

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS  
CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON  
ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

**ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS  
CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS  
CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.**

**HAROLD CASTELLÓN CORRALES**

**KAREN DE LA OSSA ARIAS**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

**GRUPO GEOMAT**



**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
CARTAGENA DE INDIAS**

**2013**

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS  
CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON  
ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

**ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS  
CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III,  
MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.**

**HAROLD CASTELLÓN CORRALES**

**KAREN DE LA OSSA ARIAS**

**Proyecto de Grado presentado como requisito para optar al  
Título de Ingeniero Civil**



**Director:**

**MODESTO BARRIOS FONTALVO**

**Ingeniero Civil**

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
CARTAGENA DE INDIAS**

**2013**

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS  
CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON  
ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

Cartagena, 28 de Noviembre de 2013.

Comité  
INVESTIGACIÓN Y PROYECTO DE GRADO  
E. S. D.

Cordial saludo.

Muy respetuosamente me remito a ustedes con el objetivo de presentar el Trabajo de Grado titulado: “**ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES**” elaborado por los estudiantes: HAROLD CASTELLÓN CORRALES y KAREN DE LA OSSA ARIAS, a quienes he dirigido durante todo el estudio para la aprobación, corrección y evaluación por parte del presente comité.

Atentamente,

**MODESTO BARRIOS FONTALVO**  
Docente del Programa de Ingeniería Civil

**ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.**

Cartagena, 28 de Noviembre de 2013

Comité

**INVESTIGACIÓN Y PROYECTO DE GRADO**

E. S. D.

Cordial saludo.

Muy respetuosamente pedimos a este comité la aprobación, corrección y evaluación de nuestro proyecto de Trabajo de Grado titulado **“ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES”**.

Esperamos su pronta respuesta.

Atentamente,

**HAROLD CASTELLÓN CORRALES**

Código: 0210110033

**KAREN DE LA OSSA ARIAS**

Código: 0210310016

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS  
CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON  
ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Firma del jurado**

**ING.ALVARO COVO**

---

**Firma del jurado**

**ING.ARNOLDO BERROCAL OLAVE**

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

**DEDICATORIA**

*“Seguir Creyendo Que Hay Un Dios  
Que Me Endereza De Un Tirón La Puntería  
Siempre Voy Detrás De Lo Que Siento Cada Tanto Muero Y Aquí Estoy...  
Tantos Desiertos Que Crucé  
Tantos Atajos Esquivé  
Tantas Batallas Que Pintaron Mis Heridas  
Tantos Incendios Provoqué ,Tantos Fracasos Me Probé  
Que No Me Explico Cómo Ando Todavía  
Tantos Festejos Resigné ,Tantos Amigos Extrañé  
Tantos Domingos Muy Lejos De Mi Familia  
Tantas Almohadas Conocí ,Tantas Canciones Me Aprendí  
Que Los Recuerdos Me Parecen De Otras Vidas  
Tantas Palizas Esquivé ,Tantas Traiciones Me Compré  
Tantos Enojos Me Hicieron Mostrar Los Dientes  
Con Mil Abrazos Me Cuidé, Con Mil Amores Me Curé  
Juntando Heridas Sigo Creyendo En La Gente  
Siempre Voy Detrás De Lo Que Siento  
Cada Tanto Muero.....Pero Hoy No.  
Por Esos Días Por Venir  
Por Este Brindis Para Mí  
Por Regalarle A La Intuición El Alma Mía  
Porque Los Días Se Nos Van  
Quiero seguir Hasta El Final  
POR OTRO DIA COMO ESTE DOY MI VIDA...”*

*A Mis Padres, Hermanas Y Todas Aquellas Personas Que De Una U  
Otra Forma Me Acompañaron En El Proceso. Hoy empiezo A Creer  
En La Posibilidad De Lo Imposible.*

**KARENA DE LA OSSA ARIAS**

# ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

## RESUMEN

Este proyecto de investigación se realizó con el fin de comparar la resistencia a la compresión de los concretos elaborados con cementos tipo I y tipo III, permitiendo establecer su comportamiento al modificarlos con aditivos acelerantes y retardantes, para lograr una mezcla de concreto de 4000 psi.

Para dicho fin, primero se reunieron los materiales a utilizar, entre ellos los agregados, cementos, y aditivos, se realizó el diseño de mezcla, se les hicieron los ensayos a los agregados siguiendo las normas NTC 176 para agregados Gruesos y NTC 236 para agregados finos, se siguió con la elaboración de las mezclas, haciendo las pruebas de asentamiento al concreto tal como lo explica la norma NTC 396, luego se le realizó el ensayo de resistencia a la compresión a los diferentes concretos elaborados, y comparamos los resultados por medio de la norma NSR 10 con los esperados.

Los resultados mostraron que los aditivos tuvieron un comportamiento en la elaboración de la mezcla y en la resistencia a la edad de 28 días. En donde el retardante reductor de agua, en cuanto a la resistencia a la compresión del concreto es inversamente proporcional a la relación agua–cemento del mismo.

En la mezcla de concreto con cemento Tipo I, sin/con aditivos presentó una resistencia a la compresión decreciente, esto pudo ser a que la relación agua – cemento no fue óptima para este diseño.

En la mezcla de concreto elaborada con cemento Tipo III, con o sin aditivos se presentó una resistencia a la compresión creciente, esto pudo ser debido a que las partículas del cemento Tipo III, retienen mejor el agua al tener mejor superficie de hidratación, los tiempos de fraguado son menores, lo cual traduce un incremento en el desarrollo de la resistencia a la compresión a edad temprana.

## ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

La dosificación de los aditivos debe hacerse siguiendo las instrucciones de los fabricantes, pues utilizados en cantidades menores o mayores a las recomendadas no producen los efectos deseados sobre la resistencia del concreto.

# ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

## ABSTRACT

This research project was conducted in order to compare the compressive strength of concrete made with cement type I and type III, thus allowing for its behavior to modify accelerators and retarding additives to achieve a concrete mix of 4000 psi. To this end, first gathered the materials used, including aggregates, cement, and additives, we performed the mix design trials were asked to follow the rules added to NTC 176 and NTC 236 Coarse aggregate for aggregates fines, followed by the preparation of blends, making the concrete settling tests as explained the NTC 396, then underwent testing compressive strength concrete made to different, and compared the results through of NSR 10 with those expected.

The results showed that behaved additives in the preparation of the mixture and the strength at age 28 days. Where in the water reducing retardant, in terms of compressive strength of concrete is inversely proportional to the water-cement ratio thereof. When mixing concrete with Type I cement with / without additives presented a decreasing compressive strength, this might be to the water - cement ratio was not optimal for this design.

In the concrete mix with cement Type III, with / without additives provided an increased compressive strength, this might be the particles of cement Type III , better retain water to have better surface hydration, the setting times are smaller, which translates to an increase in compressive strength.

The dosage of the additives must be done following the manufacturer's instructions , as used in smaller or larger amounts than recommended not produce the desired effects on concrete strength .

## ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

### GLOSARIO

**Acelerante:** Son componentes de naturaleza orgánica o inorgánica, cuya inclusión tiene como objeto modificar las propiedades físicas de los materiales conglomerados en estado fresco

**Aditivos:** Son componentes de naturaleza orgánica o inorgánica, cuya inclusión tiene como objeto modificar las propiedades físicas de los materiales conglomerados en estado fresco

**Aditivo acelerador de fraguado:** Aditivo que reduce el tiempo de transición de la mezcla para pasar del estado plástico al rígido

**Aditivo retardador de fraguado:** Aditivo que aumenta el tiempo del principio de transición de la mezcla para pasar del estado plástico al estado rígido

**Agregado fino:** se define como aquel que pasa el tamiz 3/8" y queda retenido en la malla N° 200, el más usual es la arena producto resultante de la desintegración de las rocas

**Agregado grueso:** es aquel que queda retenido en el tamiz N°4 y proviene de la desintegración de las rocas; puede a su vez clasificarse en piedra chancada y grava

**Cemento:** Se denomina cemento a un conglomerante formado a partir de una mezcla de caliza y arcilla calcinadas y posteriormente molidas, que tiene la propiedad de endurecer al contacto con el agua.

**Cemento Portland:** Cemento hidráulico producido con Clinker Portland y yeso natural. Se comercializa en cinco tipos diferentes.

**Concreto:** Es una mezcla de cemento como un medio aglutinador, agregados finos (arenas), agregados gruesos (gravas) y agua.

**Curado:** Tratamiento que se da al concreto recién colado, para asegurar la disponibilidad permanente de agua que permita el progreso de las reacciones químicas

## ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

entre el cemento y el agua. Este importante proceso, nos permite obtener buena durabilidad en el concreto.

**Diseño de Mezcla:** proceso de selección de los ingredientes más adecuados y de la combinación más conveniente, con la finalidad de obtener un producto que en el estado no endurecido tenga la trabajabilidad y consistencia adecuadas y que endurecido cumpla con los requisitos establecidos por el diseñador indicados en los planos y/o las especificaciones de la obra

**Dosificación del concreto:** Proceso que consiste en pesar o medir volumétricamente los ingredientes del concreto: (arena, grava, cemento y agua), e introducirlos al mezclador.

**Esfuerzo:** Magnitud de fuerzas internas por unidad de área producidas por cargas externas. Cuando las fuerzas son paralelas al plano, el esfuerzo es llamado esfuerzo cortante. Cuando las fuerzas son normales al plano, el esfuerzo es llamado normal. Cuando el esfuerzo normal está dirigido hacia la parte en que actúa, es llamado esfuerzo de compresión. Cuando está dirigido hacia afuera de la parte en que actúa, es llamado esfuerzo de tensión.

**Fraguado:** Es el proceso de endurecimiento y pérdida de plasticidad del hormigón (o mortero de cemento), producido por la desecación y recristalización de los hidróxidos metálicos —procedentes de la reacción química del agua de amasado— con los óxidos metálicos presentes en el clínker que compone el cemento

**Granulometría:** Es la distribución por tamaños de las partículas de los agregados, generalmente expresado en porcentaje.

**Resistencia a la compresión:** se puede definir como la máxima resistencia medida de un espécimen de concreto o de mortero a carga axial. Generalmente se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado (Kg/cm<sup>2</sup>) a una edad de 28 días se le designe con el símbolo  $f'c$ .

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS  
CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON  
ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

CONTENIDO

|  |    |
|--|----|
| 4. OBJETIVOS Y ALCANCE.....                            | 23 |
| 4.1 OBJETIVO GENERAL .....                             | 23 |
| 4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                        | 23 |
| 4.3 ALCANCE .....                                      | 24 |
| 4.3.1 Delimitación Geográfica.....                     | 24 |
| 4.3.2 Delimitación Temporal. ....                      | 24 |
| 4.3.3 Delimitación Técnica.....                        | 24 |
| 5. MARCO TEÓRICO .....                                 | 25 |
| 5.1 EL CEMENTO .....                                   | 25 |
| 5.1.1 Definición .....                                 | 25 |
| 5.1.2 Composición química del cemento .....            | 25 |
| 5.1.3 Tipos de cemento. ....                           | 25 |
| 5.1.4 Propiedades físicas y mecánicas del cemento..... | 29 |
| 5.1.5 Otros tipos de cementos hidráulicos .....        | 31 |
| 5.1.6 Agua .....                                       | 32 |
| 5.1.6.1 Agua de mezclado.....                          | 32 |
| 5.1.6.2 Agua de curado.....                            | 33 |
| 5.1.6.3 Fraguado .....                                 | 33 |
| 5.1.7 Resistencia mecánica del cemento.....            | 34 |
| 5.2 LOS AGREGADOS .....                                | 35 |
| 5.2.1 Definición .....                                 | 35 |
| 5.2.2 Clasificación .....                              | 36 |
| 5.2.3 Proceso Origen Roca-suelo.....                   | 37 |
| 5.2.4 Propiedades físicas de los agregados .....       | 37 |
| 5.2.5 Propiedades mecánicas de los agregados .....     | 41 |
| 5.3 EL CONCRETO.....                                   | 42 |

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 5.3.1 | Concreto hidráulico .....                          | 42 |
| 5.3.2 | Composición del concreto .....                     | 42 |
| 5.3.3 | Propiedades del concreto fresco .....              | 43 |
| 5.3.4 | Diseño de mezcla .....                             | 46 |
| 5.3.5 | Concreto endurecido .....                          | 47 |
| 5.4   | ADITIVOS .....                                     | 51 |
| 5.4.1 | Aditivo acelerante.....                            | 52 |
| 5.4.2 | Aditivo retardante .....                           | 53 |
| 6.    | METODOLOGÍA .....                                  | 54 |
| 6.1   | RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN .....                | 54 |
| 6.2   | RECOLECCIÓN DE LOS MATERIALES DE LA MUESTRA .....  | 54 |
| 6.3   | ENSAYOS DE LABORATORIO SOBRE EL CEMENTO.....       | 55 |
| 6.3.1 | Finura del cemento.....                            | 55 |
| 6.3.2 | Peso específico.....                               | 56 |
| 6.3.3 | Consistencia normal. ....                          | 57 |
| 6.3.4 | Tiempo de fraguado.....                            | 58 |
| 6.4   | CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS .....                 | 59 |
| 6.4.1 | Granulometría.....                                 | 60 |
| 6.4.2 | Peso específico.....                               | 61 |
| 6.4.3 | Peso unitario.....                                 | 62 |
| 6.5   | DISEÑO DE MEZCLA.....                              | 63 |
| 6.6   | ELABORACIÓN DE MEZCLAS, VACIADO DE CILINDROS ..... | 64 |
| 7.    | RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....          | 71 |
| 7.1   | ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO .....       | 71 |
| 7.1.1 | Finura Del cemento.....                            | 71 |
| 7.1.2 | Peso específico del cemento. ....                  | 72 |
| 7.1.3 | Consistencia normal. ....                          | 73 |
| 7.1.4 | Tiempo de fraguado.....                            | 74 |

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS  
CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON  
ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

|  |     |
|--|-----|
| 7.2 PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS .....                       | 75  |
| 7.2.1 Pesos unitarios.....                                   | 75  |
| 7.2.2 Peso específico y absorción (I. N. V. E. – 223). ..... | 76  |
| 7.3 DISEÑO DE MEZCLA.....                                    | 77  |
| 7.4 ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....              | 78  |
| 8. CONCLUSIONES .....  | 101 |
| 9. BIBLIOGRAFÍA .....  | 105 |

