento y los agregados. El contenido unitario del agua es el factor que más influencia tiene en la consistencia del concreto. Esto significa que al producirse un determinado cambio en este, se manifiesta en el revenimiento de la mezcla el cual puede variar de acuerdo al grado de consistencia.

- Temperatura de la mezcla: la variación de la temperatura del concreto puede ser una causa importante de cambios en la consistencia de las mezclas y un obstáculo para lograr una adecuada calidad del concreto. A igualdad de cantidad la temperatura del agua es la que más influye en la temperatura del concreto recién mezclado, pero debido a que el agua se utiliza en menor proporción y porque en condiciones ordinarias su temperatura se mantiene razonablemente estable durante el suministro, por lo que son más bien el cemento y los agregados los componentes cuya variaciones de temperatura suelen reflejarse en la de las mezclas. La temperatura con que se elabora el concreto tiene consecuencias inmediatas en el requerimiento de agua y la consistencia de la mezcla, también repercute en el comportamiento del concreto recién mezclado en el lapso posterior a su salida de la mezcladora.

- Clima cálido: el exceso de temperatura en la mezcla acelera la pérdida del revenimiento y el tiempo de fraguado. En EE UU se recomienda que el concreto para estructuras en general, no se coloque en las formaletas a una temperatura mayor a 32° C en ambiente caluroso, y que esta temperatura se reduzca a 27° C si es ambiente seco.

- Clima frío: debe prevenirse que la temperatura de la mezcla recién elaborada sea demasiado baja, para evitarle daños al concreto como consecuencia de una congelación temprana.

- Temperatura y humedad ambiental: cuando las condiciones del proyecto, hacen necesario el control de las condiciones ambientales locales, generalmente las especificaciones establecen condiciones límites para la temperatura de la mezcla al salir de la mezcladora (ver tablas I y II). En clima cálido el diseño deberá de considerar este requerimiento, así como en su manejo tampoco se vea superado este valor por efecto del clima, al momento de su colocación se debe de cumplir con las especificaciones consideradas, también existe el riesgo de que en clima cálido se incremente la pérdida de revenimiento durante su transporte, siendo extremas en

aquellos ambientes desérticos o semidesérticos, donde las altas temperatura diurnas con baja humedad relativa propician el rápido sacado del concreto.

En EE UU el SS Bureau of Reclamation recomienda que las temperaturas máximas permisibles para el mezclado y manejo del concreto un rango entre 27 – 32° C, según las condiciones de temperatura y humedad en el lugar del proyecto, cuando las estructuras son voluminosas como lo es el caso de las represas, se ha legado a tomar valores de hasta 10° C debido al calor de hidratación que se genera en el concreto. Por el contrario el clima frío, el requerimiento es opuesto al interior, necesitándose producir mezclas de concreto cuya temperatura sobrepase cierto valor especificado y que en su manejo y colocación tampoco descienda su temperatura por debajo del valor considerado. Para este caso un criterio usual en varios países consiste en recomendar que se proteja el concreto si el valor de la temperatura media durante tres días es inferior a 5° C.

- Tiempo de mezclado: se dice que una mezcla es satisfactoria si cumple con los requisitos de homogeneidad considerados, involucrando todos los procesos inherentes como la forma de combinar los agregados, tiempo de mezclado y tipo de equipo utilizado. Un mezclado prolongado del concreto puede ocasionar los siguientes inconvenientes:

- desgaste del agregado grueso, incrementado el contenido de finos.
- aumento de la pérdida de agua por evaporación, particularmente en condiciones de temperatura alta y baja humedad relativa.
- elevación de la temperatura de la mezcla, por efecto de la fricción
- pérdida parcial de aire incluido

Todos estos inconvenientes ocasionan un cambio en la consistencia de la mezcla, haciéndola más dura y por consiguiente con mayor demanda de agua, se recomienda que el tiempo de mezclado no exceda tres veces el tiempo mínimo recomendado.

- Procedimientos para medir la consistencia: debido a las condiciones particulares de la geología de cada concreto, un cambio en las condiciones de medición de la consistencia puede ser un factor que induzca a realizar modificaciones no necesarias en las mezclas.

- Grado de consistencia inicial: en las mezclas de consistencia dura se requiere un incremento sustancial en el contenido de agua para que se traduzca en un cambio significativo del revenimiento, en tanto que las mezclas fluidas un ligero incremento en el contenido de agua puede significar un aumento importante del revenimiento, de acuerdo a esta tendencia en condiciones de temperatura y humedad ambientales que son propicias para la pérdida de agua por evaporación, las mezclas de concreto resultan más sensibles a la pérdida de revenimiento a mediada que son mas fluidas.

- Incompatibilidad de componentes: cuando tenemos necesidad de incorporar aditivos, estos pueden producir que algunas mezclas de concreto pierdan revenimiento con mayor rapidez que si no los adicionáramos, por lo que este fenómeno indeseable es consecuencia de ciertas reacciones químicas que se producen entre algunos tipos de cementos y determinados aditivos, lo cual les confiere el carácter de incompatibles. Se sugiere el cambio de cemento o aditivo

- Condiciones del manejo del concreto en obra: a los pocos minutos de haberse combinado los componentes del concreto, este empieza a sufrir cambios de manera gradual en su consistencia. Aun y cuando hay razones para que este fenómeno se

de manera normal, existen factores que lo pueden volver anormalmente más rápido, que representa problemas en su manejo y colocación, pueden ser causados entre otras razones por los procedimientos y el equipo utilizado, los cuales pueden variar de obra en obra, por lo que únicamente se consideran recomendaciones de carácter general.

**Tabla I Factores que hacen variar la consistencia durante el lapso de elaboración**

Durante el proceso de elaboración	Factores internos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Características de los componentes</li> <li>• Proporción de la mezcla</li> <li>• Temperatura de la mezcla</li> </ul>
	Factores externos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura y humedad ambiental</li> <li>• Tiempo de mezclado</li> <li>• Procedimiento</li> </ul>

Fuente: referencia (3), pág. 56

**Tabla II Factores que hacen variar la consistencia durante el lapso inmediatamente posterior a la elaboración**

Durante el proceso inmediatamente posterior a la elaboración	Factores internos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Características de los componentes</li> <li>• Grado de consistencia inicial</li> <li>• Incompatibilidad de los componentes</li> </ul>
	Factores externos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura y humedad ambiental</li> <li>• Condiciones de exposición y manejo</li> <li>• Procedimiento para medir la consistencia</li> </ul>

Fuente: referencia (3), pág. 56

Tablas III Temperatura promedio mensual 2006  
Estaciones Meteorológicas Guatemala

Temperatura máximas y mínimas (°C)																									
Estacion Meteorologica considerada	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic													
INSIVUMIEH (Capital)																									
LABORATORIO OVALLE (Quezaltenango)	21	0	22	0	23	23	22	22	22	25	21	11	21	9	22	9	21	9.2	22	11	21	6.2	22	6.3	
LA FRAGUA (Zacapa)	32	20	32	19	34	20	36	22	36	23	33	22	34	23	36	23	36	23	35	23	32	0	0	0	0

**Tablas IV Humedad Relativa promedio mensual 2006**  
**Estaciones Meteorológicas Guatemala**

Estacion Meteorológica considera	Valor Humedad Relativa											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
INSIVUMEH (Capital)	70	69	70	0	63	80	77	72	79	81	75	73
LABORATORIO OVALLE (Quetzaltenango)	66	63	63	69	77	81	74	73	79	77	71	70
LA FRAGUA (Zacapa)	67	62	61	58	66	73	65	65	68	66	67	0

**Humedad Relativa promedio**

%

### 2.2.5 Estabilidad

Cuando mezclamos los componentes del concreto buscamos lograr un íntimo contacto entre el cemento, el agua así como distribuir uniformemente los agregados. Se considera que una mezcla de concreto se comporta como una suspensión estable, en la medida que se opone a perder su homogeneidad original, en el lapso comprendido entre que sale de la mezcladora hasta que adquiere el fraguado final en la formaleta. Para alcanzar este objetivo se necesitan dos condiciones:

- Disponer de una mezcla de concreto de composición y trabajabilidad adecuadas.
- Utilizar equipos y procedimientos apropiados para efectuar su transporte, manejo, colocación y compactación.

Al referirse al comportamiento de una mezcla de concreto como suspensión estable, es posible considerar que puede perder homogeneidad por:

- Factores internos (asentamiento y sangrado): suelen ocurrir cuando el concreto está colocado, al término de la compactación y antes de que el fraguado se lleve a cabo. Se pueden señalar tres aspectos que influyen en el proceso de asentamiento y sangrado:

- velocidad con que emerge el agua en la superficie.
- capacidad de sangrado, representada por la cantidad total de agua emergida por unidad de superficie.
- duración del sangrado.

Salvo los casos de excepción, es conveniente que el concreto sangre lo menos posible, entre los factores que contribuyen a propiciar el sangrado destacan las siguientes:

- mezclado insuficiente
- deficiencia de finos
- exceso de agua de mezcla
- ciertas características inconvenientes de los agregados (tamaño, máximo del agregado, forma de la partícula y composición granulométrica).

• Factores externos (segregación del agregado grueso): suele ocurrir generalmente durante el transporte, colocación y compactación del concreto. Entre las características de los agregados que pueden generar segregación se pueden mencionar:

- tamaño máximo del agregado
- forma de la partícula
- composición granulométrica

### **2.2.6 Compacidad**

Una vez colocado el concreto fresco, lo preferible es que ya no se le mueva más de lo indispensable dentro de la formaleta, a fin de no segregarlo. El concreto deberá de someterse a la acción de fuerzas que lo deformen y lo hagan fluir hasta

adquirir la forma que nos interesa, reduciendo al mínimo su porosidad y dando a las superficies en contacto con las formaletas el aspecto y textura que nos interesa, el hecho de aplicar estas fuerzas se le denomina compactar el concreto, para moldearlo dentro de las formaletas o alrededor del acero de refuerzo y de otras partes embebidas y para eliminar las burbujas del aire atrapado pero no las del aire incluido intencionalmente. El grado de compactación se relaciona directamente con la consistencia de las mezclas, conforme estas son de consistencia más dura, es necesario aplicarles mayor esfuerzo de compactación, por medio de los procedimientos y equipos apropiados.

#### **2.2.6.1 Proceso de compactación**

El proceso usual es aplicarle fuerzas capaces de vencer la cohesión de la pasta y convertirla transitoriamente en un fluido newtoniano, siendo el medio más utilizado el equipo vibratorio. Los de uso más difundido son los llamados vibradores de inmersión, pero los procesos no difieren mucho al emplear otra forma de equipo vibratorio.

#### **2.2.7 Acabado superficial**

Se distinguen dos tipos de acabado según el U.S. Bureau of Reclamation, estos son:

- los que se obtienen en las superficies de concreto que resultan de contacto con las formaletas.
- Los que se producen por manipulación y tratamiento de las superficies expuestas.

De acuerdo al comité ACI 116, se identifica el acabado solamente como el tratamiento que se da a las superficies libres y lo define como la nivelación, alisamiento,

compactación y otros tratamientos que se aplican a las superficies de mortero o concreto recién colocado.