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla N° 1.</b> Valores típicos de los compuestos de los diferentes tipos de cemento<br>Pórtland.....                  | 3  |
| <b>Tabla N° 2.</b> Granulometría de los agregados.....  | 32 |
| <b>Tabla N° 3.</b> Ensayos de finura del cemento.....   | 67 |
| <b>Tabla N° 4.</b> Ensayo Peso específico del cemento.....  | 68 |
| <b>Tabla N° 5.</b> Ensayo Consistencia normal del cemento.....  | 69 |
| <b>Tabla N° 6.</b> Ensayo Tiempo de fraguado.....   | 71 |
| <b>Tabla N° 7.</b> Resistencia obtenida para cilindros de 4000 Psi a los 7 días, Tipo I,<br>Sin aditivos.....             | 75 |
| <b>Tabla N° 8.</b> Resistencia obtenida para cilindros de 4000 Psi a los 14 días, Tipo<br>I, sin...Aditivos.....          | 75 |
| <b>Tabla N° 9.</b> Resistencia obtenida para cilindros de 4000 Psi a los 28 días, Tipo<br>I, sin aditivos.....            | 76 |
| <b>Tabla N° 10.</b> Resistencia obtenida para cilindros de 4000 Psi a los 7 días, Tipo<br>I, con aditivo retardante.....  | 76 |
| <b>Tabla N° 11.</b> Resistencia obtenida para cilindros de 4000 Psi a los 14 días, Tipo I, con<br>aditivo retardante..... | 76 |
| <b>Tabla N° 12.</b> Resistencia obtenida para cilindros de 4000 Psi a los 28 días, Tipo I, con<br>aditivo retardante..... | 77 |
| <b>Tabla N° 13.</b> Resistencia obtenida para cilindros de 4000 Psi a los 7 días, Tipo I, con<br>aditivo acelerante.....  | 77 |
| <b>Tabla N° 14.</b> Resistencia obtenida para cilindros de 4000 Psi a los 14 días, Tipo I, con<br>aditivo acelerante..... | 77 |
| <b>Tabla N° 15.</b> Resistencia obtenida para cilindros de 4000 Psi a los 28 días, Tipo I, con<br>aditivo acelerante..... | 78 |
| <b>Tabla N° 16.</b> Resistencia obtenida para cilindros de 4000 Psi a los 7 días, Tipo III, sin<br>aditivos.....          | 78 |

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla N° 17.</b> Resistencia obtenida para cilindros de 4000 Psi a los 14 días, Tipo III, sin aditivos.....  | 78 |
| <b>Tabla N° 18.</b> Resistencia obtenida para cilindros de 4000 Psi a los 28 días, Tipo III, sin aditivos.....  | 79 |
| <b>Tabla N° 19.</b> Resistencia obtenida para cilindros de 4000 Psi a los 7 días, Tipo III, con aditivo retardante.....                                       | 79 |
| <b>Tabla N° 20.</b> Resistencia obtenida para cilindros de 4000 Psi a los 14 días, Tipo III, con aditivo retardante.....                                      | 79 |
| <b>Tabla N° 21.</b> Resistencia obtenida para cilindros de 4000 Psi a los 28 días, Tipo III, con aditivo retardante.....                                      | 80 |
| <b>Tabla N° 22.</b> Resistencia obtenida para cilindros de 4000 Psi a los 7 días, Tipo III, con aditivo acelerante.....                                       | 80 |
| <b>Tabla N° 23.</b> Resistencia obtenida para cilindros de 4000 Psi a los 14 días, Tipo III, con aditivo acelerante.....                                      | 80 |
| <b>Tabla N° 24.</b> Resistencia obtenida para cilindros de 4000 Psi a los 28 días, Tipo III, con aditivo acelerante.....                                      | 81 |
| <b>Tabla N° 25.</b> Resistencias obtenidas para concreto de 4000 Psi (Tipo I, sin aditivos) en relación a la resistencia de diseño esperada.....              | 81 |
| <b>Tabla N° 26.</b> Resistencias obtenidas para cilindros de 4000 Psi (Tipo I, con aditivo retardante) en relación a la resistencia de diseño esperada.....   | 82 |
| <b>Tabla N° 27.</b> Resistencias obtenidas para cilindros de 4000 Psi (Tipo I, con aditivo acelerante) en relación a la resistencia de diseño esperada.....   | 83 |
| <b>Tabla N° 28.</b> Resistencias obtenidas para cilindros de 4000 Psi (Tipo III, sin aditivos) en relación a la resistencia de diseño esperada.....           | 84 |
| <b>Tabla N° 29.</b> Resistencias obtenidas para cilindros de 4000 Psi (Tipo III, con aditivo retardante) en relación a la resistencia de diseño esperada..... | 85 |
| <b>Tabla N° 30.</b> Resistencias obtenidas para cilindros de 4000 Psi (Tipo III, con aditivo acelerante) en relación a la resistencia de diseño esperada..... | 86 |
| <b>Tabla N° 31.</b> Resistencias obtenidas para concreto de 4000 Psi (Tipos I y III, sin aditivos) en relación a la resistencia de diseño esperada... ..      | 87 |

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla N° 32.</b> Resistencias obtenidas para concreto de 4000 Psi (Tipo I, sin aditivos y Tipo III, con aditivo retardante) en relación a la resistencia de diseño esperada.....           | 88 |
| <b>Tabla N° 33.</b> Resistencias obtenidas para concreto de 4000 Psi (Tipo I, sin aditivos y Tipo III, con aditivo acelerante) en relación a la resistencia de diseño esperada.....           | 89 |
| <b>Tabla N° 34.</b> Resistencias obtenidas para concreto de 4000 Psi (Tipo I, con aditivo retardante y Tipo III, sin aditivos) en relación a la resistencia de diseño esperada.....           | 90 |
| <b>Tabla N° 35.</b> Resistencias obtenidas para concreto de 4000 Psi (Tipos I y III, con aditivo retardante) en relación a la resistencia de diseño esperada.....                             | 91 |
| <b>Tabla N° 36.</b> Resistencias obtenidas para concreto de 4000 Psi (Tipo I, con aditivo retardante y Tipo III, con aditivo acelerante) en relación a la resistencia de diseño esperada..... | 92 |
| <b>Tabla N° 37.</b> Resistencias obtenidas para concreto de 4000 Psi (Tipo I, con aditivo acelerante y Tipo III, sin aditivos) en relación a la resistencia de diseño esperada.....           | 93 |
| <b>Tabla N° 38.</b> Resistencias obtenidas para concreto de 4000 Psi (Tipo I, con aditivo acelerante y Tipo III, con aditivo retardante) en relación a la resistencia de diseño esperada..... | 94 |
| <b>Tabla N° 39.</b> Resistencias obtenidas para concreto de 4000 Psi (Tipos I y III, con aditivo acelerante) en relación a la resistencia de diseño esperada.....                             | 95 |

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

**ÍNDICE DE GRÁFICAS**

|  |    |
|--|----|
| <b>Gráfica 1.</b> Resistencia Vs. Tiempo, en cilindros de 4000 Psi, Tipo I, sin aditivos.....  | 82 |
| <b>Gráfica 2.</b> Resistencia Vs. Tiempo, en cilindros de 4000 Psi, Tipo I, con aditivo retardante.....                                      | 83 |
| <b>Gráfica 3.</b> Resistencia Vs. Tiempo, en cilindros de 4000 Psi, Tipo I, con aditivo acelerante.....                                      | 84 |
| <b>Gráfica 4.</b> Resistencia Vs. Tiempo, en cilindros de 4000 Psi, Tipo III, sin aditivos....   | 85 |
| <b>Gráfica 5.</b> Resistencia Vs. Tiempo, en cilindros de 4000 Psi, Tipo III, con aditivo retardante.....                                    | 86 |
| <b>Gráfica 6.</b> Resistencia Vs. Tiempo, en cilindros de 4000 Psi, Tipo I, con aditivo acelerante.....                                      | 87 |
| <b>Gráfica 7.</b> Resistencia Vs. Tiempo, en cilindros de 4000 Psi, Tipos I y III, sin aditivos.....   | 88 |
| <b>Gráfica 8.</b> Resistencia Vs. Tiempo, en cilindros de 4000 Psi, Tipo I, sin aditivos y Tipo III, con aditivo retardante.....             | 89 |
| <b>Gráfica 9.</b> Resistencia Vs. Tiempo, en cilindros de 4000 Psi, Tipo I, sin aditivos y Tipo III, con aditivo acelerante.....             | 90 |
| <b>Gráfica 10.</b> Resistencia Vs. Tiempo, en cilindros de 4000 Psi, Tipo I, con aditivo retardante y Tipo III, sin aditivos.....            | 91 |
| <b>Gráfica 11.</b> Resistencia Vs. Tiempo, en cilindros de 4000 Psi, Tipos I y III, con aditivo retardante.....                              | 92 |
| <b>Gráfica 12.</b> Resistencia Vs. Tiempo, en cilindros de 4000 Psi, Tipo I, con aditivo retardante y Tipo III, con aditivo acelerante.....  | 93 |
| <b>Gráfica 13.</b> Resistencia Vs. Tiempo, en cilindros de 4000 Psi, Tipo I, con aditivo acelerante y Tipo III, sin aditivos.....            | 94 |
| <b>Gráfica 14.</b> Resistencia Vs. Tiempo, en cilindros de 4000 Psi, Tipo I, con aditivo acelerante y Tipo III, con aditivo retardante ..... | 95 |
| <b>Gráfica 15.</b> Resistencia Vs. Tiempo, en cilindros de 4000 Psi, Tipos I y III, con aditivo acelerante.....                              | 96 |

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS  
CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON  
ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

**ÍNDICE DE ILUSTRACIONES**

|   |    |
|---|----|
| <b>Ilustración 1.</b> Aparato de Vicat.....                                   | 26 |
| <b>Ilustración 2.</b> Preparación de la mezcla.....                           | 61 |
| <b>Ilustración 2.1</b> Preparación de la mezcla: retardante y acelerante..... | 61 |
| <b>Ilustración 3.</b> Ensayo de asentamiento.....                             | 63 |
| <b>Ilustración 4.</b> Vaciado de cilindros.....                               | 64 |
| <b>Ilustración 5.</b> Desencofrado.....                                       | 64 |
| <b>Ilustración 6.</b> Ensayos a compresión.....                               | 65 |
| <b>Ilustración 6.1</b> Ensayo a compresión a los 7 días.....                  | 65 |
| <b>Ilustración 6.2</b> Ensayo a compresión a los 14 días.....                 | 65 |
| <b>Ilustración 6.3</b> Ensayo a compresión a los 28 días.....                 | 66 |
| <b>Ilustración 7.</b> Tipos de fallas.....                                    | 99 |

# ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

## INTRODUCCIÓN

El concreto es el material de construcción más utilizado en obras y por tanto se hace indispensable conocer sus diferentes propiedades mecánicas: resistencia a la compresión, tracción, flexión y corte.

Se considera un material pétreo, durable y resistente; pero, dado que se trabaja en su forma fluida o plástica, puede adquirir prácticamente cualquier forma. Esta combinación de características es la razón principal por la que es un material de construcción tan popular, empleado para todo tipo de construcciones. La resistencia del concreto depende de la calidad y proporción de los materiales que lo componen, de la calidad de la mano de obra y de los cuidados posteriores al vaciado.

El cemento es un insumo primordial para el desarrollo y crecimiento de un país. Su participación en el sector de la construcción es el más determinante, y este es uno de los sectores con mayor importancia en el producto interno bruto del mismo. La característica más relevante en la medición de la calidad del concreto es su resistencia a la compresión. Por lo tanto es trascendental conocer como varía esta resistencia con relación a la variación de sus componentes, en especial con respecto al tipo de cemento utilizado para su elaboración

A nivel local se han llevado a cabo varios estudios en la Universidad de Cartagena: Un estudio para analizar la influencia de la disminución de las partículas en suspensión del agua del río Magdalena sobre la resistencia de mezclas de concreto de 3000 psi y 4000 psi 1; Un análisis de la influencia del agua del río Magdalena como agua de mezclado en las propiedades del concreto de 3000 psi y 4000 psi. ; Un estudio para comparar las propiedades físicas de concretos elaborados con los diferentes cementos Pórtland tipo I y agregados normalizados fabricados en Colombia.

## ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

Sin embargo, en años recientes No se han realizado estudios con respecto a la variación de la resistencia a la compresión del concreto en relación con los diferentes tipos de cementos utilizados para su elaboración.

Es de gran importancia para todos los profesionales que están relacionados con el ámbito de la construcción contar con la suficiente información acerca de los cementos con los cuales trabaja, esto debido a que el cemento representa el elemento activo dentro de la mezcla de concreto o mortero y cualquier variación en sus características repercutiría en las propiedades de éstos.

Colombia es un país con una variedad de climas, por ende el proceso constructivo en cada parte del país es diferente; muchas veces, como es el caso donde hay climas fríos se necesitará de un fraguado más rápido, otros casos será para la fabricación de elementos prefabricados, pos tensados o pretensados; también para la fabricación de tubos. Y en otras ocasiones se necesitará un fraguado más lento, ya sea porque el clima es cálido o porque se necesita transportar el concreto a una larga distancia, y con su utilización se podrían obtener ciertas propiedades de manera más efectiva que por otros medios, mencionando también la capacidad de superar ciertas emergencias durante las operaciones de mezclado, transporte, colocación y curado.

Los aditivos, a diferencia del cemento, los agregados y el agua, no son componentes esenciales de la mezcla de concreto, pero son importantes y su uso se extiende cada vez más por el aporte que hacen a la economía de la mezcla; y la necesidad de modificar las características del concreto de tal forma que éstas se adapten a las condiciones de la obra y a los requerimientos del constructor.

El presente proyecto estuvo dirigido al estudio de la resistencia a la compresión de los concretos elaborados con cemento Portland Tipo I y Tipo III, analizando las curvas de edad Vs. resistencia para cada tipo de cemento, que es de manera ostensible útil y

## ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

necesaria para los constructores, teniendo en cuenta que este tipo de información se maneja de una manera muy empírica en nuestra ciudad.

De este modo se pudo observar como conclusión más relevante que en la mezcla de concreto elaborada con cemento Tipo III, con o sin aditivos muestra una resistencia a la compresión de tipo creciente, esto pudo ser debido a que las partículas del cemento Tipo III, retienen mejor el agua al tener mejor superficie de hidratación, entonces los tiempos de fraguado serán menores, lo cual se traduce en un incremento en la resistencia a la compresión.

Teniendo en cuenta la relación agua/cemento, ésta fue óptima para el diseño de 4000psi, ya que se utilizó la misma relación para las tres muestras de concreto, es decir, sin aditivos, con aditivo retardante y con aditivo acelerante y se obtuvieron buenos resultados.

# ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

## 4. OBJETIVOS Y ALCANCE

### 4.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar los efectos que tienen los aditivos como acelerante y retardante en las resistencias a la compresión iniciales y finales en concretos de 4000 psi elaborados con cemento tipos I y III, utilizando grava de ½” y arena natural.

### 4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar los agregados. Grueso: Triturado Calizo Cimaco T. M. ½”; Fino: Arena media de rutinet natural para hormigón.
- Comparar la resistencia a la compresión de los concretos elaborados con los tipos de cementos I y III; con y sin aditivos (acelerante y retardante) de acuerdo con la norma NTC 550 y 673, a los 7, 14, y 28 días, utilizando triturado de ½” obtenido de la cantera Cimaco y arena natural.
- Comparar la resistencia a la compresión de los concretos elaborados con cemento tipo I y aditivo acelerante y cemento tipo III sin ningún aditivo.
- Comparar la resistencia a la compresión de los concretos elaborados con cemento tipo I sin ningún aditivo y cemento tipo III con aditivo retardante a los 7, 14, y 28 días.
- Comparar la resistencia a la compresión de los concretos elaborados con cemento tipo I con aditivo retardante y cemento tipo III con aditivo acelerante.
- Comparar la manera como varía la resistencia a la compresión del concreto en relación con los tipos de cementos I y III; con y sin aditivos utilizados a los 7, 14, y 28 días de duración.
- Determinar el porcentaje de variación en la resistencia a la compresión del concreto elaborado con los tipos de cemento I y III; con y sin aditivos a los 7, 14, y 28 días de duración.

# ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

## 4.3 ALCANCE

**4.3.1 Delimitación Geográfica.** El área de estudio de este proyecto se enmarcó en la ciudad de Cartagena de Indias, en la cual se destaca el uso de materiales con una gran variedad de fuentes de materias primas; para el presente estudio se tomaron agregados extraídos de las cercanías de la ciudad y cemento de las plantas de concreto de las empresas fabricantes: Cementos Argos S. A. y Cemex Colombia S. A.

**4.3.2 Delimitación Temporal.** Este proyecto fue realizado en aproximadamente ocho semanas, empezando a comienzos del mes de Agosto de 2013, abarcando todo el mes de septiembre y terminando a inicios del mes de octubre de 2013. Aunque las investigaciones podrían ser más profundas y extensas, ultimando detalles en cada uno de los componentes del proyecto, a los autores les correspondió seleccionar solo aquellos datos más relevantes que le permitieron plasmar un documento compacto con la información más útil y conveniente.

**4.3.3 Delimitación Técnica.** Las limitaciones técnicas estuvieron directamente vinculadas al área de estudio, en este caso la ciudad de Cartagena, dado que ningún medio es igual a otro, entonces los procedimientos, técnicas, disponibilidad de recursos y herramientas para llevar a cabo los objetivos o metas trazadas del proyecto cambian para cada sitio. De esta manera se trabajó con especificaciones técnicas y parámetros que se tratan de aplicar al estudio local, las cuales dependen de:

- ❖ La disponibilidad de los materiales de construcción, así como las materias primas extraídas de la naturaleza del lugar.
- ❖ Las condiciones climáticas que varían según temperatura, humedad, presión, vientos y precipitaciones del sitio.
- ❖ La tecnología y mano de obra competente para llevar a cabo el estudio.

## 5. MARCO TEÓRICO

### 5.1 EL CEMENTO

**5.1.1 Definición.** En general la palabra cemento, indica un material aglomerante que tiene propiedades de adherencia y cohesión, las cuales le permiten unir fragmentos minerales entre sí, para formar un todo compacto con resistencia y durabilidad adecuadas.

En el medio de la construcción y más específicamente en el de la fabricación de concreto para estructuras, es reconocido que al mencionar la palabra cemento, implícitamente, ésta se refiere a cemento Portland. El cemento Portland es un cemento hidráulico, producido de materiales calcáreos seleccionados, pulverizados y mezclados. Esta mezcla se calcina a 1350°C y da como resultado un Clinker, el cual se muele y se le adiciona yeso para regular el fraguado.

**5.1.2 Composición química del cemento.** El cemento está constituido por una serie de compuestos que contribuyen favorablemente en las misiones fundamentales que desempeñan y componentes secundarios que se deben limitar, por los efectos contraproducentes que puedan ejercer sobre la mezcla. Los componentes fundamentales se muestran en la tabla 1.

**5.1.3 Tipos de cemento.** Al cambiar las propiedades químicas y físico-mecánicas del cemento portland, se obtienen características diferentes cuando se hidrata, dando lugar a diferentes tipos de cementos.

## ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

### **TIPO I:**

Cemento para usos generales, como lo son puentes, pavimentos, pisos y estructuras de concreto reforzado, tanques, depósitos, tuberías, mampostería; es el que más se emplea para fines estructurales cuando no se requieren las propiedades especiales especificadas para los otros cuatro tipos de cemento.

Tipo 1-M: Uso general y tiene mayor resistencia que el tipo 1.

Tipo 1-M-A: Mayor resistencia que el anterior y tiene inclusiones de aire.

### **TIPO II:**

Cemento modificado para usos generales y se emplea cuando se prevé una exposición moderada al ataque por sulfatos o cuando se requiere un moderado calor de hidratación; se usa para muros de contención y pilas de gran masa. Estas características se logran al imponer limitaciones en el contenido de  $C_3A$  y  $C_3S$  del cemento. El cemento tipo II adquiere resistencia con más lentitud que el tipo I; pero al final de cuentas, alcanza la misma resistencia.

Adecuado para obras de volumen considerable como muros de contención.

Tipo 2-A: Con materiales incorporados de aire.

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

**Tabla N° 1.** Valores típicos de los compuestos de los diferentes tipos de cemento Pórtland

| Cemento  | Composición química en %                |  |  |  |
|----------|---|--|--|--|
|          | C <sub>3</sub> S<br>Silicato tricálcico | C <sub>2</sub> S<br>Silicato dicálcico | C <sub>3</sub> A<br>Aluminato tricálcico | C <sub>4</sub> AF<br>Ferroaluminato tetracálcico |
| Tipo I   | 48                                      | 25                                     | 12                                       | 8  |
| Tipo II  | 40                                      | 35                                     | 5  | 13   |
| Tipo III | 62                                      | 13                                     | 9  | 8  |
| Tipo IV  | 25                                      | 50                                     | 5  | 12   |
| Tipo V   | 38                                      | 37                                     | 4  | 9  |

**Fuente:** Libro Tecnología del concreto y el Mortero

**TIPO III:**

Cemento de alta resistencia inicial, recomendable cuando se necesita una resistencia temprana en una situación particular de construcción, por ejemplo en toda obra donde las formaleas deben ser rápidamente removidas. El concreto hecho con el cemento tipo III desarrolla una resistencia en 7 días, igual a la desarrollada en 28 días por concretos hecho con cementos tipo I o tipo II. Esta alta resistencia inicial se logra al aumentar el contenido de C<sub>3</sub>S y de C<sub>3</sub>A en el cemento y al molerlo más fino. Las especificaciones no exigen un mínimo de finura: pero se advierte un límite práctico cuando las partículas son tan pequeñas, que una cantidad pequeña de humedad pre-hidratará el cemento durante el almacenamiento y manejo. Dado que el cemento tipo III tiene un gran desprendimiento de calor, no se debe usar en colados masivos. Con un 15% de c<sub>3</sub>A presenta una mala

## ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

resistencia a los sulfatos. El contenido de  $C_3A$  puede limitarse al 8% para obtener una resistencia moderada a los sulfatos o a 5% cuando se requiere alta resistencia.

### **TIPO IV:**

Cemento de bajo calor de hidratación. Se ha desarrollado para usarse en concreto masivo, más que todo en presas y túneles, Si se utiliza cemento tipo I en colados masivos que no puedan perder calor por radiación, el cemento libera suficiente calor durante la hidratación aumentando la temperatura del concreto hasta unos 50° o 60°F. Esto causa un aumento relativamente grande de las dimensiones mientras el concreto está todavía en estado plástico; posteriormente, su enfriamiento diferencial después de endurecer ocasiona que se produzcan grietas por contracción. El bajo calor de hidratación en el cemento tipo IV se logra limitando los compuestos que más influyen en la formación de calor por hidratación, o sea,  $C_3A$  y  $C_3S$ . Dado que estos compuestos también aportan la resistencia inicial de la mezcla de cemento, al limitarlos se tiene una mezcla que gana resistencia con lentitud. El calor de hidratación de cemento tipo IV suele ser de, más o menos, 80% del tipo II, 65% del tipo I y 55% del tipo III después de la primera semana de hidratación. Los porcentajes son un poco mayores después de, más o menos, un año.

### **TIPO V:**

Cemento resistente a sales y sulfatos se especifica cuando hay una exposición intensa a los sulfatos como lo es en muelles, puentes, entre otros. Las aplicaciones típicas comprenden las estructuras hidráulicas expuestas a aguas con alto contenido de álcalis y en estructuras expuestas al agua de mar. La resistencia al sulfato del cemento tipo V se logra minimizando el contenido de  $C_3A$ , pues este compuesto es el más susceptible al ataque por sulfatos.

Las resistencias relativas de los concretos preparados con cada uno de los cinco tipos de cemento se comparan en la tabla, a tres edades diferentes; en cada edad, se han

## ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

normalizado los valores de resistencia por comparación con el concreto de cemento tipo I.

**5.1.4 Propiedades físicas y mecánicas del cemento.**<sup>1</sup> Las propiedades físicas y mecánicas del cemento permiten complementar las propiedades químicas y conocer otros aspectos de su bondad como material cementante. Tales propiedades dependen del estado en que se encuentre (fresco o endurecido) y son medidas a través de ensayos que se pueden clasificar como: ensayos sobre el cemento puro, sobre la pasta de cemento y sobre el mortero. Las propiedades físicas y mecánicas del cemento son:

**Peso específico.** La densidad o peso específico del cemento es la relación existente entre la masa de una cantidad dada y el volumen absoluto de esa masa. Su valor varía muy poco y en un cemento Pórtland normal cuando no hay adiciones distintas al yeso, suele estar comprendida entre 3.10 y 3.15 gr/cm<sup>3</sup>. En el caso de cementos con adiciones, desde luego es menor ya que en el contenido de Clinker por tonelada de cemento es menor y su valor puede estar comprendido entre 3.00 y 3.10 gr/cm<sup>3</sup>, dependiendo del porcentaje de adiciones que tenga el cemento.

$$\text{Densidad} = \text{peso} / \text{volumen}$$

El método más conocido para determinar la densidad del cemento es el de Le Chatelier<sup>2</sup>. Este frasco permite medir el volumen correspondiente a cierta masa de cemento, por medio del desplazamiento de un líquido, que no reacciona con el cemento (generalmente kerosene), aprovechando el conocido principio de Arquímedes.

**Superficie específica (finura).** Como se vio anteriormente una de las últimas etapas del proceso de fabricación del cemento, es la molienda del Clinker con yeso. La finura de molido, es una de las propiedades físicas más importantes del cemento, ya que está íntimamente ligada al valor hidráulico.

---

<sup>1</sup> (Aranda, 2008)

<sup>2</sup> (COLOMBIANA, NORMA TÉCNICA)

## ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

Puesto que la hidratación de los granos de cemento ocurre desde la superficie hacia el interior, el área superficial total de las partículas de cemento constituye el material de hidratación. El tamaño de los granos, o sea la finura del cemento, tiene una gran influencia sobre sus propiedades, especialmente sobre la velocidad de hidratación, desarrollo de calor, retracción y aumento de resistencia con la edad.

Unos de los métodos utilizados es el de la norma de ICONTEC 226, consiste en tamizar una muestra de 50 gr de cemento por un tamiz de 74 micra (No. 200), ó por un tamiz de 149 micra (No.100) y determinar el porcentaje que pasa por el tamiz.

**Consistencia normal.** Como es sabido, el conjunto de cemento, agua y aire se llama pasta. Los cementos Pórtland, pueden diferir entre sí en cuanto al requerimiento de agua y la diferencia es aún mayor en cementos Pórtland con adiciones, los cuales tienen requerimientos de agua más altos que los cementos normales, por su mayor superficie específica.

**ILUSTRACIÓN 1.** Aparato de Vicat:



**Fuente:** Tecnología del Mortero tomo 3

## ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

La cantidad de agua que se le agrega al cemento, le comunica una determinada fluidez, la cual aumenta al incrementarse el contenido de agua. Existe una determinada fluidez para la cual debe agregarse cierta cantidad de agua. Esta fluidez es lo que se llama consistencia normal.

La consistencia normal del cemento<sup>3</sup> se mide por medio del aparato de Vicat. Este ensayo consiste en agregar un volumen conocido de agua a 500 gr de cemento, que se amasan y colocan en un molde troncocónico. Enseguida, se pone la aguja de 10 mm diámetro en contacto con la superficie superior de la pasta y se suelta. Por acción de su propio peso (300gr), la aguja penetra en la pasta y la profundidad de penetración depende de la pasta. Si la penetración es de 10 mm  $\pm$  1mm, después de 30 segundos de haber soltado la aguja, se considera que la pasta tiene consistencia normal.

### 5.1.5 Otros tipos de cementos hidráulicos.

**Cemento pórtland de escoria de alto horno:** Se obtiene mediante la pulverización conjunta de Clinker Pórtland y escoria granulada finalmente molida (15 al 85%), con adición de sulfato de calcio (yeso).

**Cemento Pórtland Puzolánico:** Se obtiene mediante la pulverización conjunta de Clinker Pórtland y puzolana (entre el 15 y el 50%), o de una mezcla íntima y uniforme de cemento portland y puzolana finamente pulverizada, con adición de sulfato de calcio. Las puzolanas según su origen, se clasifican de la siguiente forma: **Naturales**, mantienen carácter puzolánico y pueden ser de origen mineral eruptivo o de origen sedimentario vegetal o animal; **artificiales**, resultan de tratamientos térmicos de activación; **intermedias**, puzolanas naturales que se someten a tratamientos térmicos de ennoblecimiento aproximadamente a 700°C de temperatura, para aumentar su actividad 4 o 5 veces más.

---

<sup>3</sup> (ICONTEC N110)

## ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

El cemento de puzolana ofrece más ventajas que el cemento pórtland, podemos citar: la economía en el costo del conglomerante, mejor trabajabilidad, menor segregación y exudación; menor calor de hidratación y fraguado y por tanto menor riesgo de fisura; mayor valor de la relación tracción/compresión preferiblemente a corto plazo; mayor resistencia en general a largo plazo; menor permeabilidad y mayor durabilidad a ataques por sulfatos y reacciones expansivas.

**Cemento pórtland adicionado:** Es el producto que se obtiene de la pulverización conjunta de Clinker portland y otros materiales arcillosos, calcáreos-sílico-aluminosos, calcinados o no, que poseen propiedades hidráulicas o puzolánicas.

**Cemento de albañilería:** Es el material que se obtiene por la pulverización conjunta de Clinker portland y materiales que carezcan de propiedades hidráulicas o puzolánicas (entre el 15% y 50% en masa, del total) con la adición de sulfato de calcio.

**Cemento aluminoso:** Material que se obtiene por la pulverización de Clinker aluminoso, el cual está constituido en su mayor parte, por aluminato de calcio.

**5.1.6 Agua.** Desde el punto de vista de tecnología del concreto, el agua se puede definir como el componente del concreto que le permite al cemento, experimentar reacciones químicas que le dan la propiedad de fraguar y endurecer para formar un sólido único con los agregados. El agua se puede clasificar como agua de mezclado y agua de curado.

**5.1.6.1 Agua de mezclado.** Es la cantidad de agua por volumen unitario de concreto que requiere el cemento, contenido en ese volumen unitario, para producir una pasta suficientemente hidratada, con una fluidez tal que le permita una lubricación adecuada de los agregados cuando la mezcla se encuentre en estado plástica (agua de diseño de mezcla), en otras palabras es la cantidad de agua necesaria para que los elementos del cemento se hidraten eficientemente.

## ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

En una porción de pasta hidratada, el agua se encuentra en dos formas básicas: agua de hidratación (no evaporable) y agua evaporable.

**5.1.6.2 Agua de curado.** El curado puede definirse como el conjunto de condiciones necesarias para que la hidratación de la pasta evolucione sin interrupción hasta que todo el cemento se hidrate y el concreto alcance sus propiedades potenciales. Estas propiedades se refieren básicamente a la humedad y la temperatura.

El agua de curado constituye el suministro adicional de agua para hidratar eficientemente el cemento y puede ser de la misma agua de mezclado pero, se debe tener en cuenta que no debe contener materia orgánica o ferrosa porque puede causar manchas, especialmente cuando esta fluye sobre el concreto y se evapora lentamente.

**5.1.6.3 Fraguado.** Este término se usa para describir el cambio de estado plástico al estado endurecido de una pasta de cemento.