Para alcanzar superficies de concreto que cumplan con las características y propiedades requeridas, debe conjugarse dos condiciones fundamentales.

- La disposición de una mezcla de concreto diseñada específicamente para el uso requerido en las condiciones de trabajo prevalecientes.
- La ejecución del acabado empleando herramientas, equipos y procedimientos idóneos.

**Figura 1. Máquina para ensayo a compresión de probetas cilíndricas de concreto**



**Figura 2. Máquina universal, ensayos de flexión de probetas de concreto**



### **3. CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO**

#### **3.1 Etapas del proceso de fraguado y endurecido**

Se distinguen tres estados principales que corresponde a estados característicos del concreto

- lapso anterior al fraguado
- lapso del fraguado
- lapso posterior al fraguado

Estos cambios son debidos al proceso de hidratación del cemento, que en condiciones normales evoluciona de manera continua, por lo que no hay un límite exacto entre las etapas que marcan los cambios de estado ya mencionados, se considera la primera etapa aquella en que el concreto puede ser moldeado o remodelado sin riesgo de causar daño permanente, en la tercera etapa el concreto manifiesta demasiada rigidez y dureza para permitir cualquier manipulación adicional.

Se puede seguir el proceso de rigidización por medio del ensayo de resistencia a la penetración ASTM C – 403, que considera que el concreto puede ser moldeado, remodelado sin perjuicio mientras su grado de consistencia o de rigidez se conserva inferior a  $35 \text{ kg/cm}^2$ , el cual se designa como fraguado inicial, de igual a  $280 \text{ kg/cm}^2$ , se designa como fraguado final en el cual su resistencia a la compresión es reducida (final de la segunda etapa y principio de la tercera).

La tercera etapa debe prolongarse hasta que el cemento se hidrate a menos que se interrumpan las condiciones de temperatura y humedad propicias. Se le debe dar seguimiento al proceso de endurecimiento, mediante la determinación de la resistencia a la compresión en probetas normalizadas, ensayadas a edades ya definidas.

Se le asigna un 100 % a la resistencia que obtiene al año, teniéndose que en el transcurso del primer mes se adquiere alrededor del 80 %, por esta razón es usual en estructuras ordinarias considerar que a los 28 días el concreto ha endurecido lo suficiente para prestar el servicio requerido.

**Tabla V Características y límites previsibles de las etapas del fraguado y endurecimiento del concreto**

Etapas del proceso	Aspectos que identifican los límites de las etapas		
	Actividad o aspecto determinante	Estado característico del concreto	Edad previsible (+) del concreto
<b>ANTES DEL FRAGUADO</b>			
<b>Principia</b>	Al mezclar el concreto	Mezcla blanda moldeable	0 horas
<b>Termina</b>	Al obtenerse el fraguado inicial	Masa semi-rígida, remoldeable con precauciones	Entre 2 y 6 horas
<b>FRAGUADO</b>			
<b>Principia</b>	Recién obtenido el fraguado inicial	Masa semi-rígida deformable	Entre 2 y 6 horas
<b>Termina</b>	Al obtenerse el fraguado final	Masa rígida, no deformable	Entre 4 y 12 horas
<b>POSTERIOR AL FRAGUADO</b>			
<b>Principia</b>	Recién obtenido el fraguado final	Masa rígida no deformable	Entre 4 y 12 horas
<b>Fracción Inicial</b>	Al cumplirse la edad del proyecto	Material endurecido, apto para el servicio proyectado	Normalmente 28 días, cierto casos 3 meses o mas
<b>Termina</b>	Al obtenerse la hidratación máxima del cemento	Material completamente endurecido, con mayor factor de seguridad para el servicio	Varios meses e incluso mas
fracción complementaria			

(+) edad a partir del mezclado, en concreto convencional sin aditivos, no sujeto a condiciones extremosa de temperatura ni falta de humedad.

Fuente referencia (3) pág. 67

## **3.2 Actividades en las etapas**

### **3.2.1 Antes del fraguado**

Todas las operaciones deben llevarse a cabo preferentemente en el lapso inicial en que el concreto se encuentra blando. Lo anterior significa que debe hacer concordancia entre el tiempo de fraguado inicial y el tiempo requerido para transportarlo, colocarlo, compactarlo y en caso necesario recompartarlo. Esto señala que se requiere planificar las funciones de manera que podamos realizar todas estas actividades sin afectar al concreto.

### **3.2.2 Durante el fraguado**

Al terminar de colocar el concreto, deberá ser enrasado al nivel deseado, así como darle el tratamiento superficial que le corresponde de acuerdo a su destino, estas acciones resultan en el curso del fraguado, en tanto que otras duran hasta la etapa de endurecimiento. Se pueden tener los siguientes casos:

- la superficie del concreto que se coloca pertenece a una capa que debe ser cubierta por otra.
- Cuando se trata de una junta de construcción.
- Superficies terminadas.

### **3.2.3 Después del fraguado**

El concreto comienza a adquirir resistencia mecánica, la cual puede verse afectada por condiciones ambientales adversas o por operaciones efectuadas de manera inadecuada. Se deberá tener la precaución de:

- proveer los medios adecuados para que la hidratación del cemento evolucione con normalidad.
  
- Cuidar que las actividades que deben realizarse en la estructura se lleven a cabo de manera mecánica para no sufrir daños. A continuación se presenta un listado de estas:
  - protección y curado
  - remoción de formaletas
  - reparación de efectos constructivos
  - tratamiento de juntas de construcción

### **3.3 Evolución del fraguado**

Además del fraguado definido de manera normal, se pueden presentar otras dos condiciones considerables anormales o indeseables:

- falso fraguado
  
- fraguado instantáneo

Se deberán de considerar los tiempos de fraguado de:

- cemento
- concreto.

### **3.4 Evolución del endurecimiento**

Después de que la pasta de cemento se ha endurecido, se reduce la porosidad en ella, generando las propiedades mecánicas del concreto, estas dependen inversamente de su porosidad, lo cual depende básicamente de la relación agua – cemento utilizada. A continuación se listan los principales factores que afectan el desarrollo del endurecimiento.

#### **3.4.1 Tipo de cemento**

Puede afectar la evolución del endurecimiento principalmente en sus primeras edades, sobre todo por su fineza y composición química.

#### **3.4.2 Temperatura**

El descenso en la temperatura aumenta el tiempo de fraguado y el ascenso lo reduce, causando en ambas condiciones no deseados en el concreto. Así mismo las temperaturas de curado bajas hacen más lenta la adquisición de resistencia pero con el tiempo se recupera, en tanto que las temperaturas altas incrementan las resistencias iniciales pero ocasionan disminución en las finales.

#### **3.4.3 Madurez del concreto**

El concepto resulta útil cuando se requieren realizar actividades que también requieren hacer una estimación de la resistencia del concreto a edad temprana, dado que existe una relación directa entre su grado de madurez y su resistencia a compresión.

### **3.5 Medios para modificar el fraguado y endurecimiento**

El descenso de la temperatura en el concreto, muchas veces no acontece de manera controlada, sino mas bien como consecuencia de las características y condiciones de los componentes, de las estructuras o del medio ambiente, o bien que se use la temperatura como un medio para modificar controladamente el proceso de fraguado y/o adquisición de resistencia mecánica del concreto.

#### **3.5.1 Ajuste de la temperatura en la mezcla del concreto**

Cuando el medio ambiente es benigno y se construyen estructuras de dimensiones ordinarias con concreto convencional, las condiciones térmicas suelen ser favorable para que el fraguado, hidratación del cemento y la adquisición de resistencia evolucionen con normalidad, por lo que en estos casos no es necesario adoptar precauciones para el control de la temperatura inicial de elaboración el concreto.

Así el comité ACI 306 define el tiempo frío como el período en que durante tres días consecutivos ocurren las siguientes condiciones:

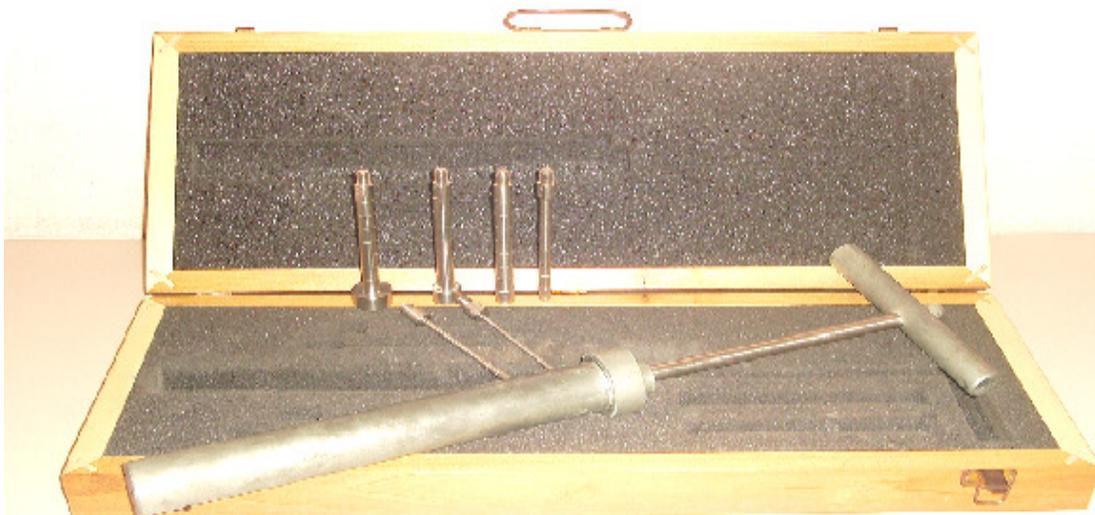
- la temperatura media diaria del aire es menor de 5°C
- la temperatura del aire no excede a 10°C durante más de la mitad del tiempo en un lapso de 24 horas.

También el comité ACI 305 define **el ambiente caluroso mas bien por sus efectos sobre el concreto, considerándolo como cualquier combinación de alta temperatura del aire, baja humedad relativa y alta velocidad del viento, que tienden a perjudicar la calidad del concreto fresco o endurecido, o bien conducen a**

**propiedades anormales, en un nivel comprendido entre 24 y 38°C**, de esta forma es de considerar que si el concreto se cura en una temperatura comprendida entre 16 y 32°C, es de esperarse que su fraguado y adquisición de resistencia mecánica evolucionen con correlativa normalidad. Las medidas que suelen tomarse para que la temperatura del concreto en las estructuras se ubique en el intervalo requerido son:

- ajustar la temperatura de la mezcla de concreto en la mezcladora al nivel adecuado.
- disponer los medios necesarios para que la transportación y colocación del concreto se realice en forma expedita y protegida de los agentes adversos.
- Suministrar el tratamiento adecuado al concreto recién colocado en la estructura durante un lapso específico.

**Figura 3. Equipo ensayo velocidad de endurecimiento, método de resistencia a la penetración (ASTM C – 403)**



**Figura 4. Molde normalizado para ensayo a flexión**



### **3.5.2 Transmisión de calor al concreto recién colado**

Consiste en transmitir calor procedente de una fuente externa, para elevar su temperatura de la colocación y compactación en las formaletas o moldes. Se destina principalmente a dos aplicaciones:

- dar protección a las estructuras recién fundidas en clima frío, a fin de crear una temperatura de curado favorable para que el concreto fragüe y endurezca con razonable normalidad, no obstante la baja temperatura del medio ambiente.

- Permitir el uso anticipado del concreto, sobre calentándolo temporalmente con el objeto de que obtenga a menor plazo una cierta resistencia mecánica requerida para el uso destinado, siendo el medio mas utilizado el uso de vapor de agua a presión atmosférica, aunque también existe el método con vapor a presión y temperatura elevada que se lleva a cabo en recipientes de cierre hermético (autoclaves).

### **3.5.3 Modificación por efecto de aditivos**

La modificación del fraguado en el concreto se realiza en forma controlada por medio del uso de aditivos (acelerantes, reductores de agua y regularos del fraguado) este se compara contra concreto sin aditivos, mediante pruebas del laboratorio en las que no se verifica del aditivo sino su comportamiento en el concreto.

### **3.5.4 Modificación por efecto del cemento**

Generalmente esta orientado al aumento de resistencia mecánica a edades tempranas, debido a que los tiempos de fraguado tienen muy poca variación entre los diferentes tipos de cemento. Esto se puede realizar de dos maneras:

- incrementar el contenido unitario de cemento: equivale a disminuir la relación agua – cemento. Esto se puede realizar de dos maneras:

- incrementar el consumo del cemento
- empleando un aditivo reductor de agua de mezclado

- cambio de cemento: para este caso la dificultad consiste en la disponibilidad en el mercado del tipo de cemento adecuado para obtener resistencias altas a edad temprana, se puede utilizar cemento Pórtland tipo III.

## **4. DESARROLLO EXPERIMENTAL**

### **4.1 Caracterización agregados**

Fueron caracterizados en el Centro de Investigaciones de Ingeniería, siguiendo procedimientos y especificaciones de las normas ASTM aplicables.

#### **4.1.1 Agregado fino**

- 4.1.1.1 Peso unitario volumétrico, % de vacíos (ASTM C – 29)
- 4.1.1.2 Contenido de materia orgánica (ASTM C – 40)
- 4.1.1.3 Peso específico y porcentaje de absorción (ASTM C – 128)
- 4.1.1.4 Granulometría (ASTM C – 136)

#### **4.1.2 Agregado grueso**

- 4.1.2.1 Peso unitario volumétrico, % de vacíos (ASTM C – 29)
- 4.1.2.2 Peso específico y porcentaje de absorción (ASTM C – 128)
- 4.1.2.3 Granulometría (ASTM C – 136)

### **4.2 Condiciones de elaboración y curado de concretos**

De acuerdo a lo indicado en la teoría, los valores de temperatura críticos para elaboración y curado de concreto están entre 10 - 32°C, por esta razón se tomó la

decisión de realizar tres fundiciones sitios, con condiciones de mezclado y curado en los rangos de temperatura mencionados, siendo los puntos escogidos la capital, Quetzaltenango y Zacapa. En la fundición de Quetzaltenango se tuvo el inconveniente del gradiente de temperatura, debido a que durante la mañana se tuvieron valores cercanos a los 20°C descendiendo a 8°C durante la noche (por esta razón se fundió durante la noche), para el curado de las probetas (en los primeros siete días) se mantuvo la temperatura del agua entre 8 – 12°C por medio de hielo, a efecto de mantener las condiciones de interés.

#### **4.2.1 Elaboración de concretos**

##### **4.2.1.1 proporciones y materiales**

Se utilizó la misma proporción y materiales, trasladándose los agregados desde la capital para que se mantuvieran las mismas condiciones en las mezclas. Se trabajó con dos tipos de cemento nacional, disponibles en el mercado:

- cemento mezclado de uso general en la construcción UGC, marca Cemento Progreso.
- cemento Pórtland tipo I, marca Cemento Progreso.

##### **4.2.1.2 relación agua cemento** (de acuerdo a lo requerido en la prueba de asentamiento)

##### **4.2.1.3 f'c de diseño** (no se consideró)

Se adecuo a los requerimientos de agua de la prueba de asentamiento, para cada fundición.

#### **4.2.1.4 asentamiento**

En un rango entre 15.2 – 20.3 cm (6 – 8”), para las tres fundiciones realizadas.

### **4.2.2 Evaluación de concretos**

Se trabajó de acuerdo a los procedimientos y especificaciones de las normas ASTM aplicables, los ensayos fueron realizados en el centro de Investigaciones de Ingeniería.

#### **4.2.2.1 Concreto en estado fresco**

- Contenido de aire (ASTM C – 136)
- Peso unitario (ASTM C – 138)
- Asentamiento de Abrams (ASTM C – 143)
- Velocidad de endurecimiento (ASTM C – 403)
- Temperatura (ASTM C – 1074)

#### **4.2.2.2 Concreto en estado endurecido**

- Resistencia probetas normalizadas (cilindros) ensayo a compresión (ASTM C – 39)
- Ensayo a flexión (ASTM C – 78)

### 4.2.3 Resultado (ver anexo No. 1)

#### 4.2.3.1 Agregados

#### 4.2.3.2 Concretos

#### 4.2.3.3 Fundición Capital

- Concreto cemento Pórtland Tipo I (CCP)

**Tabla VI Condiciones fundición capital (CCP)**

Hora de fundición	12:00
Temperatura agua de la mezcla	21.0 °C
Temperatura ambiente	24.0 °C
Temperatura mezcla concreto	21.5 °C
Humedad relativa	62.0 %
Proporción volumen	1 : 2 : 3
Proporción masa	1 : 1.86 : 3.2
Cemento	20.0 kg
Arena	37.2 kg
Piedrín	64.0 kg
Agua	12.3 kg
Relación a/c	61 %
Asentamiento cm (pulgadas)	17.8 (7.0)
Contenido de aire	2.5 %

- Concreto cemento uso general en la construcción (CUGC)

**Tabla VII Condiciones fundición capital (CUGC)**

Hora de fundición	10:00
Temperatura agua de la mezcla	21.0 °C
Temperatura ambiente	19.0 °C
Temperatura mezcla concreto	21.5 °C
Humedad relativa	62.0 %
Proporción volumen	1 : 2 : 3
Proporción masa	1 : 1.86 : 3.2
Cemento	20.0 kg
Arena	37.2 kg
Piedrín	64.0 kg
Agua	12.3 kg
Relación a/c	61 %
Asentamiento cm (pulgadas)	19.1 (7.5)
Contenido de aire	2.4 %

- Resistencia a compresión

**Tabla VIII Resistencia a compresión capital**

Resistencia a compresión $\text{kg/cm}^2$ (valores promedio)					
Tipo de Concreto	Edad (días)				
	1	3	7	28	56
CCP	41.1	92.0	109.2	194.0	191.0
CUGC	23.5	73.2	79.4	154.0	162.0

- Resistencia a flexión

**Tabla IX Resistencia a flexión capital**

Módulo de ruptura $\text{kg/cm}^2$ (valores promedio)		
Tipo de concreto	Edad (días)	
	7	28
CCP	31.4	45.5
CUGC	26.0	38.1

- Velocidad de endurecimiento

**Tabla X Velocidad de endurecimiento capital**

Tiempos de fraguado capital (min)			
CUGC		CCP	
Fraguado inicial = 35 kg/cm <sup>2</sup>	528.0	Fraguado inicial = 35 kg/cm <sup>2</sup>	388.0
Fraguado Final = 281 kg/cm <sup>2</sup>	No se evaluó (más de 8 h)	Fraguado Final = 281 kg/cm <sup>2</sup>	No se evaluó (más de 8 h)

**4.2.3.4 Fundición Quetzaltenango**

- Concreto cemento Pórtland Tipo I (CCP)

**Tabla XI Condiciones fundición Quetzaltenango (CCP)**

Hora de fundición	19:00
Temperatura agua de la mezcla	11.0 °C
Temperatura ambiente	13.7 °C
Temperatura mezcla concreto	17.0 °C
Humedad relativa	72.0 %
Proporción volumen	1 : 2 : 3
Proporción masa	1 : 1.86 : 3.2
Cemento	25.0 kg
Arena	36.5 kg
Piedrín	80.0 kg
Agua	16.3 kg
	65 %

Relación a/c	
Asentamiento cm (pulgadas)	15.2 (6.0)
Contenido de aire	4.3 %

- Concreto cemento uso general en la construcción (CUGC)

**Tabla XII Condiciones fundición Quetzaltenango (CUGC)**

Hora de fundición	21:00
Temperatura agua de la mezcla	11.0 °C
Temperatura ambiente	8.2 °C
Temperatura mezcla concreto	15.0 °C
Humedad relativa	78.0 %
Proporción volumen	1 : 2 : 3
Proporción masa	1 : 1.86 : 3.2
Cemento	25.0 kg
Arena	36.5 kg
Piedrín	80.0 kg
Agua	15.9 kg
Relación a/c	65 %
Asentamiento cm (pulgadas)	15.2 (6.0)
Contenido de aire	4.3 %

- Resistencia a compresión

**Tabla XIII Resistencia a compresión Quetzaltenango**

Resistencia a compresión kg/cm <sup>2</sup> (valores promedio)					
Tipo de Concreto	Edad (días)				
	1	3	7	28	56
CCP	27.1	128.1	147.8	176.5	221.5
CUGC	14.0	89.2	126.1	171.1	153.0

- Resistencia a flexión

**Tabla XIV Resistencia a flexión Quetzaltenango**

Modulo de ruptura kg/cm <sup>2</sup> (valores promedio)		
Tipo de concreto	Edad (días)	
	7	28
CCP	32.3	52.4
CUGC	29.6	42.3

- Velocidad de endurecimiento

**Tabla XV Velocidad de endurecimiento Quetzaltenango**

Tiempos de fraguado Quetzaltenango (min)			
CUGC		CCP	
Fraguado inicial = 35 kg/cm <sup>2</sup>	564.0	Fraguado inicial = 35 kg/cm <sup>2</sup>	328.0
Fraguado Final = 281 kg/cm <sup>2</sup>	No se evaluó (más de 8 h)	Fraguado Final = 281 kg/cm <sup>2</sup>	No se evaluó (más de 8 h)

#### 4.2.3.5 Fundición Zacapa

- Concreto cemento Pórtland Tipo I (CCP)

**Tabla XVI Condiciones fundición Zacapa (CCP)**

Hora de fundición	11:40
Temperatura agua de la mezcla	28.0 °C
Temperatura ambiente	37.1 °C
Temperatura mezcla concreto	26.1 °C
Humedad relativa	37.0 %
Proporción volumen	1 : 2 : 3
Proporción masa	1 : 1.86 : 3.2
Cemento	25.0 kg
Arena	36.5 kg
Piedrín	80.0 kg
Agua	22.3 kg
Relación a/c	88 %
Asentamiento cm (pulgadas)	17.8 (7.0)
Contenido de aire	5.0 %

- Concreto cemento uso general en la construcción (CUGC)

**Tabla XVII Condiciones fundición Zacapa (CUGC)**

Hora de fundición	14:00
Temperatura agua de la mezcla	22.1 °C
Temperatura ambiente	31.2 °C
Temperatura mezcla concreto	24.0 °C
Humedad relativa	49.0 %
Proporción volumen	1 : 2 : 3
Proporción masa	1 : 1.86 : 3.2
Cemento	25.0 kg
Arena	36.5 kg
Piedrín	80.0 kg
Agua	22.3 kg
Relación a/c	79 %
Asentamiento cm (pulgadas)	17.8 (7.0)
Contenido de aire	4.5 %