Aunque durante el fraguado la pasta requiere de alguna resistencia, para efectos prácticos es conveniente distinguir el fraguado del endurecimiento, pues este último se refiere al aumento de resistencia de una pasta de cemento fraguada.

En la práctica, cuando una muestra de cemento se mezcla con cierta cantidad de agua se forma la pasta plástica; esta se va perdiendo a medida que pasa el tiempo, hasta llegar a un momento en que la pasta pierde su viscosidad y se eleva su temperatura; el tiempo transcurrido desde la adición de del agua se llama “tiempo de fraguado inicial”, e indica que el cemento se encuentra parcialmente hidratado y la pasta semidura.

Posteriormente, la pasta sigue endureciendo hasta que deja de ser deformable con cargas relativamente pequeñas, se vuelve rígida y llega al máximo de temperatura; el tiempo así transcurrido desde la mezcla con agua se denomina “tiempo de fraguado final”, el cual

## ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

indica que el cemento se encuentra aún más hidratado (aunque no totalmente) y la pasta ya esta dura. A partir de este momento empieza el proceso de endurecimiento de la pasta y la estructura del cemento fraguado va adquiriendo resistencia mecánica.

Los tiempos de fraguado<sup>4</sup> del cemento se determinan mediante agujas de Gillmore, Y aparato de Vicat.

Para determinar el tiempo de fraguado Se toman muestras de penetración antes y después de que dicho fenómeno ocurra y luego al localizar estos puntos sobre un gráfico, que tenga en las ordenas las penetraciones y en las abscisas los tiempos, se dibuja la línea promedio de los puntos encontrados experimentalmente; el tiempo para el fraguado inicial sale del gráfico, elaborado, para una penetración de 25 mm.

**5.1.7 Resistencia mecánica del cemento.** La resistencia mecánica del cemento endurecido es la propiedad del material que posiblemente resulta más obvia en cuanto a los requisitos para usos estructurales. Por lo tanto, no es sorprendente que las pruebas de resistencia están indicadas en todas las especificaciones del cemento.

La manera más lógica de medir la resistencia mecánica de los cementos es, aparentemente, sobre probetas hechas con pasta ya que si se limita la dispersión que aparece en los resultados cuando se usan probetas de mortero o concreto; sin embargo se ha demostrado en múltiples investigaciones que el comportamiento mecánico de distintos cementos varia al ensayarlos en probetas con agregados (mortero o concreto) y por tanto desde el punto de vista de las aplicaciones del cemento, la determinación de resistencia mecánica sobre probetas de pasta no tiene mayor utilidad.

La resistencia a la compresión se determina mediante cubos de mortero.<sup>5</sup>

---

<sup>4</sup> (ICONTEC 109 Y 118)

<sup>5</sup> (ICONTEC N 220)

## ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

Este ensayo consiste en hacer unos cubos de morteros (mezcla de cemento, arena y agua) mediante unos moldes elaborados con unas medidas especificadas, el cual se colocan en unas cámaras húmedas, que a las 24 horas (o tolerancias de tiempos de 3, 7 y 28 días), son sacados, y se coloca en la máquina para el ensayo, y se toma de resistencia obtenida. Se debe tomar la carga máxima indicada por la máquina de ensayo de la rotura, y se calcula la resistencia a la compresión en  $\text{kg/cm}^2$ .

### 5.2 LOS AGREGADOS

Cuando se requiere contar con un concreto de buena calidad se hace necesario tener conocimiento de los componentes del mismo, puesto que hay características que dependen de las propiedades físicas y químicas de ellos como lo es la resistencia y la durabilidad.

Es de anotar que si bien el esfuerzo del cemento lo determinan las características del Mortero (mezcla de cemento, arena y agua) los agregados con diferentes Características producen resistencias distintas.

**5.2.1 Definición.** Son materiales inertes, de forma granular estable y propiedades físicas permanentes, que pueden ser naturales o artificiales, que aglomerados por el cemento portland en presencia del agua conforman un todo compacto (piedra artificial) conocido como concreto u hormigón. Se denominan *inertes* porque no reaccionan de forma deformable con otros constituyentes del concreto en el especial el cemento. Los agregados para concreto, son todos aquellos materiales que teniendo una resistencia propia suficiente, no perturban ni afectan las propiedades y características del concreto y garantizan una adherencia suficiente con la pasta endurecida de cemento portland; son muy importante los agregados para concreto porque ocupan entre el 70 y 80% del volumen de la mezcla.

## ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

De esta manera los agregados pueden ser considerados como un componente crítico en el concreto cuyo comportamiento genera un efecto significativo en el comportamiento de las estructuras<sup>6</sup>.

**5.2.2 Clasificación.** Los agregados para concreto se pueden clasificar según el tamaño, procedencia y densidad.

**Clasificación según su tamaño:** Forma de clasificación general tiene en cuenta la distribución del tamaño de las partículas desde fracciones de milímetros a centímetros de sección transversal, conocido como granulometría de los agregados.

En la siguiente tabla apreciamos más detalladamente esta clasificación:

**Tabla N° 2.** Granulometría de los agregados

| TAMAÑO DE PARTÍCULAS (mm)                             | TAMIZ                                 | NOMBRE  | CLASIFICACIÓN  |
|---|---------------------------------------|---|--|
| Inferior a 0.002<br>0.002 < 0.074                     | N° 200                                | Arcilla<br>Limo                                   | Fracción muy fina.<br>No recomendable para concreto.     |
| 0.074 < 4.76  | N° 200 – N° 4                         | Arena   | Agregado fino  |
| 4.76 < 19.1<br>19.1 < 50.8<br>50.8 < 152.4<br>> 152.4 | N° 4 – ¾”<br>¾” – 2”<br>2” – 6”<br>6” | Gravilla<br>Grava<br>Piedra<br>Rajón, piedra bola | Agregado grueso<br>Material apto para producir concreto. |

**Fuente:** Libro Tecnología del concreto y el Mortero

<sup>6</sup> (Chan Yam, 2003)

## ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

**Clasificación según su procedencia:** De acuerdo con el origen de los agregados, según provengan de fuentes naturales o sean fabricados a partir de productos industriales, se pueden clasificar de la siguiente manera:

**Agregados Naturales:** Son todos aquellos que provienen de la explotación de fuentes naturales tales como depósitos de arrastres fluviales o de glaciares y de canteras de diversas rocas y piedras naturales.

**Agregados Artificiales:** Estos agregados se obtienen a partir de productos y procesos industriales tales como arcillas expandidas, escorias de alto horno, Clinker, limaduras de hierro entre otros. Por lo general estos agregados son más ligeros y pesados que los ordinarios.

**5.2.3 Proceso Origen Roca-suelo.** Los agregados naturales provienen de una masa mayor que por procesos naturales o artificiales se fragmentan, por lo tanto, las propiedades y características de estos dependen de la roca madre.

Propiedades y características como mineralógicas, pureza, densidad, dureza, porosidad, composición química, entre otras. Por procesos geológicos internos en la tierra se forman las rocas ígneas u originales que por procesos externos como la meteorización forma la roca sedimentaria, al sufrir ambas la acción de la temperatura y la presión forman las rocas metamórficas.. Este proceso se conoce como el ciclo geológico de las rocas, el cual se encuentra en constante actividad.

### **5.2.4 Propiedades físicas de los agregados.**

**Gradación:** Distribución del tamaño de las partículas constituyentes de una masa de agregado, se determina a través de un análisis de gradación.

## ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

**Granulometría:** Es la medida de la distribución de los tamaños de las partículas que constituyen una masa de agregados. Se determina mediante el análisis granulométrico que consiste en dividir una muestra de agregado en partículas de igual tamaño. La medida en la cuantía de cada una de estas fracciones es lo que se conoce como Granulometría.

**Análisis granulométrico:** Es la operación que se le hace a los agregados para clasificarlos según su tamaño; consiste en dividir una muestra de agregados en fracciones de igual tamaño, haciendo pasar este a través de una serie de tamices que tienen aberturas cuadradas y cuyas características se deben ajustar a la Norma Icontec-32.

**Forma:** Es una propiedad que indirectamente depende del tipo de roca de donde proviene el agregado. Existen muchas maneras de hacer una clasificación de los agregados según su forma, pero la más utilizada es la descrita por la norma británica B.S.812.

**Textura:** Propiedad que se deriva de la roca de origen, influye en las propiedades del concreto, especialmente en la adherencia entre las partículas del agregado y la pasta de cemento fraguado y gobierna las condiciones de fluidez mientras la mezcla se encuentra en estado plástico. La clasificación más utilizada está dada por la norma británica B.S. 812.

**Superficie específica:** Se define como la relación que hay entre la superficie exterior de una partícula y el volumen que ocupa esa partícula. Esta dada por:

$$SE = \frac{6}{d} \quad \text{Siendo } d, \text{ el diámetro de una partícula supuestamente redondeada.}$$

## ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

**Densidad (peso específico):** Esta propiedad depende directamente de la roca original de la cual provienen, está definida como la relación entre el peso y el volumen de una masa determinada. Podemos encontrar diferentes densidades para los agregados, puesto que generalmente entre sus partículas hay cavidades o poros que pueden estar vacíos, parcialmente saturados o llenos de agua, dependiendo de su permeabilidad interna, entre ellas tenemos:

**Densidad absoluta:** Relación existente entre el peso de la masa del material y el volumen que ocupan única y exclusivamente la masa sólida, excluyendo los poros saturables y no saturables.

$$Densidad - absoluta = \frac{P_s}{V_m - V_p} ; \text{ Donde: } P_s = \text{Peso seco de la masa; } V_m = \text{Volumen ocupado por la masa y } V_p = \text{Volumen de poros saturables y no saturables.}$$

**Densidad nominal:** Relación existente entre el peso de la masa del material y el volumen que ocupan las partículas de ese material incluidos los poros no saturables.

$$Densidad - nominal = \frac{P_s}{V_m - V_{p_s}} ; \text{ Donde: } P_s = \text{Peso seco de la masa; } V_m = \text{Volumen ocupado por la masa y } V_{p_s} = \text{Volumen de los poros saturables.}$$

**Densidad aparente:** Relación existente entre el peso de la masa del material y el volumen que ocupan las partículas de ese material, incluidos los poros saturables y no saturables.

## ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

$$\text{Densidad aparente} = \frac{P_s}{V_m} ; \text{ Donde: } P_s = \text{Peso seco de la masa y } V_m = \text{Volumen ocupado por la masa.}$$

Las normas que contemplan la determinación de la densidad para agregados se describe en las normas NTC 176 para agregados gruesos y en la NTC 236 para agregados finos.

**Porosidad y absorción:** La porosidad está relacionada con la capacidad de absorción que es la capacidad para retener agua u otro líquido dentro de los agregados según el tamaño de los poros, su continuidad (permeabilidad) y su volumen total. En la práctica, lo que se mide para cuantificar la influencia de la porosidad dentro del agregado es su capacidad de absorción, ya que las partículas del agregado pueden pasar por cuatro estados, a saber: seco, parcialmente saturado, saturado y superficialmente seco, o húmedo y depende del grado de absorción de las partículas que varía aproximadamente entre el 0% y 5% para agregados pétreos de peso normal.

La porosidad es importante en el comportamiento del agregado, que lo hace más débil o más dura. Puede afectar otras propiedades mecánicas como la adherencia y la resistencia a la compresión, flexión, durabilidad, resistencia al congelamiento y deshielo y resistencia a la abrasión.

$$\% \text{ absorción} = \frac{P_{sss} - P_s}{P_s} * 100$$

$P_{sss}$  es el peso saturado y superficialmente seco del agregado

$P_s$  es el peso seco del agregado

**Masa unitaria:** Está definida como la relación existente entre el peso de una muestra de agregado compuesta de varias partículas agrupadas dentro de un recipiente de volumen conocido.

## ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

**Masa unitaria compacta:** Es el grado de acomodamiento de las partículas del agregado cuando se ha sometido a vibración, ya que ésta mejora el acomodamiento y aumenta la masa unitaria.

**Masa unitaria suelta:** Es la masa unitaria del material cuando se encuentra en estado normal de reposo porque el volumen que ocupa es mayor y por tanto su masa unitaria es menor.

### 5.2.5 Propiedades mecánicas de los agregados.

**Resistencia de las partículas del agregado:** La resistencia de las partículas de los agregados tiene gran importancia en un concreto, ya que algunas veces las fallas del mismo son ocasionadas por la falta de resistencia de los agregados que conforman el concreto. Esto se puede apreciar cuando el agregado falla primero que la pasta de cemento endurecida; ya sea porque posee una estructura pobre en los granos que conforman las partículas o porque con anterioridad se ha inducido fallas a las mismas en el proceso de explotación o de trituración.

**Tenacidad:** La tenacidad o resistencia a la falla por impacto en un concreto, está relacionada directamente con los agregados. Estos no deben ser débiles al momento de las cargas de impacto, porque si esto ocurre, alterarán su granulometría y originarán una baja calidad para ser utilizados en concreto.

**Adherencia:** Es la interacción existente en la zona de contacto del agregado y la pasta de cemento que ocurre durante los procesos de fraguado y endurecimiento. Depende de la calidad de la pasta de cemento y, en gran medida del tamaño, forma, rigidez y textura de las partículas de los agregados, especialmente cuando se trata de resistencia a la flexión.

## ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

**Dureza:** Propiedad que depende de la constitución mineralógica, la estructura y la procedencia de los agregados.

Aunque la resistencia del agregado no es el principal factor de alteración en la resistencia del concreto, se han hecho ensayos que demuestran que la falla se presenta en los agregados; además distintas características del agregado distintas a la resistencia, como lo son: tamaño, forma, textura de superficie y mineralogía pueden afectar la resistencia del cemento en grados distintos.

### 5.3 EL CONCRETO

**5.3.1 Concreto hidráulico.** El concreto hidráulico u hormigón está constituido por la mezcla de cemento Pórtland o cemento Pórtland modificado, arena, grava, agua y es necesario, aditivos. Este es, actualmente, el material más empleado en la construcción, debido a sus propiedades y a su economía.

Es importante conocer bien este material para fabricarlo y utilizarlo adecuadamente, porque es una material complejo, ya que es el resultado de la mezcla de diferentes materiales; donde cada uno de ellos influyen según sus características, en las propiedades del concreto; tanto en su estado plástico como en el estado sólido. A lo anterior se agregan otras variables que influyen como son el proceso de fabricación, colocación y curado.

**5.3.2 Composición del concreto.** El concreto está formado por dos componentes, los agregados y la pasta, los agregados generalmente se clasifican en dos grupos: finos u gruesos. La pasta se compone de cemento, agua y algunas veces aire incluido. Ordinariamente la pasta de cemento constituye del veinticinco al cuarenta por ciento del volumen total del concreto.

## ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

El volumen absoluto de cemento está comprendido entre el siete y quince por ciento, y el agua del catorce al veintiuno por ciento.

El concreto contiene aire incluido sin proporción puede llegar a constituir un ocho por ciento del volumen aproximadamente.

La selección del agregado es importante dado que constituye del sesenta al ochenta por ciento del concreto. El agregado debe consistir de particular que soporten y resistan las condiciones de la intemperie, y no deben contener materiales que produzcan efectos perjudiciales. La gradación de los agregados debe ser uniforme para que el uso del cemento sea eficaz. La calidad del concreto depende en gran parte de la calidad de la pasta y esta a su vez de la relación de la cantidad de agua y la cantidad de cemento usado, y del curado.