- Resistencia a compresión

**Tabla XVIII Resistencia a compresión Zacapa**

Resistencia a compresión kg/cm <sup>2</sup> (valores promedio)					
Tipo de Concreto	Edad (días)				
	1	3	7	28	56
CCP	27.1	128.1	147.8	176.5	221.5
CUGC	14.0	89.2	126.1	171.1	153.0

- Resistencia a flexión

**Tabla XIX Resistencia a flexión Zacapa**

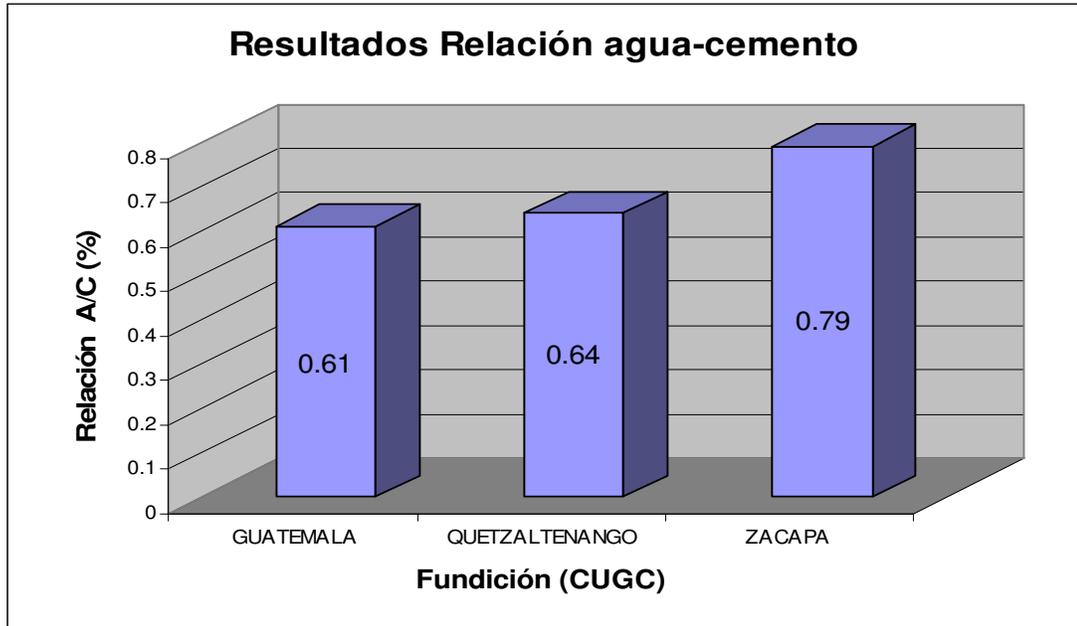
Módulo de ruptura $\text{kg/cm}^2$ (valores promedio)		
Tipo de concreto	Edad (días)	
	7	28
CCP	29.6	38.7
CUGC	23.4	38.7

- Velocidad de endurecimiento

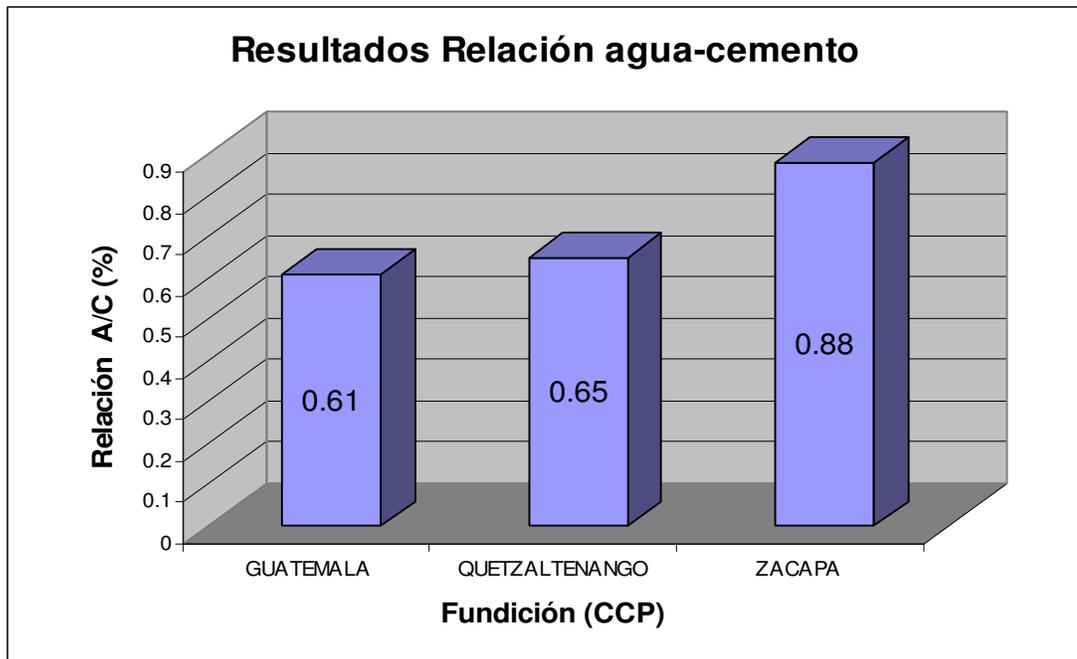
**Tabla XX Velocidad de endurecimiento Zacapa**

Tiempos de fraguado Zacapa (min)			
CUGC		CCP	
Fraguado inicial = 35 $\text{kg/cm}^2$	284.0	Fraguado inicial = 35 $\text{kg/cm}^2$	559.0
Fraguado Final = 281 $\text{kg/cm}^2$	No se evaluó (más de 8 h)	Fraguado Final = 281 $\text{kg/cm}^2$	No se evaluó (más de 8 h)

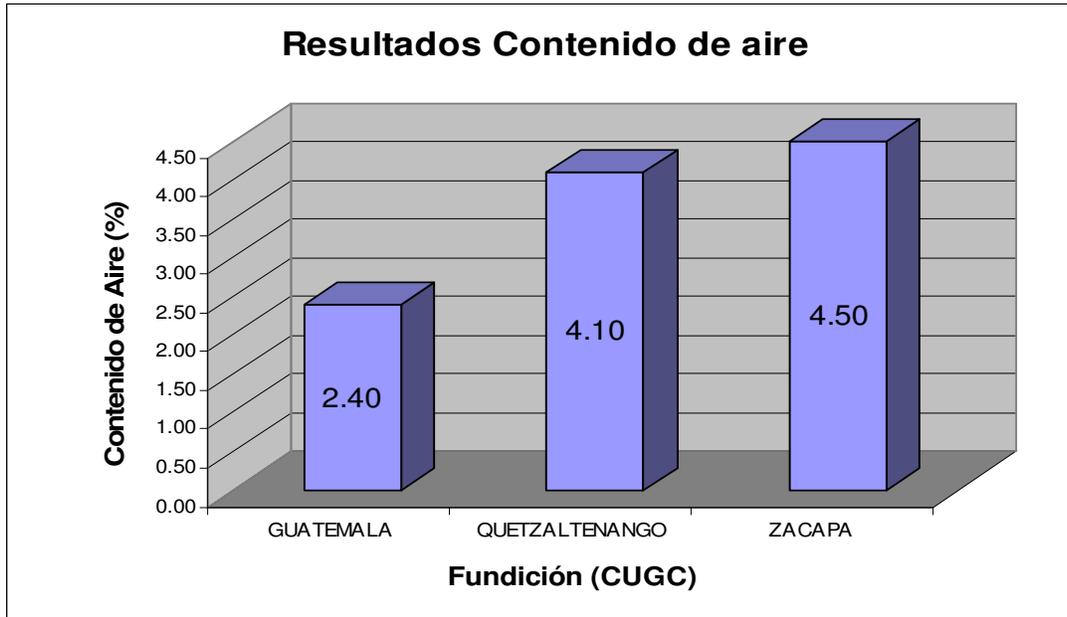
**Figura 5. Relación agua cemento (CUGC)**



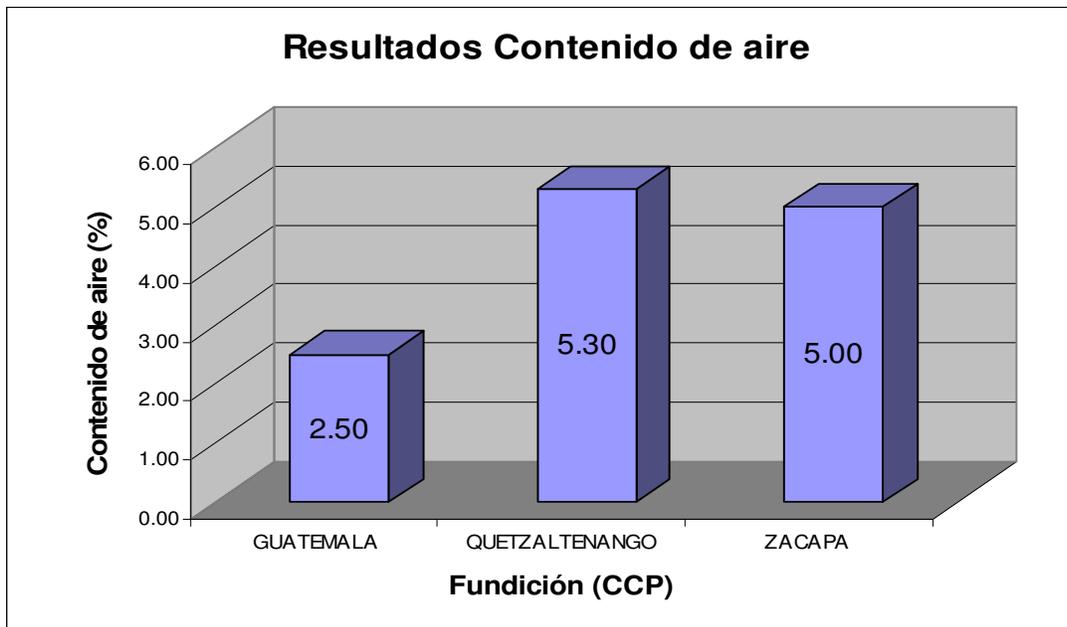
**Figura 6. Relación agua cemento (CCP)**



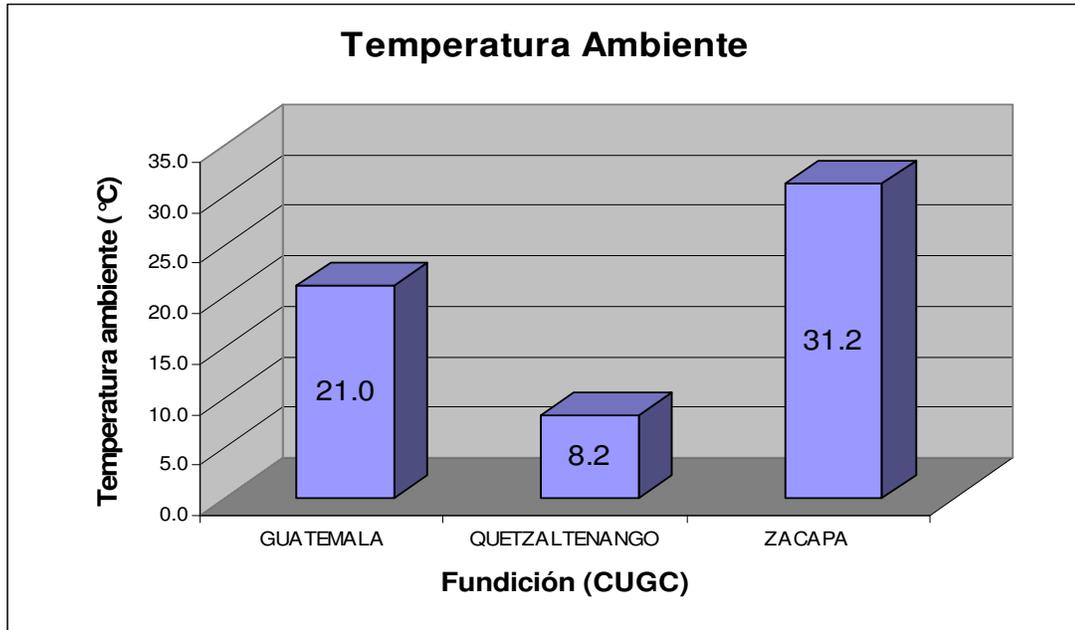
**Figura 7. Resultados contenido de aire (CUGC)**



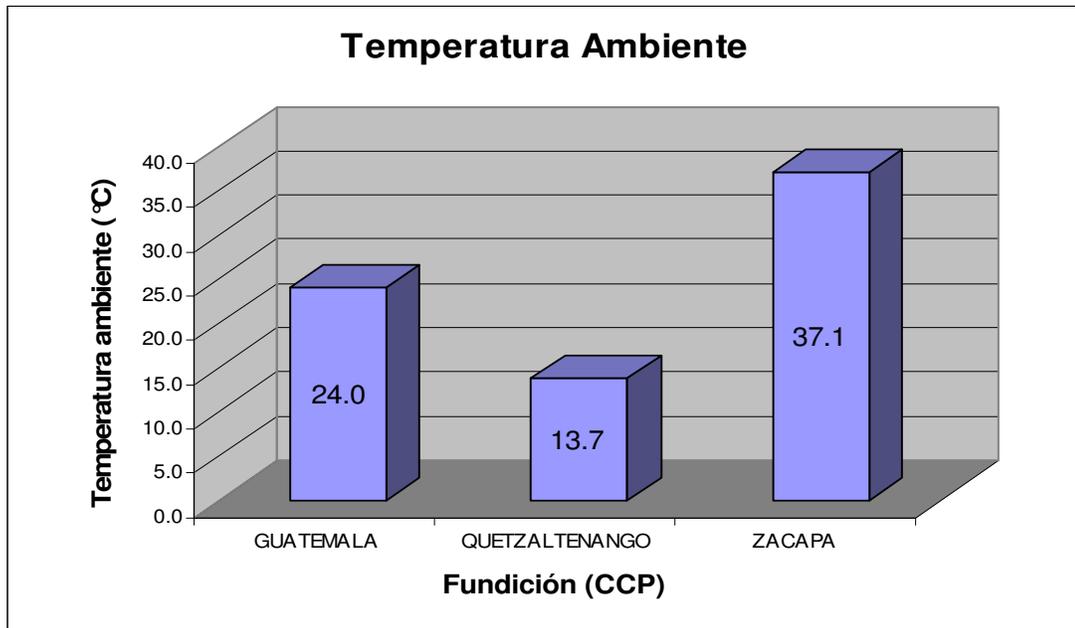
**Figura 8. Resultados contenido de aire (CCP)**



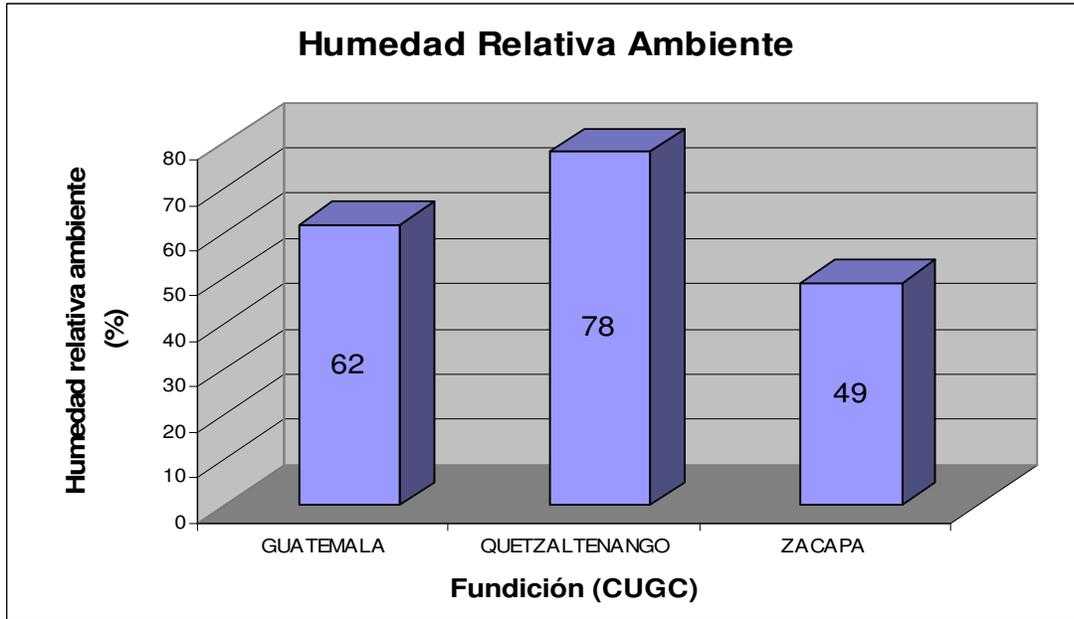
**Figura 9. Temperatura ambiente (CUGC)**



**Figura 10. Temperatura ambiente (CCP)**



**Figura 11. Humedad relativa ambiente (CUGC)**



**Figura 12. Humedad relativa ambiente (CCP)**

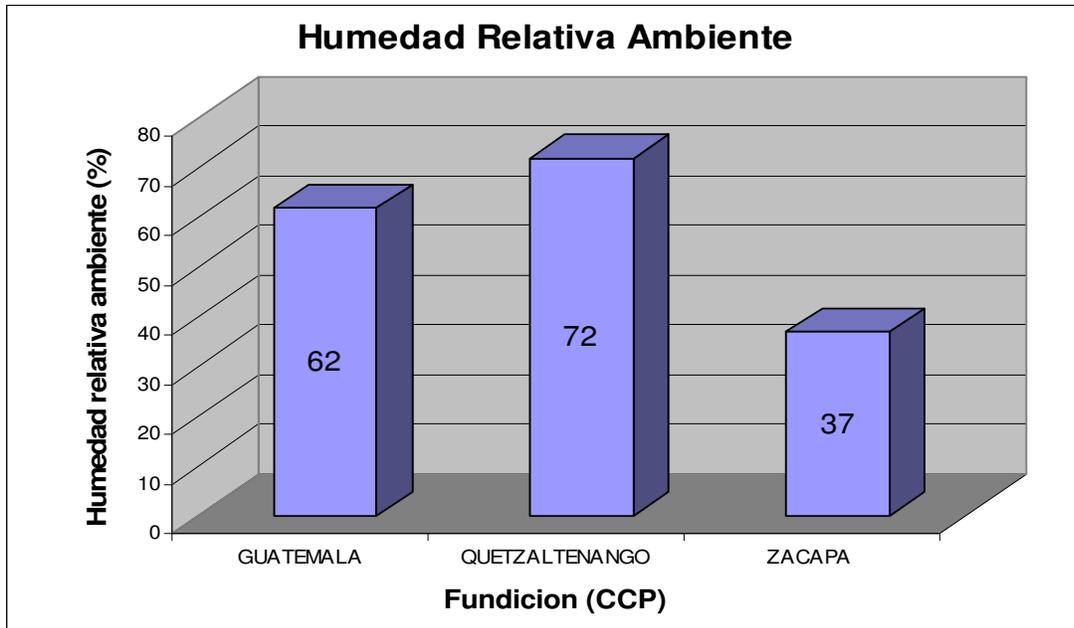


Figura 13. Resistencia a compresión (CUGC)

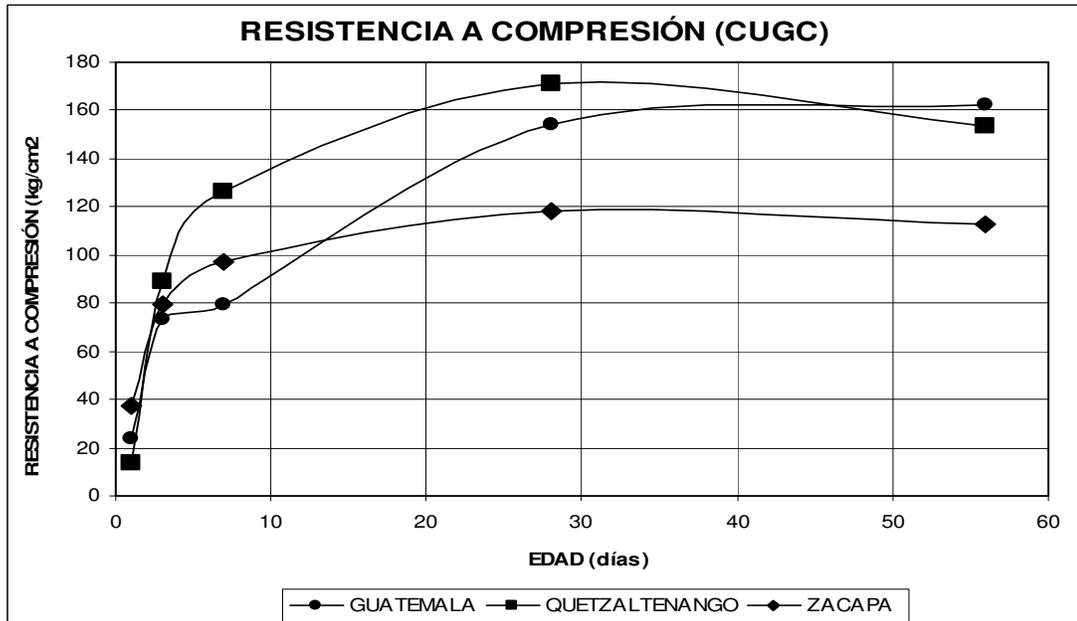
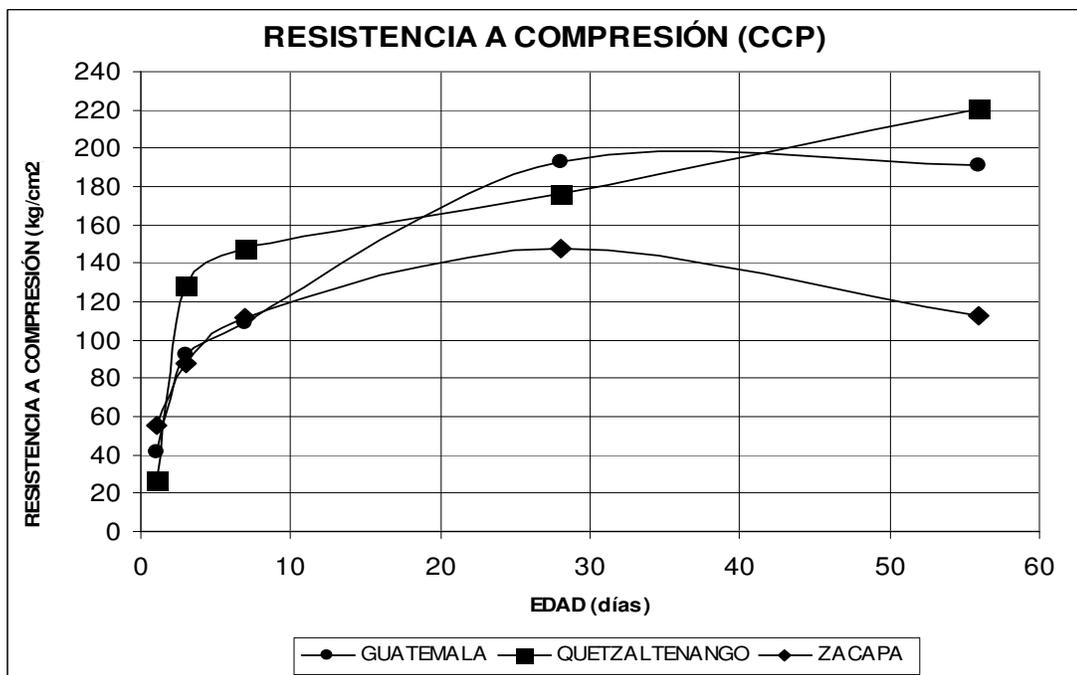