La cantidad de agua se utiliza para mezclar el concreto es mayor que la que se utiliza para la hidratación completa, lo cual es necesario hacer para que el concreto sea plástico y manejable.

### **5.3.3 Propiedades del concreto fresco.**

**Plasticidad:** Se define como aquella consistencia del concreto que pueda ser fácilmente moldeado, pero que le permita al concreto fresco cambiar de forma lentamente si se saca del molde.

**Consistencia:** La consistencia está relacionado con el estado de fluidez del concreto, es decir, que tan dura o blanda sea la mezcla de concreto cuando se encuentra en estado plástico. Se conoce también como el grado de humedad de la mezcla.

## ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

**Manejabilidad:** Propiedad del concreto mediante la cual se determina su capacidad para ser colocado y consolidado apropiadamente y para ser terminado sin segregación dañina alguna.

Según el Road Research Laboratory de Gran Bretaña, se puede definir la manejabilidad o trabajabilidad como la cantidad de trabajo interno y útil necesario para producir una compactación completa, debido a que la fricción interna es una propiedad intrínseca de la mezcla y no depende de ningún tipo o sistema particular de construcción. En la actualidad no existe un método directo para medir la manejabilidad de una mezcla de concreto, pero hay algunos ensayos que permiten tener una relación de esta propiedad con alguna otra característica del concreto;

Entre ellos tenemos el ensayo de asentamiento, usado ampliamente por su simplicidad y rapidez, este mide la consistencia o fluidez de una mezcla fresca de concreto cuyo tamaño máximo de agregado grueso puede ser hasta de 50.8 mm (2"). Existen otros procedimientos tales como: la esfera de Kelly, ensayo de remoldeo, el método Vebe y el ensayo del factor de compactación.

Existen muchos factores que influyen en la manejabilidad de una mezcla de concreto en estado plástico, entre ellos tenemos:

**Contenido de agua de mezclado:** El contenido de agua en una mezcla de concreto es el principal factor que influye en la manejabilidad del mismo. La cantidad de agua en una mezcla puede depender del agua requerida para determinado tipo de cemento, de la granulometría del agregado, tamaño máximo, forma y textura de las partículas, del contenido de aire y de la consistencia especificada.

Existen diferentes métodos para establecer la cantidad de agua necesaria para una mezcla de concreto. El método más común está basado en un procedimiento de prueba y error con los materiales con que se va a trabajar hasta obtener la mezcla de concreto deseada; otro método más sencillo y rápido de manejar es la utilización de tablas o

## ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

ábacos que han sido preparados en forma empírica, pero con la limitante de que sólo proporcionan cálculos aproximados.

**Fluidez de la pasta:** La fluidez de la pasta influye en la manejabilidad de la mezcla de concreto, ya que para una cantidad determinada de pasta y de agregados, la plasticidad de la mezcla dependerá de las proporciones de cemento y agua en la pasta.

Es decir, una pasta con poca agua y mucho cemento, será muy rígida por falta de agua evaporable, haciendo a la mezcla inmanejable por no poder lubricar los agregados; por lo contrario si el contenido de agua es alto y el del cemento es bajo, la pasta puede llegar a ser fluida.

**Contenido de aire:** El aire en el concreto puede estar en forma natural atrapado en el mismo, pero más tarde es liberado en los procesos de compactación o también podemos encontrar el aire incorporado intencionalmente en el concreto para darle mayor durabilidad y manejabilidad.

En general, en una mezcla de concreto, el contenido de aire aumenta cuando se presente mezclas pobres en cemento, agregados con tamaño máximo menor, mayor cantidad de arena, consistencias más húmedas, operaciones de mezclado más fuertes o prolongadas e inclusiones de aditivos incorporadores de aire.

**Gradación de los agregados:** Este factor tiene gran influencia en la manejabilidad del concreto porque si los agregados han sido mal gradados, la mezcla de concreto presenta vacíos que deben ser llenados con pasta en el caso de la arena y con mortero en el caso de agregado grueso para que la mezcla sea manejable y no quede porosa.

**Forma y textura superficial de los agregados:** La forma y la textura de los agregados influyen en la manejabilidad del concreto. Por ejemplo, un agregado grueso rugoso con partículas alargadas y aplanadas exigirá mayor cantidad de arena, agua y pasta en una

## ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

mezcla para mantener una manejabilidad comparable con aquellas mezclas donde se utilicen partículas lisas y redondas, debido a la fricción generada por la trabazón existente entre las partículas.

**Relación pasta–agregados:** Es la relación existente entre la cantidad de pasta y el área superficial de los agregados que esta debe cubrir y lubricar. Cuando esta relación sea alta, los agregados podrán moverse libremente, pero si la cantidad de pasta se reduce impedirá el movimiento los agregados, ocasionando que la mezcla se vuelva rugosa y áspera.

**Relación arena–agregados:** Esta relación es importante en una mezcla de concreto, porque si posee un bajo contenido de arena será difícil de manejar, colocar y terminar y además tenderá a la segregación y exudación por ser una mezcla poco cohesiva; si por el contrario, el contenido de arena es alto, habrá necesidad de agregar agua o pasta en exceso para que la mezcla sea manejable, presentará tendencia a la exudación y segregación.

**Aditivos:** Los aditivos permiten mejorar las condiciones de trabajo de una mezcla de concreto, permitiéndole una mayor manejabilidad, especialmente cuando los agregados son deficientes en finos y el cemento tiene tendencia a producir exudación.

**Condiciones del clima:** Los agentes atmosféricos como el sol, la lluvia, el viento, etc., la temperatura y el tiempo transcurrido entre el mezclado y la colocación afectan la manejabilidad de una mezcla de concreto de tal forma que pueden cambiar la consistencia de la mezcla debido a que si hay evaporación por causa del sol o del viento, la mezcla se endurece rápidamente y por lo tanto pierde manejabilidad; por otro lado si hay lluvia, habrá un aumento en la relación agua–cemento y pérdida de resistencia, aumentará la humedad de la mezcla ocasionando segregación, etc.

**5.3.4 Diseño de mezcla.** Puede decirse que las propiedades del concreto se estudian primordialmente, con la finalidad de determinar el diseño de la mezcla.

## ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

Para encontrar las proporciones más apropiadas de un diseño de mezcla, será necesario preparar varias mezclas de prueba, las cuales se calcularán con base en las características de los agregados y la aplicación de las leyes o principios básicos preestablecidos.

Las características de las mezclas de prueba indicarán los ajustes finales que deben hacerse en la dosificación de acuerdo con reglas empíricas determinadas, según las circunstancias, las mezclas de prueba pueden prepararse en el laboratorio, o de preferencia en la obra con los procedimientos, los equipos y en las cantidades que en la práctica se van a emplear.

Antes de dosificar una mezcla de concreto deben conocerse los datos de la obra o estructura que se va a construir y los materiales con los cuales se van a preparar las mezclas, con el fin de que al seleccionar las proporciones iniciales de la primera mezcla de prueba, no se obtengan resultados muy alejados de lo esperado.

Para determinar las proporciones de mezcla de concreto, existe un gran número de procedimientos analíticos, experimentales, semi-analíticos y empíricos. Entre los distintos métodos de dosificación de mezclas.

Podemos enumerar los diseños de Bolomey, de Caquot, de Faury, de Goldbek y Gray, del ICPC, de Fuller, el método de diseño de la ACI, etc.

### **5.3.5 Concreto endurecido.**

**Resistencia del concreto:** Por ser el concreto un material heterogéneo y de naturaleza discontinua, logra la “cuasiductilidad” y los mecanismos de disipación de energía que le permiten ser capaz de soportar cargas tanto estáticas como dinámicas. Esta capacidad o propiedad de resistencia depende de las características físicas y químicas de los elementos que lo constituyen y de la interacción que se da entre en los mismos.

## ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

Durante el proceso de fraguado y endurecimiento de la pasta de cemento, se dan adherencias entre el agregado y los productos de hidratación. Las fuerzas que unen las partículas de agregado y la pasta de cemento pueden ser solamente físicas debido a enlaces mecánicos y de adherencias, o químicos debido a nuevos productos de reacción superficial y de inter-desarrollo químico.

En resumen, la resistencia del concreto depende principalmente por la resistencia e interacción de sus fases constituyentes:

- La resistencia de la pasta hidratada y endurecida (matriz)
- La resistencia de las partículas del agregado
- La resistencia de la interface matriz-agregado.

**Factores que influyen en la resistencia del concreto:** Entre los innumerables factores que afectan la resistencia del concreto en estado endurecido, independientemente de la calidad y tipo de materiales que lo constituyen, para unas propiedades dadas de sus componentes en una mezcla trabajable y bien colocada se destacan las siguientes:

**Contenido de cemento:** Es importante el contenido del cemento dentro de una mezcla, porque para determinado tipo de cemento, a medida que aumenta el contenido del cemento aumenta la resistencia del concreto.

**Relación agua-cemento y contenido de aire:** Este factor es el más importante en la resistencia del concreto, es necesario establecer si el concreto va llevar aire incluido, porque a mayor cantidad de aire, la relación de agua-cemento es menor.

**Influencia de los agregados:** Las propiedades de los agregados que influyen en la resistencia del concreto son:

## ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

- La granulometría que al ser continua permite la máxima compacidad del concreto en estado fresco y por lo tanto la máxima densidad en estado endurecido con la consecuente máxima resistencia.
- La forma y textura de los agregados influyen, dependiendo de la forma y superficie que tengan la adherencia de la pasta con los mismos será mejor y por lo tanto, aumentará la resistencia. La resistencia y la rigidez de los agregados inciden en la resistencia del concreto, dependiendo si es un agregado de baja densidad y poroso, o si es un agregado de baja porosidad y muy denso.

**Tamaño máximo del agregado grueso:** Incide en la resistencia del concreto ya que la cantidad de cemento requerida para producir una resistencia a la compresión máxima, a una edad dada, varía según el tamaño máximo del agregado grueso de la mezcla.

**Fraguado del concreto:** Es un factor importante en la resistencia del concreto, ya que es necesario determinar el tiempo del fraguado para saber si es necesario utilizar aditivos que controlen la velocidad del fraguado con el fin de regular los tiempos de mezclado y transporte.

**Edad del concreto:** Este factor externo está ligado a la relación que hay entre la relación agua cemento y la resistencia del concreto, ya que la misma se da únicamente con un tipo de cemento y a una sola edad.

**Curado del concreto:** Este factor aumenta o disminuye la resistencia del concreto de acuerdo a la intensidad del secamiento con que se efectúe el proceso de fraguado.

**Temperatura:** La temperatura de curado del concreto afecta su resistencia, porque si se aumenta la temperatura durante este proceso, acelerará las reacciones químicas de la

## ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

hidratación y esto aumentará la resistencia temprana del concreto, sin efectos contrarios en la resistencia posterior.

**Medida de la resistencia a la compresión:** La resistencia de la compresión se expresa en términos de esfuerzo, generalmente en  $\text{Kg/cm}^2$  y con alguna frecuencia en Psi. La resistencia del concreto se evalúa por medio de pruebas mecánicas que pueden ser dañinas, por lo cual se toman muestras y se hacen especímenes para fallar, o no destructivas, las cuales permiten probar repetidamente la muestra de manera que se pueda estudiar la variación de la resistencia u otras propiedades con el paso del tiempo. Entre las pruebas para medir la resistencia a la compresión tenemos los ensayos de probeta cilíndrica, los ensayos de cubos y los ensayos de prisma rectangulares con secciones transversales cuadradas.

**Medida de la resistencia a flexión y tracción:** Esta característica mecánica del concreto es muy importante, especialmente en estructuras de concreto simple, en donde adicionalmente aparecen esfuerzos de tracción. La resistencia a la flexión del concreto se determina por medio de vigas de sección cuadradas de 500 mm de longitud por 150 mm de lado.

La resistencia a la tracción es muy difícil de medir por ensayos directos, debido a las dificultades para montar las muestras y la incertidumbre que existe sobre los esfuerzos secundarios inducidos por los elementos que sujetan las muestras. Por tal motivo se usa el método indirecto llamado tensión indirecta, sometiendo a compresión el cilindro convencional de 15 x 30 cm.

**Durabilidad del concreto:** Se define como la resistencia a la acción del clima, a los ataques químicos, a la abrasión o cualquier otro proceso de deterioro.

**Permeabilidad:** Es la propiedad que le permite al concreto ser atravesado por un fluido a causa de una diferencia de presión entre las dos superficies opuestas del material.

## ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

La permeabilidad, depende de la porosidad de la pasta de cemento y de la porosidad de los agregados, de los vacíos causados por una compactación deficiente o por los capilares dejados por el agua de exudación.

Existen algunos factores que afectan la durabilidad del concreto, entre ellos tenemos:

**Humedecimiento–secado:** Una estructura sometida a ciclos de humedecimiento y secado puede dividirse en tres zonas: la parte superior, que se encuentra arriba del nivel de marea alta y de oleaje, no está directamente expuesto al agua; sin embargo, está expuesta al aire atmosférico, a vientos que llevan sales y polvo, o a la acción de las heladas; la parte intermedia, que se encuentra en la zona de mareas, es susceptible no solamente al agrietamiento y al descascaramiento y a la corrosión del acero de refuerzo, sino también a la pérdida de material por descomposición química de los productos de hidratación del cemento y al impacto de las olas que transportan trozos flotantes de hielo, arena y grava; y la parte inferior de la estructura que siempre está sumergida en el agua, es susceptible de permeabilidad y eventualmente de descomposición por reacción química con algún ácido que contenga el agua.

Para disminuir el deterioro del concreto es necesario controlar el agua que absorbe el concreto durante el proceso del diseño y además establecer que este cuente con un buen sistema de drenaje.

### 5.4 ADITIVOS

Los aditivos son considerados un ingeniero más del concreto y son empleados para un ingrediente más del concreto y son empleados para modificar las propiedades de este, de tal modo que se hagan más adecuado para las condiciones de trabajo o por economía.

## ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

Un aditivo se puede definir como un material distinto del agua, agregado y cemento hidráulico, que se usa como ingrediente en concretos o morteros y se añade a la mezcla inmediatamente antes o durante su mezclado.

Hoy en día, los aditivos pueden ser usados para modificar las propiedades del concreto de tal manera que lo hagan más adecuado para las condiciones de trabajo o por economía. Estos aditivos se desde el punto de vista funcional, en donde se dan varias razones importantes para usar aditivos, las cuales son:

- Aumentar la trabajabilidad sin aumentar el contenido de agua o para reducir el contenido de agua, logrando la misma trabajabilidad.
- Acelerar la velocidad de desarrollo de resistencia a edades tempranas.
- Retardar o acelerar el fraguado inicial.
- Retardar o reducir el desarrollo de calor.
- Modificar la velocidad o la aptitud de exudación o ambas.
- Aumentar la durabilidad o la resistencia a condiciones severas de exposición incluyendo la aplicación de sales para quitar hielo.
- Controlar la expansión causada por la reacción de los álcalis con cices constituyentes de los agregados.
- Reducir el flujo capilar de agua
- Mejorar la penetración y el bombeo
- Reducir la permeabilidad a los líquidos
- Reducir el asentamiento, especialmente en mezclas para rellenos
- Aumentar la adherencia del concreto y el acero
- Aumentar la adherencia entre concreto viejo y nuevo
- Inhibir la corrosión embebida del concreto.