Figura 14. Resistencia a compresión (CCP)



### **4.3 Análisis de resultados**

#### **4.3.1 Agregados**

De acuerdo con los resultados obtenidos los agregados utilizados son adecuados para mezclas de concreto, se usó el mismo tipo y proporciones para cada fundición por lo que estos no tuvieron incidencia en el estudio.

#### **4.3.2 Cementos**

Cumplen con lo indicado en las normas ASTM C – 150 y C – 595 para Cemento Pórtland y Cementos mezclados respectivamente.

#### **4.3.3 Agua**

Se utilizó el servicio municipal en cada fundición, por lo que se considera adecuada la calidad del agua. La temperatura que tenía al momento de realizar las mezclas de concreto estuvieron de acuerdo con las condiciones ambientales, obtenido el valor más alto en Zacapa (28 °C) y más bajo en Quetzaltenango (11 °C) y en la capital un valor intermedio (21 °C). Dependiendo del tipo y magnitud del proyecto, la temperatura del agua de mezcla debe ser un factor a considerar dentro de los procesos de elaboración, manejo, colocación y curado del concreto. (ver tablas VI, VII, XII, XIII, XVIII, IXX).

#### 4.3.4 Concretos

##### 4.3.4.1 Condiciones ambientales para cada fundición

De acuerdo a lo que la teoría indica, el rango de temperatura crítica para elaboración, manejo, colocación y curado del concreto, se encuentra entre 10 – 32 °C, por lo que las condiciones ambientales en cada fundición se encuentran dentro de los objetivos del presente estudio, haciendo la observación que en Quetzaltenango se tuvieron que realizar las mezclas en horario nocturno, debido a que durante el día la temperatura estaba en 22 °C, mientras que al momento de la fundición se tuvo un valor de 8 °C, que eran las esperadas. (ver tablas VI, VII, XII, XIII, XVIII y IX).

- Estado fresco

Para la elaboración de las mezclas se mantuvieron las condiciones de temperatura en el rango crítico, se utilizó la misma proporción para cada fundición, el valor del asentamiento se manejó en un rango entre 15 – 20 cm, teniendo como variables los requerimientos de agua y la trabajabilidad de la mezcla en cada fundición.

- Asentamiento

Todos los concretos estuvieron en el rango que se definió desde el principio, reflejándose la incidencia de las condiciones de temperatura y humedad relativa en cada medición del asentamiento (ver tablas VI, VII, XII, XIII, XVIII y IX).

- Relación agua/cemento (real a/c)

De acuerdo al tipo de concreto (**cemento Pórtland tipo I CCP y cemento mezclado UGC, CUGC**), hay una relación directa entre la temperatura local y el requerimiento de agua, se obtuvieron los valores mas altos en **Zacapa (CCP 88.0 % y**

**CUGC 79.0 %**), **Quetzaltenango (CCP 65.0 % y CUGC 64.0 %)** y la **Capital (CCP 61.0 % y CUGC 61.0 %)** respectivamente, estos resultados afectan el comportamiento del concreto en estado fresco y endurecido, principalmente en sus tiempos de fraguado, porosidad, masa unitaria y resistencias mecánicas (ver graficas 1, 2).

- Temperatura de la mezcla

Los resultados tiene un comportamiento de acuerdo a los valores de temperatura y humedad relativa para cada fundición, siendo los resultados más altos en **Zacapa (CCP 26.1 °C y CUGC 24.0 °C)**, **Quetzaltenango (CCP 17.0 °C y CUGC 15.0 °C)** y la **Capital (CCP 21.5 °C y CUGC 19.0 °C)** respectivamente (ver tablas VI, VII, XII, XIII, XVIII y IXX).

- Contenido de aire

En toda mezcla de concreto se tendrán valores de aire incluido, por lo que los resultados muestran que valores de temperaturas altas y humedad relativa baja, tienen incidencia en estos resultados, teniendo **Zacapa (CCP 26.1 °C y CUGC 24.0 °C)**, **Quetzaltenango (CCP 17.0 °C y CUGC 15.0 °C)** y la **Capital (CCP 21.5 °C y CUGC 19.0 °C)** respectivamente (ver graficas 3, 4).

- Velocidad de endurecimiento (tiempos de fraguado)

Se tomó como base un tiempo de 8 horas (equivalente a una jornada de trabajo) para evaluar esta característica, las condiciones de temperatura y humedad locales, así como la relación a/c afectan el comportamiento del concreto, lográndose evaluar los tiempos de fraguado iniciales únicamente, no evaluando ningún tiempo de fraguado final durante el lapso considerado, teniéndose para **Zacapa (CCP 240 min y CUGC 285 min)**, **Quetzaltenango (CCP 550 min y CUGC 560 min)** y la **Capital (CCP y CUGC más de ocho horas)** respectivamente (ver tablas X, XI, XVI, XVII, XXI, XXII y gráficas 15, 16).

- Estado endurecido

Para el curado (siete días) se mantuvieron las condiciones de temperatura de acuerdo a las condiciones para cada fundición, se evaluaron probetas a edades de 1, 3, 7 y 28 días. Para todas la fundiciones en las edades tempranas el CCP tuvo resultados mas altos en los ensayos de resistencia a compresión y modulo de ruptura a flexión, en las edades mayores el CUGC tuvo un desarrollo mayor en sus valores (lo lógico de acuerdo a cada tipo de cemento) fue notoria la influencia de las condiciones de temperatura y humedad relativa en el comportamiento de los concretos evaluados. Las fundiciones de Zacapa presentan los valores más bajos a la edad de 28 días, para los dos concretos tanto en resistencia a compresión como su valor de módulo de ruptura, por el contrario los resultados mas altos para el CCP se obtuvieron en la fundición de la capital, y los del CUGC se obtuvieron en la fundición de Quetzaltenango (ver tablas VIII, IX, XIV, XV, XX y XXI).

#### **4.3.4.2 Fundición Capital**

Se consideran las condiciones de la capital como las representativas de un concreto normal en nuestro país, por lo que de acuerdo a los concretos evaluados, estos tuvieron un desarrollo de resistencias mecánicas dentro de los esperado, con un curado adecuado en los 28 días de edad, el CCP tuvo una diferencia de  $40 \text{ kg/cm}^2$  respecto al CUGC se espera que a edades mayores esta sea superada. Los resultados del módulo de ruptura los 28 días en la capital fueron intermedios respecto a las fundiciones realizadas, la diferencia entre los dos concretos fue de  $18 \text{ kg/cm}^2$ .

#### **4.3.4.3 Fundición Quetzaltenango**

De acuerdo a la teoría consultada, las condiciones de valores de temperatura bajas, afectan el desarrollo de la resistencia mecánica a edades tempranas, pero luego

estas tienden a incrementarse con el paso del tiempo de acuerdo a cada tipo de cemento utilizado, a los 28 días el CCP tuvo una diferencia de  $5 \text{ kg/cm}^2$  respecto al CUGC, se espera que a edades mayores esta sea superada. Los resultados del módulo de ruptura los 28 días en Quetzaltenango, fueron más altos respecto a las fundiciones realizadas, la diferencia entre los dos concretos fue de  $10 \text{ kg/cm}^2$ .

#### 4.3.4.4 Fundición Zacapa

De acuerdo a la teoría consultada, las condiciones de valores de temperatura altas, afectan el desarrollo de la resistencia mecánica, a edades tempranas estos valores son altos, pero luego estas tienden a decrecer con el paso del tiempo de acuerdo a cada tipo de cemento utilizado, obteniéndose a los 28 días que el CCP tuvo una diferencia de  $5 \text{ kg/cm}^2$  respecto al CUGC), se espera que a edades mayores estos valores pudieran tener un desarrollo más lento en su resistencia mecánica. Los resultados del módulo de ruptura los 28 días de Zacapa, fueron lo más bajos respecto a la fundiciones realizadas, siendo iguales para los dos concretos.

**Figura 15. Velocidad de endurecimiento (CUGC)**

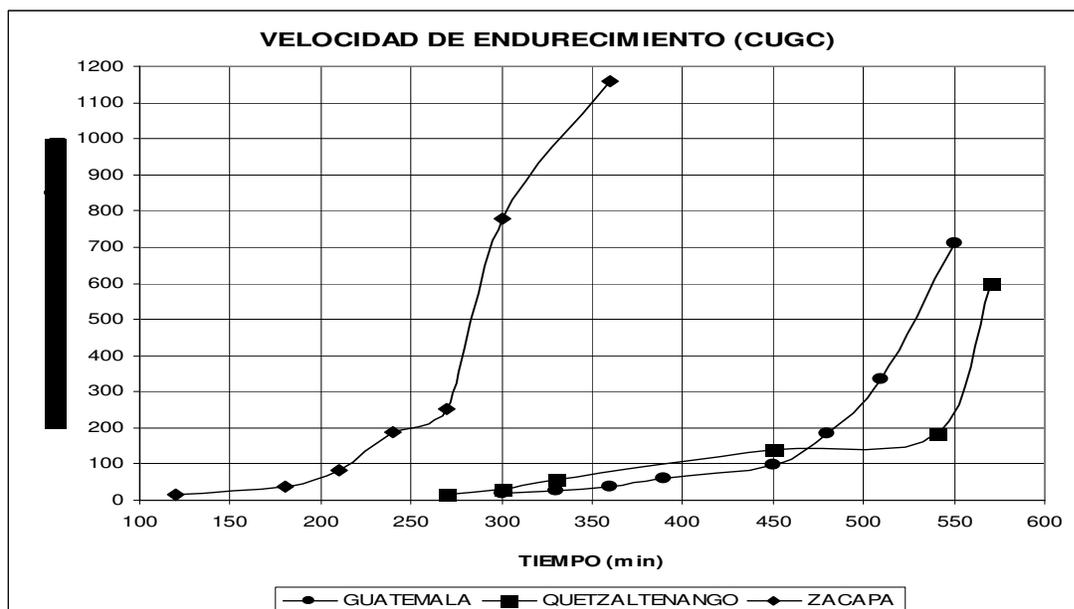
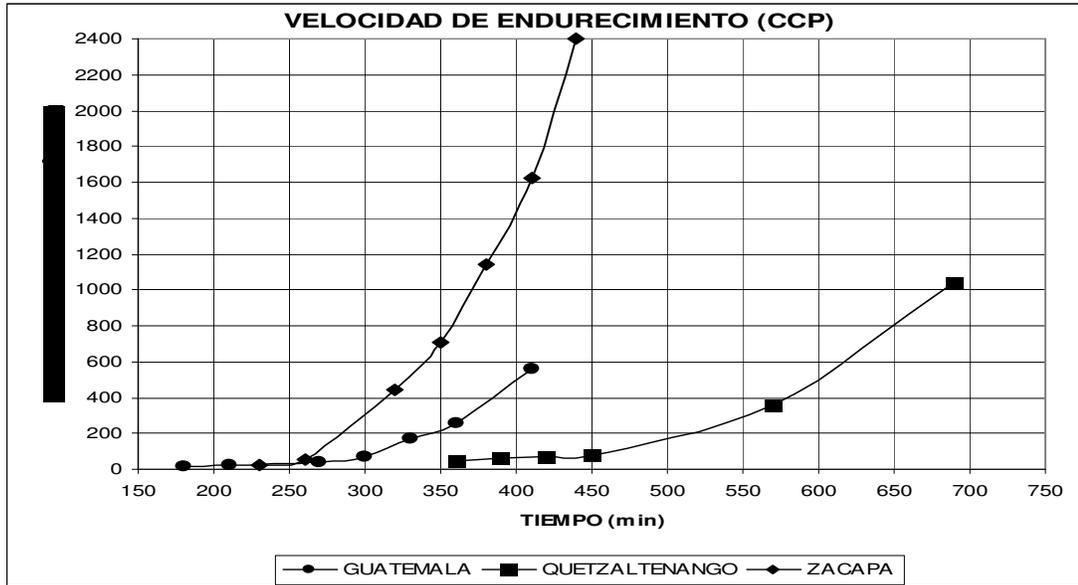


Figura 16. Velocidad de endurecimiento (CCP)





## CONCLUSIONES

1. Las condiciones de temperatura y humedad relativa del ambiente fueron diferentes para cada proyecto y tienen incidencia directa en el comportamiento del concreto en estado fresco y endurecido (ver tablas III, IV, XI, XII, XVI y XVII, figuras 9, 10 y 11).
2. A valores de temperatura más altos, es mayor la relación a/c que se necesita para la misma trabajabilidad, debido a la influencia que tienen los agregados y el agua para la mezcla utilizados. (ver gráficas 1 y 2).
3. A valores de temperaturas más bajos, es menor la relación a/c que se necesita para la misma trabajabilidad, debido a la influencia que tienen los agregados y el agua para la mezcla utilizados (ver gráficas 1 y 2).
4. Para que el concreto desarrolle sus propiedades mecánicas es necesario darle las condiciones de curado adecuadas, (temperatura del agua de curado debe ser la adecuada).
5. El tipo de cemento tiene incidencia en el desarrollo de resistencia mecánica en todas las edades.
6. A valores de temperaturas altas la resistencia mecánica del concreto durante las primeras 24 horas es mayor, aunque luego disminuyen en las otras edades (ver gráficas 1, 2, 7, 8, 9).
7. A valores de temperaturas bajas la resistencia mecánica del concreto durante las primeras 24 horas es menor, luego aumentan (ver gráficas 1, 2, 7, 8, 9).

8. A valores de temperaturas altas los tiempos de fraguado se aceleran, por lo que los procesos que tengan que realizarse para el concreto en estas condiciones, deberán de considerar este factor (ver tablas X, XI, XVI, XVII, XXII y XXIII y gráficas 15, 16).
9. A valores de temperaturas bajas los tiempos de fraguado son mayores, por lo que los procesos que tengan que realizarse para el concreto en estas condiciones, deberán de considerar este factor (ver tablas X, XI, XVI, XVII, XXII y XXIII y gráficas 15, 16).
10. El contenido de aire no tiene mayor variación, producto de las condiciones de temperatura y humedad relativa del ambiente (ver gráficas 3 y 4).
11. Las condiciones de temperatura fuera de los rangos recomendados afectan el comportamiento del concreto, por lo que el uso de aditivos puede ser considerado para mantener los parámetros dentro de los rangos de interés.

## RECOMENDACIONES

1. Mantener las condiciones de curado del concreto entre los rangos especificados, cuidado la temperatura y humedad relativa del ambiente estén fuera de lo recomendado.
2. Considerar las condiciones de temperatura y humedad relativa del sitio del proyecto, en los procesos de elaboración del concreto.
3. Las condiciones de temperatura y humedad relativa del ambiente pueden afectar el fraguado adecuado del concreto, entonces se recomienda el uso de aditivos, como reductores de agua y acelerantes de fraguado.
4. Considerar el uso de los mecanismos adecuados, que permitan que las condiciones de temperatura y humedad relativa del ambiente, no representen problemas en el desempeño del concreto en estado fresco y endurecido.
5. Controlar los valores del contenido de aire, debido que puede ser un factor que afecte el desempeño del concreto, dependiendo de las condiciones ambientales, tipo y condiciones de los agregados.
6. Dependiendo de las condiciones de temperatura y humedad relativa del ambiente, y dependiendo del volumen de fundición los agregados, el agua de mezcla y el cemento deberán de tenerse en condiciones adecuadas que permitan obtener un adecuado concreto, con un desempeño de acuerdo al diseño realizado.

7. Realizar estudios que permitan profundizar y evaluar alternativas para que las condiciones ambientales particulares para cada proyecto, no representen dificultades en el diseño, elaboración, manejo y desempeño del concreto.

## **REFERENCIAS**

1. Ortega Calderón, Mauro. Evaluación de concretos elaborados con cemento mezclado (cemento Pórtland y Escoria). Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. Pág. 1. 2006.
2. Nilson, Arthur H. Diseño de Estructuras de concreto duodécima edición, Colombia: Editorial McGraw Hill, 1995, Pág. 28.
3. Instituto de Ingeniería, Comisión Federal de Electricidad. Manual de tecnología del concreto. México LIMUSA Pág. 56.



## BIBLIOGRAFÍA

1. ASTM *Book of Standards. Standard Specification for Concrete Aggregates.* USA: C – 33 – 01 Vol. 04.02 2002
2. **Uso de los agregados de hormigón en relación con la obra.** Manual del uso de hormigón elaborado. [www.hormigonelaborado.com/manual-13.htm](http://www.hormigonelaborado.com/manual-13.htm) (sep/2003)
3. Waddell, Joseph J. Y Dobrowski, Joseph A. “Manual de la construcción con concreto”. 3a. Ed. (Colección, tomo I). México: Mc Graw – Hill, 1977.
4. ECUTE Bantes, Francisco Javier. Evaluación y variabilidad de las propiedades de los agregados de dos plantas, una en Escuintla y la otra en Tecun Umán. Trabajo de graduación Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería 2003.
5. **Control de calidad a agregados pétreos.** [www.ucn.cl/facultades/Institutos/laboratorio/TECNOLOGIA%203.HTM](http://www.ucn.cl/facultades/Institutos/laboratorio/TECNOLOGIA%203.HTM) (Julio 2003)
6. Ortiz Palma, Byron Barío. Estado actual de los principales materiales para la construcción en Guatemala, Trabajo de graduación Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1995.
7. Ortega Calderón, Mauro. **Evaluación de concretos elaborados con cemento mezclado (cemento Portlan y Escoria).** Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2006.

8. Nilson, Arthur H. **Diseño de Estructuras de concreto** duodécima edición  
Colombia: Editorial Mc Graw Hill, 1995.
9. Instituto de Ingeniería, Comisión Federal de Electricidad. **Manual de tecnología del concreto**. México LIMUSA.

## APÉNDICE. Informe de la sección de agregados y concretos del CII.



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Orden de Trabajo No. 21652

### Informe No. 08/2007 S. AM

**Interesado:** Gilberto Pérez Chajón  
**Proyecto:** Trabajo de graduación "Evaluación de la incidencia de la temperatura y humedad relativa, en el comportamiento del concreto durante su mezclado y curado (siete días), utilizando dos tipos de cementos"  
**Asunto:** Caracterización de agregado fino y grueso, elaboración y evaluación de concreto en estado fresco y endurecido.  
**Fecha:** 06 de Julio de 2007

- 1. Generalidades:** el interesado proporcionó los materiales necesarios.
- 2. Procedimiento:** se trabajó de acuerdo a lo indicado en normas ASTM aplicables.
- 3. Resultados:**
  - 3.1. Caracterización de agregado fino:**

ARENA	
ENSAYO	RESULTADO
Peso Específico (g/cm <sup>3</sup> ) (ASTM C-128)	2.417
Peso unitario volumétrico (kg/m <sup>3</sup> ) (ASTM C-29)	1406
Contenido de materia orgánica (ASTM C-40)	Clasificación = 1
% pasa tamiz 200 (ASTM C-117)	2.00%
% de Absorción (ASTM C-128)	1.76%



GRANULOMETRIA ARENA (ASTM C-136)		
No. de tamiz	% Retenido	% Acumulado
4	2.59	2.59
8	9.97	12.56
16	14.33	26.89
30	24.15	51.05
50	28.81	79.86
100	15.54	95.40
Fondo	4.60	100.00

3.2. Caracterización de agregado grueso:

PIEDRIN	
ENSAYO	RESULTADO
Peso Especifico (g/cm <sup>2</sup> ) (ASTM C-127)	2.46
Peso unitario volumétrico (kg/m <sup>3</sup> ) (ASTM C-29)	1598
% de Absorción (ASTM C-127)	3.76%

GRANULOMETRIA PIEDRIN (ASTM C-136)		
No. de tamiz	% Retenido	% Acumulado
1 ½	0.00	0.00
1	1.04	1.04
3/4	8.60	9.64
1/2	22.54	32.18
3/8	11.49	43.66
4	25.15	68.82
Fondo	31.18	100.00



### 3.3. Elaboración y evaluación de concreto en estado fresco y endurecido:

#### 3.3.1. Fundición Quetzaltenango:

ENSAYO	CONCRETO 4000		CONCRETO 5000	
Asentamiento de Abrahams (ASTM C-143)	6.5 pulg		6 pulg	
Peso unitario (ASTM C-138)	No se pudo evaluar		No se pudo evaluar	
Contenido de Aire (%) (ASTM C-231)	4.10 %		4.30 %	
Velocidad de endurecimiento (ASTM C-403)	Inicial	560 min	Inicial	550 min
	Final	No se evaluó	Final	No se evaluó