**5.4.1 Aditivo acelerante.** Los aditivos acelerantes tienen el propósito de lograr que el concreto desarrolle resistencia rápidamente, por lo tanto aceleran el proceso de

## ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

fraguado del cemento. El empleo de este aditivo es útil cuando se desea descimbrar rápido para acelerar el programa de construcción, en ocasiones la falta de cimbra hace que se use este aditivo con el objeto de descimbrar rápido para volver a usar la cimbra en el siguiente colado.

**5.4.2 Aditivo retardante.** Los aditivos retardadores de fraguado se emplean para retrasar el tiempo de fraguado del concreto, dando con esto más tiempo para el manejo del concreto en la obra, especialmente cuando se trata de colados grandes y cuando no se cuenta con suficiente personal. Este tipo de aditivos son de mucha utilidad cuando los trabajos se tienen que realizar en climas calientes y/o cuando se espera que el transporte del concreto tome mucho tiempo.

# ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

## 6. METODOLOGÍA

El enfoque de la investigación realizada fue de tipo mixto porque incluyó una revisión bibliográfica con la recolección y el análisis de datos y posteriormente un estudio experimental para comparar la resistencia a la compresión de los concretos elaborados con cementos tipo I y III, modificándolos con aditivos acelerantes y retardantes. Una información previa y unos posteriores estudios experimentales donde analizamos varios aspectos, los cuales fueron: la trabajabilidad o manejabilidad de la mezcla de concreto mediante la relación agua cemento, la observación de los tipos de fallas de los cilindros de concreto y la resistencia adquirida a las diferentes edades (7, 14 y 28 Días).

La duración de éste estudio fue de 3 meses. Iniciando en Agosto 01 de 2013 con la revisión bibliográfica. Se continuó con las diferentes actividades para realizar la mezcla de los diferentes tipos de cementos, y posteriormente se hicieron los Cómputos métricos o ensayos a compresión de cilindros de concreto (normal y con aditivos) hasta la rotura del último espécimen de muestra en la fecha 16 de octubre de 2013, de esta manera se compararon los resultados como se muestra a continuación.

### 6.1 RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Se inició con la fase exploratoria donde se realizó la compilación de la información bibliográfica relacionada con el cemento, tipos de cementos, agregados, aditivos, concreto, estado del arte de la investigación a nivel local , nacional e internacional.

### 6.2 RECOLECCIÓN DE LOS MATERIALES DE LA MUESTRA

Para la elaboración de estas mezclas de concreto se utilizaron los siguientes materiales:

- Cemento Tipo I (Uso general), fabricado por Cementos Argos S. A.
- Cemento Tipo III, fabricado por Cemex Colombia S. A.

## ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

- Agregado Fino: Arena de Rutinet, proveniente de canteras locales.
- Agregado Grueso: Triturado Calizo de Cimaco T. M. ½”, utilizado en las construcciones locales o de esta región.
- Agua de mezclado (Agua potable): Agua de la ciudad de la Cartagena.
- Aditivo acelerante: Accelguard 25, fabricado por Toxement.
- Aditivo retardante: Eucon 37, fabricado por Toxement.

### 6.3 ENSAYOS DE LABORATORIO SOBRE EL CEMENTO

Se determinaron las propiedades físicas de las muestras basándose en las Normas Técnicas colombianas (NTC), desarrolladas por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC), para ello se realizaron los siguientes ensayos:

#### 6.3.1 Finura del cemento.

NORMAS: ICONTEC 226, INV E155, ASTM C184

##### **Materiales:**

- Balanza de sensibilidad 0.01 gr
- Tamiz N°200
- Cepillo o brocha
- 50gr de cemento fresco y seco

##### **PROCEDIMIENTO:**

Se colocó una muestra de 50 gr de cemento fresco y seco sobre el tamiz N° 200 que también debe estar limpio y seco y con una tapa en su fondo o en su defecto un recipiente en el cual caiga el cemento que pasa a través del tamiz. El tamiz N° 200 se

## ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

caracteriza por que sus aberturas son de 0.074 mm (0.0029 in) y el diámetro nominal de su alambre es de 0.053 mm.

Luego, se deposita el cemento en el tamiz, se procedió al proceso con un movimiento lento de muñeca sosteniendo el tamiz con ambas manos, hasta que pase la mayor cantidad de material fino y el residuo obtuvo una apariencia limpia. Se procedió a limpiar el tamiz con el cepillo para evitar que se obstruyeran con el paso del material fino.

Después de pasado un tiempo se procedió a rodar el tamiz a dar suaves golpes sobre las paredes de este, que según las especificaciones fueron 150 veces por minuto, teniendo en cuenta que cada 25 golpes se giró el tamiz aproximadamente la sexta parte de la revolución, en el mismo sentido.

Para revisar que el proceso ya había finalizado se colocó una hoja en blanco debajo del tamiz, cuando se observó que no caía material sobre esta, indicaba que ya el material fino había pasado a través del tamiz y que solo quedaba el material grueso.

### **6.3.2 Peso específico.**

NORMAS: ICONTEC 221, INV 162, ASTM C188

#### **Materiales:**

- Frasco de Le Chatelier
- Balanza electrónica
- Recipiente de baño de maría
- Termómetro
- Cemento pórtland tipo I
- Kerosene
- Hielo

#### **PROCEDIMIENTO:**

## ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

Se llenó el frasco de Le Chatelier con kerosene hasta un punto entre las marcas 0 y 1 ml asegurándose que quedo seco en el interior por encima del nivel del líquido.

Colocamos el frasco en un baño de agua a temperatura ambiente durante un tiempo suficiente con el fin de evitar variaciones mayores de  $0.2^{\circ}\text{C}$  en la temperatura del líquido dentro del frasco, se anota la primera lectura ( $L_0$ ).

Luego, se agregó 64 gramos de cemento Pórtland tipo I, en pequeñas cantidades teniendo cuidado de no derramar el líquido ni untar las Paredes por encima del nivel.

Después de agregar todo el cemento, y evitando que se saliera del contenido del frasco, se giró en posición inclinada y en círculos horizontales, hasta que no ascendieron burbujas a la superficie del líquido.

Por último se colocó el frasco nuevamente en el baño de agua, para alcanzar la temperatura inicial, para luego de una hora aproximadamente tomar la lectura final ( $L_f$ ).

### **6.3.3 Consistencia normal.**

NORMAS: ICONTEC 110, INV C164-58, ASTM C187-55

#### **Materiales:**

- Aparato de Vicat
- Balanza
- Probetas graduadas de vidrio
- Guantes de goma
- Palustre
- Recipientes
- Cemento Portland tipo I
- Superficie lisa no absorbente
- Espátula

## ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

### **PROCEDIMIENTO:**

Sobre una superficie no absorbente, se colocaron 500 gr de cemento en forma de cono, previamente pesados en la balanza, haciendo un orificio en su interior sobre el cual se vertió agua y se llenó con el cemento que lo rodea utilizando el palustre.

A continuación se mezcló con las manos, para darle a la pasta una forma esférica y pasarla 6 veces de mano a mano. Se llenó completamente por base mayor el molde, para luego quitarle el exceso en esta base con un solo movimiento con la palma de la mano. Después colocamos la placa de vidrio sobre esta base, volteando todo en conjunto de tal manera que niveláramos con un palustre la pasta en la base menor.

El conjunto constituido por la placa, la pasta y el molde se llevó a aparato y se centró bajo el vástago, el cual se hace descender hasta que la sonda toque la superficie de la pasta y se fija en esta posición luego se lleva el índice hasta que coincida con el cero superior. Finalmente esta se deja caer durante 30 segundos.

### **6.3.4 Tiempo de fraguado.**

NORMAS: ICONTEC C118, INV E158, ASTM C191

#### **Materiales:**

- Aparato de Vicat
- Balanza
- Probetas graduadas de vidrio
- Guantes de goma
- Palustre
- Recipientes
- Cemento Portland tipo I
- Superficie lisa no absorbente
- Espátula

## ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

- Cámara húmeda

### **PROCEDIMIENTO:**

Sobre una superficie no absorbente, se colocaron 500 gr de cemento en forma de cono, previamente pesados en la balanza, haciendo un orificio en su interior sobre el cual se vertió el 25% de agua, es decir, 125 ml y se llenó con el cemento seco que lo rodea utilizando el palustre.

A continuación se mezcló con las manos, para darle a la pasta una forma esférica y pasarla 6 veces de mano a mano. Se llenó completamente por base mayor el molde, para luego quitarle el exceso en esta base con un solo movimiento con la palma de la mano. Después colocamos la placa de vidrio sobre esta base, volteando todo en conjunto de tal manera que niveláramos con un palustre la pasta en la base menor. Inmediatamente después de terminado el moldeo se colocó la muestra en el cuarto o cámara húmeda.

La muestra usada para determinar el tiempo de fraguado se mantuvo dentro de la cámara húmeda durante 30 minutos, después se moldeo sin que sufra ninguna alteración, luego se determinó la penetración de la aguja en ese instante, y se repitió el mismo procedimiento cada 15 minutos hasta que se obtuvo una penetración de 25 mm o menos.

El conjunto constituido por la placa, la pasta y el molde se llevó a aparato y se centró bajo el vástago, el cual se hace descender hasta que la sonda toque la superficie de la pasta y se fija en esta posición luego se lleva el índice hasta que coincida con el cero superior. Finalmente esta se deja caer durante 30 segundos.

### **6.4 CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS**

Se determinaron las propiedades físicas de cada agregado basándose en la norma técnica colombiana, para ello se realizaron los siguientes ensayos a los agregados (Ver Capítulo 7 **Resultados y Análisis de Resultados**).

## ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

### **AGREGADO GRUESO Y AGREGADO FINO**

- Análisis granulométrico (NTC 32)
- Peso específico
- Peso unitario
- Masa unitaria suelta y compactada

Estos ensayos se realizaron para garantizar el buen comportamiento de los agregados en la mezcla de concreto.

#### **6.4.1 Granulometría.**

NORMAS: ICONTEC 77, INV E 16, ASTM C117.

Se utilizaron los siguientes elementos y materiales en el laboratorio de la universidad de Cartagena sede piedra de bolívar:

- Balanza
- Tamices serie gruesa: 1 ½”- 1”- ¾”- ½”- 3/8”- N° 4
- Tamices serie fina N° 4 – N° 8 – N° 16- N° 30 – N° 50 – N° 100 – N° 200
- Recipientes
- Agua limpia
- Muestra de agregado grueso
- Muestra de agregado fino
- Pala
- Palustre
- Estufa eléctrica u horno eléctrico

## ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

### **PROCEDIMIENTO:**

Se cuartearon las muestras de agregado grueso y fino. se tomó una muestra de 1500 gr para el agregado grueso y 1000 gr para el agregado fino.

Inicialmente se tomaron, los pesos secos de la muestra, para posteriormente someter estas al proceso de tamizado, por medio de la serie de tamices elegidos y a con movimientos de zigzag para los agregados de tipo fino/Grueso, se acomodaran en sus respectivos tamices. Finalmente se midieron las masas en cada tamiz para cada uno de los agregados finos/Gruesos.

### **6.4.2 Peso específico.**

NORMAS: ICONTEC 176-237, INV E12-E22, ASTM C 137 – C128

### **Materiales:**

- Canasta de alambre
- Recipiente para la inmersión de la canasta
- Balanza de sensibilidad 0,01 gr
- Estufa eléctrica
- Vasijas
- Panola seca
- Agua destilada
- Picnómetro
- Corriente de agua seco (ventilador)
- Molde cónico
- Probeta

## ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

### PROCEDIMIENTO:

- **AGREGADO GRUESO:** primero se cuarteó una muestra representativa de agregado grueso. Luego, se lavó el agregado grueso para eliminar el polvo o material adherido a sus superficies y por último, se sumergió en agua un tiempo de 24 horas.

Luego, se secaron los fragmentos de agregados para eliminar las películas visibles de agua en la superficie, y así se determinó el peso saturado y el seco superficialmente y por último, se tamizó por la malla N° 4.

- **AGREGADO FINO:** primero se cuarteó una muestra representativa de agregado fino. Luego, se sumergió totalmente la muestra en un recipiente de agua durante dos horas. Se extendió la muestra sobre una superficie no absorbente, y se expuso a una corriente suave de aire caliente y se agitó con frecuencia para conseguir un secado uniforme. La operación se dio por terminada hasta que se observó que las partículas de agregado fino estuvieran sueltas, ya demás se tomó el peso superficialmente seco de las muestras de agregado fino.

Luego, se tomaron 500 gr de la muestra y se introdujo en el picnómetro llenándose él mismo hasta sus  $2/3$  partes con agua, para así poder eliminar las burbujas del aire.

Por último, se tomó el peso del picnómetro más el agua y el material, y además, se realizó el mismo procedimiento que para agregado grueso; se secó la muestra y se determinó el peso seco en el aire.

### 6.4.3 Peso unitario.

NORMAS: ICONTEC 92, INV E 23, ASTM C 29

## ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

### **Materiales:**

- Balanza de sensibilidad 1 gr y 0.1 gr
- Recipiente cilíndrico de  $\frac{1}{2} \text{ pie}^3 = 0.014 \text{ m}^3$  para agregado grueso
- Recipiente cilíndrico de  $\frac{1}{10} \text{ pie}^3 = 0.0028 \text{ m}^3$  para agregado fino
- Palustre
- Pala
- Varilla

### **PROCEDIMIENTO:**

Se realizó de dos maneras, con los agregados sueltos y compactados.

- Agregado compactado: Se tomó una muestra representativa de los agregados, luego se llenó  $\frac{1}{3}$  parte de los recipientes con las muestras de agregados y se aplicó 25 golpes con una varilla, posteriormente se llenó las dos partes restantes y se repitió la operación con la varilla, finalmente se enrasó y se pesó la muestra y el recipiente
- Agregado suelto: se tomó la muestra representativa de los agregados, luego se llenó uno de los recipientes hasta el borde y se enrasó con la varilla, se procedió a pesar la muestra y el recipiente.

### **6.5 DISEÑO DE MEZCLA**

Para la elaboración de la mezcla de concreto de 4000 psi se realizó el siguiente procedimiento descrito en el libro “Tecnología del Concreto y del Mortero”.

1. Selección del asentamiento
2. Selección tamaño máximo del agregado
3. Estimación del contenido de aire
4. Estimación del contenido de agua

## ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

5. Determinación de la resistencia de diseño a la compresión
6. Selección de la relación agua – cemento
7. Cálculo del contenido de cemento
8. Estimación de las proporciones de agregados
9. Ajuste por humedad del agregado
10. Ajuste a la mezcla de prueba

En el Capítulo 7. **Resultados y Análisis de Resultados**, se pueden observar los datos obtenidos.

### **6.6 ELABORACIÓN DE MEZCLAS, VACIADO DE CILINDROS**

Con el anterior diseño de mezcla se continuó con la elaboración y preparación de las mezclas de prueba en el laboratorio, cumpliendo las especificaciones que se establecen en las normas técnicas colombianas para la elaboración del concreto. Esta tarea se realizó dentro del laboratorio de la sede “Piedra de Bolívar” de la Universidad de Cartagena.

- 1) Utilizando la relación 1:1.6:1.75 mostrado en el diseño se procedió a realizar la mezcla cumpliendo las especificaciones que se establecen en la Normas Técnicas Colombianas para la elaboración del concreto.