RESISTENCIA A LA COMPRESION CONCRETO 4000 (ASTM C-39)								
1 DIA								
No.	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>3</sub>	Ø <sub>medio</sub>	ÁREA (plg <sup>2</sup> )	CARGA (lb)	RESISTENCIA (PSI)	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )
1	10.89	10.82	10.98	10.90	14.45	2100	145	10.21
2	10.89	10.86	10.92	10.89	14.44	3200	222	15.58
3	10.84	10.90	10.93	10.89	14.44	3200	222	15.58
3 DIAS								
1	10.47	10.36	10.60	10.48	13.36	16000	1197	84.19
2	10.47	10.37	10.60	10.48	13.37	20000	1496	105.17
3	10.47	10.37	10.71	10.52	13.46	15000	1114	78.33
7 DIAS								
1	10.99	10.97	10.96	10.97	14.66	26300	1794	126.14
2	10.92	10.96	10.97	10.95	14.60	27500	1884	132.46
3	11.06	11.06	11.01	11.04	14.85	25300	1704	119.81
28 DIAS								
1	10.72	10.71	10.73	10.72	13.99	34600	2473	173.88
2	11.01	10.99	10.99	11.00	14.72	32900	2235	157.13
3	10.91	10.88	10.83	10.87	14.39	37300	2592	182.20
56 DIAS								
1	10.95	10.95	10.90	10.93	14.55	34500	2371	166.68
2	10.83	10.71	10.64	10.73	14.01	31900	2277	160.12
3	10.70	10.77	10.60	10.69	13.91	26400	1898	133.42



RESISTENCIA A LA COMPRESION CONCRETO 5000 (ASTM C-39)								
1 DIA								
No.	$\varnothing_1$	$\varnothing_2$	$\varnothing_3$	$\varnothing_{\text{medio}}$	ÁREA ( $\text{plg}^2$ )	CARGA (lb)	RESISTENCIA (PSI)	RESISTENCIA ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )
1	11.06	11.05	11.08	11.06	14.90	6400	430	30.20
2	11.05	11.05	11.00	11.03	14.82	5000	337	23.72
3	11.10	11.04	11.02	11.05	14.87	5800	390	27.42
3 DIAS								
1	10.68	10.60	10.58	10.62	13.73	28600	2083	146.45
2	10.67	10.61	10.58	10.62	13.73	26000	1894	133.14
3	10.70	10.62	10.62	10.65	13.80	20500	1486	104.45
7 DIAS								
1	11.06	11.03	11.03	11.04	14.84	31200	2103	147.84
2	11.07	11.01	10.96	11.01	14.77	32000	2167	152.37
3	10.94	10.99	11.03	10.99	14.69	29900	2035	143.06
28 DIAS								
1	11.09	11.03	10.97	11.03	14.81	33900	2289	160.93
2	11.06	11.04	11.03	11.04	14.85	36600	2465	173.32
3	11.03	11.04	11.08	11.05	14.86	41300	2778	195.34
56 DIAS								
1	11.10	11.03	11.00	11.04	14.84	45900	3093	217.43
2	11.00	11.05	11.10	11.05	14.86	47100	3169	222.78
3	11.02	10.97	10.95	10.98	14.68	46500	3168	222.75

MODULO DE RUPTURA					
CONCRETO 4000			CONCRETO 5000		
7 DIAS					
No.	Carga (kg)	Modulo de Ruptura ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	No.	Carga (kg)	Modulo de Ruptura ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )
1	1300	29.6	1	1420	32.3
28 DIAS					
2	1860	42.3	2	2300	52.4

### 3.3.2. Fundición Zacapa:

ENSAYO	CONCRETO 4000		CONCRETO 5000	
Asentamiento de Abrams (ASTM C-143)	6.5 pulg		6 pulg	
Peso unitario (ASTM C-138)	No se pudo evaluar		No se pudo evaluar	
Contenido de Aire (%) (ASTM C-231)	4.10 %		4.30 %	
Velocidad de endurecimiento (ASTM C-403)	Inicial	285 min	Inicial	240 min
	Final	No se evaluó	Final	No se evaluó



RESISTENCIA A LA COMPRESION CONCRETO 4000 (ASTM C-39)								
1 DIA								
No.	$\varnothing_1$	$\varnothing_2$	$\varnothing_3$	$\varnothing_{medio}$	ÁREA (plg <sup>2</sup> )	CARGA (lb)	RESISTENCIA (PSI)	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )
1	11.10	11.11	11.08	11.10	14.99	7000	467	32.83
2	11.03	11.01	11.05	11.03	14.81	8000	540	37.98
3	11.04	11.02	11.06	11.04	14.84	8600	580	40.75
3 DIAS								
1	10.99	11.02	11.05	11.02	14.78	16400	1109	77.99
2	11.01	11.06	11.10	11.06	14.88	17400	1169	82.20
3	10.99	11.04	11.03	11.02	14.78	16300	1103	77.52
7 DIAS								
1	11.01	11.07	11.01	11.03	14.81	20300	1371	96.37
2	11.09	11.04	10.99	11.04	14.84	21000	1415	99.51
3	11.07	10.99	10.99	11.02	14.77	20000	1354	95.17
28 DIAS								
1	11.03	11.05	11.08	11.05	14.88	18000	1210	85.07
2	11.09	11.08	11.07	11.08	14.95	24700	1652	116.17
3	11.09	11.09	11.10	11.09	14.98	32500	2169	152.53
56 DIAS								
1	11.02	11.03	10.98	11.01	14.75	22200	1505	105.80
2	10.98	10.99	11.06	11.01	14.76	21900	1484	104.35
3	10.99	11.03	11.06	11.03	14.80	27100	1831	128.76

RESISTENCIA A LA COMPRESION CONCRETO 5000 (ASTM C-39)								
1 DIA								
No.	$\varnothing_1$	$\varnothing_2$	$\varnothing_3$	$\varnothing_{medio}$	ÁREA (plg <sup>2</sup> )	CARGA (lb)	RESISTENCIA (PSI)	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )
1	10.94	10.90	10.96	10.93	14.55	10400	715	50.25
2	10.82	10.90	10.80	10.84	14.30	11600	811	57.01
3	11.04	11.03	11.05	11.04	14.84	12400	836	58.76
3 DIAS								
1	10.78	10.85	10.87	10.83	14.29	19500	1365	95.96
2	11.01	10.99	11.01	11.00	14.74	19000	1289	90.63
3	11.07	11.08	11.01	11.05	14.87	16400	1103	77.52
7 DIAS								
1	11.01	10.98	10.93	10.97	14.66	24350	1661	116.79
2	11.08	11.04	11.06	11.06	14.89	24200	1625	114.26
3	11.01	10.99	11.02	11.01	14.75	21900	1485	104.40
28 DIAS								
1	10.70	10.80	10.98	10.83	14.27	28500	1997	140.39
2	10.52	10.70	11.02	10.75	14.06	31000	2205	155.03
3	10.89	10.90	10.90	10.90	14.46	30500	2109	148.27
56 DIAS								
1	11.02	11.02	10.98	11.01	14.75	22200	1505	105.83
2	10.98	10.99	11.06	11.01	14.76	21900	1484	104.35
3	10.99	11.03	11.06	11.03	14.80	27100	1831	128.76



<b>MODULO DE RUPTURA</b>					
<b>CONCRETO 4000</b>			<b>CONCRETO 5000</b>		
<b>7 DIAS</b>					
No.	Carga (kg)	Modulo de Ruptura (kg/cm <sup>2</sup> )	No.	Carga (kg)	Modulo de Ruptura (kg/cm <sup>2</sup> )
1	1030	23.4	1	1300	29.6
<b>28 DIAS</b>					
2	1700	38.7	2	1700	38.7

**3.3.3. Fundición Guatemala:**

<b>ENSAYO</b>	<b>CONCRETO 4000</b>		<b>CONCRETO 5000</b>	
Asentamiento de Abrams (ASTM C-143)	6.5 pulg		6 pulg	
Peso unitario (ASTM C-138)	2226.68 kg/m <sup>3</sup>		2210.71 kg/m <sup>3</sup>	
Contenido de Aire (%) (ASTM C-231)	4.10 %		4.30 %	
Velocidad de endurecimiento (ASTM C-403)	Inicial	más de 8 horas	Inicial	más de 8 horas
	Final	No se evaluó	Final	No se evaluó

<b>RESISTENCIA A LA COMPRESION CONCRETO 4000 (ASTM C-39)</b>								
<b>1 DIA</b>								
No.	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>3</sub>	Ø <sub>medio</sub>	ÁREA (plg <sup>2</sup> )	CARGA (lb)	RESISTENCIA (PSI)	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )
1	11.07	11.06	11.03	11.05	14.87	4800	323	22.69
2	11.03	11.01	10.98	11.01	14.75	5100	346	24.31
<b>3 DIAS</b>								
1	11.07	11.08	11.06	11.07	14.92	15300	1026	72.11
2	11.00	11.02	11.03	11.02	14.77	15600	1056	74.23
<b>7 DIAS</b>								
1	10.81	10.77	10.81	10.80	14.19	18000	1268	89.18
2	11.17	11.04	10.94	11.05	14.86	14700	989	69.53
<b>28 DIAS</b>								
1	10.94	10.91	10.95	10.93	14.55	31000	2130	149.77
2	10.81	10.79	11.10	10.90	14.46	32500	2247	157.98



RESISTENCIA A LA COMPRESION CONCRETO 5000 (ASTM C-39)								
1 DIA								
No.	$\varnothing_1$	$\varnothing_2$	$\varnothing_3$	$\varnothing_{medio}$	ÁREA (plg <sup>2</sup> )	CARGA (lb)	RESISTENCIA (PSI)	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )
1	11.03	11.00	11.05	11.03	14.80	8500	574	40.37
2	11.02	10.95	10.90	10.96	14.61	8700	595	41.85
3 DIAS								
1	11.07	11.01	11.10	11.06	14.89	18500	1242	87.34
2	10.75	10.80	10.76	10.77	14.12	19400	1374	96.59
7 DIAS								
1	10.52	10.78	11.03	10.78	14.14	22600	1599	112.39
2	10.92	10.92	10.94	10.93	14.53	21900	1507	105.94
28 DIAS								
1	10.82	10.76	10.9	10.83	14.27	41000	2873	202.01
2	10.82	10.75	10.72	10.76	14.10	37000	2624	184.45

MODULO DE RUPTURA					
CONCRETO 4000			CONCRETO 5000		
7 DIAS					
No.	Carga (kg)	Modulo de Ruptura (kg/cm <sup>2</sup> )	No.	Carga (kg)	Modulo de Ruptura (kg/cm <sup>2</sup> )
1	1140	26.0	1	1380	31.4
28 DIAS					
2	1675	38.1	2	2000	45.5

Atentamente:

  
Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol  
Jefa Sección Áglomerantes y Morteros

  
Vo. Bo. Ing. Oswaldo Romeo Escobar Álvarez  
Director Centro de Investigaciones de Ingeniería