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

**ILUSTRACIÓN 2.** Preparación de la mezcla:

a)



b)



Fuente: Castellón – De la Ossa, 2013

**Ilustración 2.1** Preparación de la mezcla: retardante y acelerante

c)



d)



ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

e)



f)



Para esto se tuvo en cuenta lo siguiente:

•**Agua de mezclado:** el agua de mezclado utilizada para la realización de las muestras fue agua potable (agua de la ciudad de Cartagena).

•**Cemento:** para la realización de la mezcla de concreto se empleó cemento Tipo I, de Cementos Argos S. A. y cemento Tipo III, de Cemex Colombia S. A.

•**Agregados:** *Grueso:* se utilizó un tipo de agregado Triturado Calizo de Cimaco T. M. de  $\frac{1}{2}$ "; *Fino:* Arena media de Rutinet natural para hormigón de cantera local.

•**Aditivos:** Se utilizó como *acelerante* Accelguard 25 y como *retardante* Eucon 37, ambos fabricados por la empresa Toxement.

## ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

Con el cono de Abraham se realizaron los ensayos de asentamiento (SLUMP).

### ILUSTRACIÓN 3. Ensayo de asentamiento:

a)



b)



c)



Fuente: Castellón – De la Ossa, 2013

2) Se hizo una primera mezcla de concreto con cemento tipo I, para un total de 5 cilindros.

La segunda mezcla se realizó con cemento Tipo I, adicionándole retardante EUCON 37, para un total de 5 cilindros.

Para la tercera mezcla se utilizó cemento Tipo I, adicionándole acelerante ACCELGUARD 25, obteniendo un total de 5 cilindros.

## ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

Se realizó el mismo procedimiento utilizando el cemento Tipo III, obteniendo igual número de cilindros, para un total general de 30 cilindros.

- 3) Se colocaron los moldes en una superficie horizontal nivelada, rígida y libre de vibración, luego se descargó el concreto en cada uno de ellos en tres capas de igual volumen.

**ILUSTRACIÓN 4.** Vaciado de cilindros:



**Fuente:** Castellón – De la Ossa, 2013

- 4) Al siguiente día, se desencofraron y se introdujeron en la piscina para su posterior curado.

**ILUSTRACIÓN 5.** Desencofrado:



**Fuente:** Castellón – De la Ossa, 2013

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

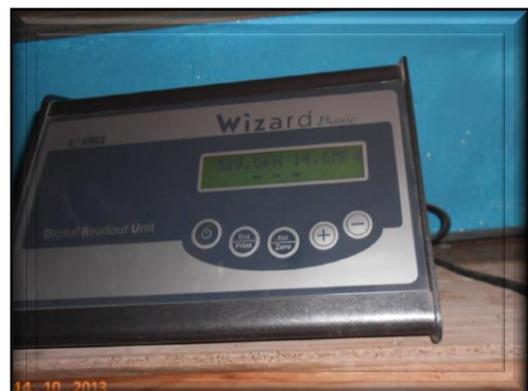
- 5) A los 7, 14 y 28 días de curado se sometieron al ensayo de resistencia a la compresión.

**ILUSTRACIÓN 6.** Ensayos a compresión:

**Ilustración 6.1** Ensayo de compresión a los 7 días:



**Ilustración 6.2** Ensayo de compresión a los 14 días:



ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

**Ilustración 6.3** Ensayo de compresión a los 28 días:



**Fuente:** Castellón – De la Ossa, 2013

- 6) Transcurrido este tiempo y luego de realizar todos los ensayos planteados, se tabularon los datos obtenidos en el laboratorio y se realizaron gráficas representativas para su posterior análisis.

Posteriormente, se procedió a realizar un riguroso análisis de resultados, utilizando herramientas de cómputo, comparando con investigaciones

## ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

relacionadas y teniendo en cuentas las diferentes normas técnicas colombianas (NTC) que rigen sobre la materia.

### 7. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 7.1 ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO

##### 7.1.1 Finura Del cemento.

Para determinar la finura del cemento se utilizó la fórmula:

$F = (W \text{ cemento} - W \text{ g Residuo}) \times 100 / (W \text{ g Cemento})$ ; en donde F es la finura.

Se obtuvieron los resultados descritos en la siguiente tabla:

**Tabla N° 3.** Ensayos de finura del cemento

| FINURA DEL CEMENTO |    |                 |              |
|--------------------|----|-----------------|--------------|
| ENSAYO             | W1 | R gr            | F (%)        |
| 1                  | 50 | 0,465           | 99,07        |
| 2                  | 50 | 0,436           | 99,13        |
|                    |    | <b>Promedio</b> | <b>99,10</b> |

La finura es una de las propiedades físicas más importantes del cemento, ya que íntimamente ligada con la velocidad de hidratación, desarrollo de calor, retracción y aumento de la resistencia. Así, un cemento con partículas de mucha área específica, o sea, de alta finura, endurece con mayor velocidad y tiene un desarrollo rápido de resistencia. Los efectos que una mayor finura provoca sobre la resistencia se manifiestan principalmente durante los primeros siete días.

## ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

Se puede observar que la muestra ensayada dio un porcentaje de 99.10%, comparándola con los valores admisibles para la preparación de concreto que se encuentra en el rango no menor a 85%, se concluye que la muestra se encuentra en buenas condiciones y es apta para la elaboración de mezclas de concreto.

### 7.1.2 Peso específico del cemento.

El peso específico real varía muy poco de unos cementos a otros, oscilando entre 2.9 y 3.15 gr/cm<sup>3</sup>. La determinación del peso específico relativo de los cementos consiste en establecer la relación entre una masa de cemento (gr) y el volumen (ml) de líquido que ésta masa desplaza en el matraz de Le Chatelier.

$$P.E. = (P. \text{Cemento en gr}) / (\text{Volumen desplazado en ml})$$

$$\text{El volumen desplazado} = (L_f - L_i)$$

**Tabla N° 4.** Ensayo Peso específico del cemento

| PESO ESPECÍFICO             |       |
|-----------------------------|-------|
| DESCRIPCIÓN                 | DATOS |
| Peso cemento (gr.)          | 65,40 |
| Li                          | 0,5   |
| Lf                          | 21,4  |
| Volumen Desplazado          | 20,9  |
| P. E. (gr/cm <sup>3</sup> ) | 3,13  |

## ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

Observamos que el peso específico obtenido en el ensayo fue de  $3.13 \text{ gr/cm}^3$  y se encuentra dentro del rango permitido por las normas que está entre  $2.9$  y  $3.15 \text{ gr/cm}^3$ , con lo que confiamos en la utilización de este tipo de cemento.

### 7.1.3 Consistencia normal.

Es la propiedad que indica el grado de fluidez o la dificultad con que la pasta puede ser manejada. El ensayo para determinar la consistencia normal de la pasta de cemento, consiste en agregar un volumen conocido de agua a 500g de cemento, de manera, que se obtenga una fluidez tal, que después de amasada y colocada de un molde troncocónico, permite la entrada de la aguja gruesa de Vicat en  $10 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ . La aguja se debe dejar penetrar en la pasta por la acción de su propia masa (300 g), durante 30 segundos. La fluidez se determina en una mesa de fluidez tal como se describe en la norma ASTM C230. Ambos métodos, el de consistencia normal y el de la prueba de fluidez sirven para regular los contenidos de agua de las pastas y morteros respectivamente, que serán empleados en pruebas subsecuentes.

La consistencia normal se determina así:

$$\text{Consistencia Normal} = (\text{peso del agua}) / (\text{peso del cemento})$$

Datos obtenidos en el ensayo:

**Tabla N° 5.** Ensayo Consistencia normal del cemento

| CONSISTENCIA NORMAL |               |            |                               |          |
|---------------------|---------------|------------|-------------------------------|----------|
| Ensayo              | Muestra (gr.) | Agua (ml.) | Penetración de la aguja (mm.) | Agua (%) |
| 1                   | 500           | 120        | 5                             | 24       |
| 2                   | 500           | 125        | 8                             | 25       |
| 3                   | 500           | 130        | 13                            | 26       |
| 4                   | 500           | 135        | 21,5                          | 27       |

## ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

Cuando la aguja de Vicat penetre +/- 10 mm se considera que el cemento tiene consistencia normal, como se puede observar en la Tabla N° 5, la consistencia normal del ensayo con relación agua / cemento se encuentra alrededor de un 26% a 27% de la muestra de cemento, haciendo así que tenga una fluidez aceptable.

### **7.1.4 Tiempo de fraguado.**

Para determinar si un cemento fragua de acuerdo con los tiempos especificados en la norma ASTM C 150, se efectúan pruebas usando el aparato de Vicat<sup>7</sup> o la aguja de Gillmore.

El fraguado inicial transcurre desde que la pasta plástica que se forma cuando el cemento se mezcla con agua va perdiendo su fluidez, hasta llegar a un momento en que ya no tiene toda su viscosidad y se eleva su temperatura, lo cual indica que el cemento se encuentra parcialmente hidratado.

El fraguado final transcurre hasta que la pasta de cemento deja de ser deformable con cargas relativamente pequeñas, se vuelve rígida y llega a la máxima temperatura, lo cual indica que el cemento se encuentra aún más hidratado (aunque no totalmente) y la pasta ya está dura. Los tiempos de fraguado de los concretos no están relacionados directamente con los tiempos de fraguado de las pastas debido a la pérdida de agua en el aire (evaporación) o en los lechos y debido a las diferencias de temperatura en la obra en contraste con la temperatura controlada que existe en el laboratorio.

Datos obtenidos en el ensayo:

---

<sup>7</sup> (ASTM C 191)

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

**Tabla N° 6.** Ensayo Tiempo de fraguado

| <b>TIEMPO DE FRAGUADO</b>         |                          |
|-----------------------------------|--------------------------|
| <b>Tiempo Transcurrido (min.)</b> | <b>Penetración (mm.)</b> |
| 30                                | 41                       |
| 45                                | 38                       |
| 60                                | 38                       |
| 75                                | 37                       |
| 90                                | 36                       |
| 105                               | 31                       |
| 120                               | 23                       |

## **7.2 PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS**

### **7.2.1 Pesos unitarios.**

Fecha: Septiembre De 2013.

#### **Materiales:**

- Agregado Fino: Arena Media De Rotinet
- Agregado Grueso: Triturado Calizo Cimaco T. M. 1/2"
- Cemento: Pórtland, Tipo I.

**MATERIAL: ARENA MEDIA DE ROTINET**

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

PESO MOLDE MAS MUESTRA:

P1 = 6,920 gr.                      P2 = 6,915 gr.                      P3 = 6,920 gr.  
P4 = 6,920 gr.                      P5 = 6,925 gr.

Peso Promedio = 6,920 gr.    Peso molde = 2,580 gr.

Peso Promedio Material = 4,340 gr.

Vol. Molde =  $1/10 \text{ Pie}^3$  ----- > P.U. Suelto =  $1,533 \text{ gr/cm}^3$

**MATERIAL:** TRITURADO CALIZO CIMACO T. M. = 1/2"

PESO MOLDE MAS MUESTRA:

P1 = 31.005 gr.                      P2 = 31,005 gr.                      P3 = 31.000 gr.  
P4 = 31,000 gr.                      P5 = 31.010 gr.

Peso Promedio = 31,004 gr.

Peso molde = 9,850 gr.

Peso Promedio Material = 21.154 gr.

Vol. Molde =  $1/2 \text{ Pie}^3$  ----- > P.U. Suelto =  $1,494 \text{ gr/cm}^3$

Según la norma el rango para masa unitaria se encuentra entre  $1100$  y  $1700 \text{ Kg/m}^3$  para agregados según su grado de compactación, de lo cual podemos decir que nuestros agregados son buenos para el diseño de la mezcla.

**7.2.2 Peso específico y absorción (I. N. V. E. – 223).**

FECHA: SEPTIEMBRE DE 2013.

**MATERIALES:**

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

- Agregado Fino: Arena Media De Rotinet
- Agregado Grueso: Triturado Calizo Cimaco T. M. 1/2"
- Cemento: Pórtland, Tipo I.

**MATERIAL:** TRITURADO CALIZO CIMACO T.M. = 1/2"

| <i><b>DATOS</b></i>                   |                         |
|---------------------------------------|-------------------------|
| PESO SECO (A)                         | 2.000 gr.               |
| PESO S.S.S. (B)                       | 2.018 gr.               |
| PESO SUMERGIDO (C)                    | 1.272 gr.               |
| <i><b>CÁLCULOS</b></i>                |                         |
| PESO ESPECÍFICO APARENTE: $A/(B-C)$   | 2.68 gr/cm <sup>3</sup> |
| PESO ESPECÍFICO BULK S.S.S: $B/(B-C)$ | 2.71 gr/cm <sup>3</sup> |
| ABSORCIÓN: $(B-A)/A * 100$            | 0.90%                   |

**MATERIAL:** ARENA MEDIA DE ROTINET

| <i><b>DATOS</b></i>                         |                         |
|---|-------------------------|
| PESO MATERIAL SECO (A)                      | 489 gr.                 |
| PESO PICNOMETRO + AGUA (B)                  | 626 gr.                 |
| PESO PICNOMETRO + MATERIAL S.S.S + AGUA (C) | 930 gr.                 |
| PESO MATERIAL S.S.S.(D)                     | 500 gr.                 |
| <i><b>CÁLCULOS</b></i>                      |                         |
| PESO ESPECÍFICO APARENTE: $A/(A+B-C)$       | 2.65 gr/cm <sup>3</sup> |
| PESO ESPECÍFICO BULK S.S.S: $D/(A+B-C)$     | 2.70 gr/cm <sup>3</sup> |
| ABSORCIÓN: $(D-A)/A * 100$                  | 2.20%                   |

Podemos decir que estos valores se encuentran dentro del rango de la norma, entre 2.3 a 2.8 gr/cm<sup>3</sup>.

### 7.3 DISEÑO DE MEZCLA

**Materiales:**

- Agregado Fino: Arena Media De Rotinet
- Agregado Grueso: Triturado Calizo Cimaco T. M. 1/2"
- Cemento: Pórtland, Tipo I.

## ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

Cemento = 460 Kilos

Relación Agua/Cemento = 0.40 (Especificado)

Aditivos: 2% En Peso Del Cemento

Eucon =  $0.02 * 460 = 9.20 \text{ Kg} \approx 10.00 \text{ Kg/M}^3$

Accelguard: 0.02% En Peso Del Cemento

Vol. Cemento =  $460 / 3,150 = 0.146 \text{ M}^3$

Vol. Agua =  $0.4 * 460 = 184 \text{ Litros} = 0.184 \text{ M}^3$

Vol. Pasta =  $0.146 + 0.184 = 0.330 \text{ M}^3$

Vol. Agregados =  $1 - 0.330 = 0.67 \text{ M}^3$

Proporción Granulométrica: 50% Triturado + 50% Arena

Peso Específico Promedio =  $0.50 * 2.68 + 0.50 * 2.65 = 2.665 \text{ Gr/Cm}^3 = 2,665 \text{ Kg/ M}^3$

Peso De Agregados =  $0.67 * 2,665 = 1,785.55 \text{ Kg}$

Peso De Arena =  $1,785.55 * 0.50 = 892.775 \text{ Kg}$

Peso De Triturado =  $1,785.55 * 0.50 = 892.775 \text{ Kg}$

|   |
|---|
| <b>PROPORCIONES EN PESO = 1 : 2.07 : 2.07</b> |
|---|

Volumen Suelto De Cemento =  $460 / 1,250 = 0.368 \text{ M}^3$

Volumen Suelto De Arena =  $892.775 / 1,533 = 0.582 \text{ M}^3$

Volumen Suelto De Triturado =  $892.775 / 1,494 = 0.597 \text{ M}^3$

Proporciones En Volumen = 1:1.68:1.74

|  |
|--|
| <b>PROPORCIONES APROXIMADAS EN VOLUMEN = 1.00 : 1.60: 1.75</b> |
|--|

### 7.4 ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

La resistencia a la compresión se define como la máxima resistencia medida de un espécimen de concreto o de mortero a carga axial. Se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado ( $\text{Kg/cm}^2$ ) a edades de 7, 14 y 28 días; se representa con el símbolo

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

f° c. Para determinar la resistencia a la compresión, se realizaron pruebas a especímenes de concreto, de las cuales se muestran los resultados obtenidos a continuación:

| Resistencia de Diseño para Concreto de 4000 PSI (Tipo I) |                          |                  |                          |
|--|--------------------------|------------------|--------------------------|
| Cemento Tipo I, sin aditivo                              |                          |                  |                          |
| Fecha de fabricación:                                    | 19 de Septiembre de 2013 | Fecha de rotura: | 26 de Septiembre de 2013 |
| Cantidad de muestras:                                    | 5 Unidades               | Slump:           | 5 cm.                    |
| Muestra  |                          | Agua potable     |                          |
| # de Cilindros   | Edad Cilindro            | Fuerza PSI       |                          |
| Cilindro N° 1  | 7 días                   | 2.546            |                          |
| Cilindro N° 2  | 7 días                   | 2.956            |                          |
| <b>Promedio Obtenido</b>                                 |                          | <b>2.751,00</b>  |                          |

**Tabla N° 7.** Resistencia obtenida para cilindros de 4000 Psi a los 7 días, Tipo I, sin aditivos

| Resistencia de Diseño para Concreto de 4000 PSI (Tipo I) |                          |                  |                      |
|--|--------------------------|------------------|----------------------|
| Cemento Tipo I, sin aditivo                              |                          |                  |                      |
| Fecha de fabricación:                                    | 19 de Septiembre de 2013 | Fecha de rotura: | 3 de Octubre de 2013 |
| Cantidad de muestras:                                    | 5 Unidades               | Slump:           | 5 cm.                |
| Muestra  |                          | Agua potable     |                      |
| # de Cilindros   | Edad Cilindro            | Fuerza PSI       |                      |
| Cilindro N° 1  | 14 días                  | 3.270            |                      |
| Cilindro N° 2  | 14 días                  | 2.733            |                      |
| <b>Promedio Obtenido</b>                                 |                          | <b>3.001,50</b>  |                      |

**Tabla N° 8.** Resistencia obtenida para cilindros de 4000 Psi a los 14 días, Tipo I, sin aditivos

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

| Resistencia de Diseño para Concreto de 4000 PSI (Tipo I) |                          |                  |                       |
|--|--------------------------|------------------|-----------------------|
| Cemento Tipo I, sin aditivo                              |                          |                  |                       |
| Fecha de fabricación:                                    | 19 de Septiembre de 2013 | Fecha de rotura: | 17 de Octubre de 2013 |
| Cantidad de muestras:                                    | 5 Unidades               | Slump:           | 5 cm.                 |
| Muestra  |                          | Agua potable     |                       |
| # de Cilindros   | Edad Cilindro            | Fuerza PSI       |                       |
| Cilindro N° 1  | 28 días                  | 2.848            |                       |
| Cilindro N° 2  | 28 días                  | 3.022            |                       |
| <b>Promedio Obtenido</b>                                 |                          | <b>2.935,00</b>  |                       |

**Tabla N° 9.** Resistencia obtenida para cilindros de 4000 Psi a los 28 días, Tipo I, sin aditivos

| Resistencia de Diseño para Concreto de 4000 PSI (Tipo I) |                          |                  |                          |
|--|--------------------------|------------------|--------------------------|
| Cemento Tipo I, con aditivo retardante                   |                          |                  |                          |
| Fecha de fabricación:                                    | 19 de Septiembre de 2013 | Fecha de rotura: | 26 de Septiembre de 2013 |
| Cantidad de muestras:                                    | 5 Unidades               | Slump:           | 15,24 cm.                |
| Muestra  |                          | Agua potable     |                          |
| # de Cilindros   | Edad Cilindro            | Fuerza PSI       |                          |
| Cilindro N° 1  | 7 días                   | 3.013            |                          |
| Cilindro N° 2  | 7 días                   | 3.312            |                          |
| <b>Promedio Obtenido</b>                                 |                          | <b>3.162,50</b>  |                          |

**Tabla N° 10.** Resistencia obtenida para cilindros de 4000 Psi a los 7 días, Tipo I, con aditivo retardante

| Resistencia de Diseño para Concreto de 4000 PSI (Tipo I) |                          |                  |                      |
|--|--------------------------|------------------|----------------------|
| Cemento Tipo I, con aditivo retardante                   |                          |                  |                      |
| Fecha de fabricación:                                    | 19 de Septiembre de 2013 | Fecha de rotura: | 3 de Octubre de 2013 |
| Cantidad de muestras:                                    | 5 Unidades               | Slump:           | 15,24 cm.            |
| Muestra  |                          | Agua potable     |                      |
| # de Cilindros   | Edad Cilindro            | Fuerza PSI       |                      |
| Cilindro N° 1  | 14 días                  | 3.101            |                      |
| Cilindro N° 2  | 14 días                  | 2.710            |                      |
| <b>Promedio Obtenido</b>                                 |                          | <b>2.905,50</b>  |                      |

**Tabla N° 11.** Resistencia obtenida para cilindros de 4000 Psi a los 14 días, Tipo I, con aditivo retardante

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

| Resistencia de Diseño para Concreto de 4000 PSI (Tipo I) |                          |                  |                       |
|--|--------------------------|------------------|-----------------------|
| Cemento Tipo I, con aditivo retardante                   |                          |                  |                       |
| Fecha de fabricación:                                    | 19 de Septiembre de 2013 | Fecha de rotura: | 17 de Octubre de 2013 |
| Cantidad de muestras:                                    | 5 Unidades               | Slump:           | 15,24 cm.             |
| Muestra  |                          | Agua potable     |                       |
| # de Cilindros   | Edad Cilindro            | Fuerza PSI       |                       |
| Cilindro N° 1  | 28 días                  | 1.647            |                       |
| Cilindro N° 2  | 28 días                  | 3.183            |                       |
| <b>Promedio Obtenido</b>                                 |                          | <b>2.415,00</b>  |                       |

**Tabla N° 12.** Resistencia obtenida para cilindros de 4000 Psi a los 28 días, Tipo I, con aditivo retardante

| Resistencia de Diseño para Concreto de 4000 PSI (Tipo I) |                          |                  |                          |
|--|--------------------------|------------------|--------------------------|
| Cemento Tipo I, con aditivo acelerante                   |                          |                  |                          |
| Fecha de fabricación:                                    | 19 de Septiembre de 2013 | Fecha de rotura: | 26 de Septiembre de 2013 |
| Cantidad de muestras:                                    | 5 Unidades               | Slump:           | 17,78 cm.                |
| Muestra  |                          | Agua potable     |                          |
| # de Cilindros   | Edad Cilindro            | Fuerza PSI       |                          |
| Cilindro N° 1  | 7 días                   | 3.295            |                          |
| Cilindro N° 2  | 7 días                   | 3.398            |                          |
| <b>Promedio Obtenido</b>                                 |                          | <b>3.346,50</b>  |                          |

**Tabla N° 13.** Resistencia obtenida para cilindros de 4000 Psi a los 7 días, Tipo I, con aditivo acelerante

| Resistencia de Diseño para Concreto de 4000 PSI (Tipo I) |                          |                  |                      |
|--|--------------------------|------------------|----------------------|
| Cemento Tipo I, con aditivo acelerante                   |                          |                  |                      |
| Fecha de fabricación:                                    | 19 de Septiembre de 2013 | Fecha de rotura: | 3 de Octubre de 2013 |
| Cantidad de muestras:                                    | 5 Unidades               | Slump:           | 17,78 cm.            |
| Muestra  |                          | Agua potable     |                      |
| # de Cilindros   | Edad Cilindro            | Fuerza PSI       |                      |
| Cilindro N° 1  | 14 días                  | 3.544            |                      |
| Cilindro N° 2  | 14 días                  | 3.628            |                      |
| <b>Promedio Obtenido</b>                                 |                          | <b>3.586,00</b>  |                      |

**Tabla N° 14.** Resistencia obtenida para cilindros de 4000 Psi a los 14 días, Tipo I, con aditivo

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

acelerante

| Resistencia de Diseño para Concreto de 4000 PSI (Tipo I) |                          |                  |                       |
|--|--------------------------|------------------|-----------------------|
| Cemento Tipo I, con aditivo acelerante                   |                          |                  |                       |
| Fecha de fabricación:                                    | 19 de Septiembre de 2013 | Fecha de rotura: | 17 de Octubre de 2013 |
| Cantidad de muestras:                                    | 5 Unidades               | Slump:           | 17,78 cm.             |
| Muestra  |                          | Agua potable     |                       |
| # de Cilindros   | Edad Cilindro            | Fuerza PSI       |                       |
| Cilindro N° 1  | 28 días                  | 3.647            |                       |
| Cilindro N° 2  | 28 días                  | 4.023            |                       |
| <b>Promedio Obtenido</b>                                 |                          | <b>3.835,00</b>  |                       |

**Tabla N° 15.** Resistencia obtenida para cilindros de 4000 Psi a los 28 días, Tipo I, con aditivo acelerante

| Resistencia de Diseño para Concreto de 4000 PSI (Tipo III) |                          |                  |                          |
|--|--------------------------|------------------|--------------------------|
| Cemento Tipo III, sin aditivos                             |                          |                  |                          |
| Fecha de fabricación:                                      | 19 de Septiembre de 2013 | Fecha de rotura: | 26 de Septiembre de 2013 |
| Cantidad de muestras:                                      | 5 Unidades               | Slump:           | 7,62 cm.                 |
| Muestra  |                          | Agua potable     |                          |
| # de Cilindros   | Edad Cilindro            | Fuerza PSI       |                          |
| Cilindro N°1   | 7 días                   | 4.085            |                          |
| Cilindro N°2   | 7 días                   | 3.750            |                          |
| <b>Promedio Obtenido</b>                                   |                          | <b>3.917,50</b>  |                          |

**Tabla N° 16.** Resistencia obtenida para cilindros de 4000 Psi a los 7 días, Tipo III, sin aditivos

| Resistencia de Diseño para Concreto de 4000 PSI (Tipo III) |                          |                  |                      |
|--|--------------------------|------------------|----------------------|
| Cemento Tipo III, sin aditivos                             |                          |                  |                      |
| Fecha de fabricación:                                      | 19 de Septiembre de 2013 | Fecha de rotura: | 3 de Octubre de 2013 |
| Cantidad de muestras:                                      | 5 Unidades               | Slump:           | 7,62 cm.             |
| Muestra  |                          | Agua potable     |                      |
| # de Cilindros   | Edad Cilindro            | Fuerza PSI       |                      |
| Cilindro N°1   | 14 días                  | 4.515            |                      |
| Cilindro N°2   | 14 días                  | 4.128            |                      |
| <b>Promedio Obtenido</b>                                   |                          | <b>4.321,50</b>  |                      |

**Tabla N° 17.** Resistencia obtenida para cilindros de 4000 Psi a los 14 días, Tipo III, sin

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

aditivos

| Resistencia de Diseño para Concreto de 4000 PSI (Tipo III) |                          |                  |                       |
|--|--------------------------|------------------|-----------------------|
| Cemento Tipo III, sin aditivos                             |                          |                  |                       |
| Fecha de fabricación:                                      | 19 de Septiembre de 2013 | Fecha de rotura: | 17 de Octubre de 2013 |
| Cantidad de muestras:                                      | 5 Unidades               | Slump:           | 7,62 cm.              |
| Muestra  |                          | Agua potable     |                       |
| # de Cilindros   | Edad Cilindro            | Fuerza PSI       |                       |
| Cilindro N°1   | 28 días                  | 3.815            |                       |
| Cilindro N°2   | 28 días                  | 4.646            |                       |
| <b>Promedio Obtenido</b>                                   |                          | <b>4.230,50</b>  |                       |

**Tabla N° 18.** Resistencia obtenida para cilindros de 4000 Psi a los 28 días, Tipo III, sin aditivos

| Resistencia de Diseño para Concreto de 4000 PSI (Tipo III) |                          |                  |                          |
|--|--------------------------|------------------|--------------------------|
| Cemento Tipo III, con aditivo retardante                   |                          |                  |                          |
| Fecha de fabricación:                                      | 19 de Septiembre de 2013 | Fecha de rotura: | 26 de Septiembre de 2013 |
| Cantidad de muestras:                                      | 5 Unidades               | Slump:           | 17,78 cm.                |
| Muestra  |                          | Agua potable     |                          |
| # de Cilindros   | Edad Cilindro            | Fuerza PSI       |                          |
| Cilindro N° 1  | 7 días                   | 3.805            |                          |
| Cilindro N° 2  | 7 días                   | 4.365            |                          |
| <b>Promedio Obtenido</b>                                   |                          | <b>4.085,00</b>  |                          |

**Tabla N° 19.** Resistencia obtenida para cilindros de 4000 Psi a los 7 días, Tipo III, con aditivo retardante

| Resistencia de Diseño para Concreto de 4000 PSI (Tipo III) |                          |                  |                      |
|--|--------------------------|------------------|----------------------|
| Cemento Tipo III, con aditivo retardante                   |                          |                  |                      |
| Fecha de fabricación:                                      | 19 de Septiembre de 2013 | Fecha de rotura: | 3 de Octubre de 2013 |
| Cantidad de muestras:                                      | 5 Unidades               | Slump:           | 17,78 cm.            |
| Muestra  |                          | Agua potable     |                      |
| # de Cilindros   | Edad Cilindro            | Fuerza PSI       |                      |
| Cilindro N° 1  | 14 días                  | 4.737            |                      |
| Cilindro N° 2  | 14 días                  | 4.079            |                      |
| <b>Promedio Obtenido</b>                                   |                          | <b>4.408,00</b>  |                      |

**Tabla N° 20.** Resistencia obtenida para cilindros de 4000 Psi a los 14 días, Tipo III, con aditivo retardante

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

| Resistencia de Diseño para Concreto de 4000 PSI (Tipo III) |                          |                  |                       |
|--|--------------------------|------------------|-----------------------|
| Cemento Tipo III, con aditivo retardante                   |                          |                  |                       |
| Fecha de fabricación:                                      | 19 de Septiembre de 2013 | Fecha de rotura: | 17 de Octubre de 2013 |
| Cantidad de muestras:                                      | 5 Unidades               | Slump:           | 17,78 cm              |
| Muestra  |                          | Agua potable     |                       |
| # de Cilindros   | Edad Cilindro            | Fuerza PSI       |                       |
| Cilindro N° 1  | 28 días                  | 4.301            |                       |
| Cilindro N° 2  | 28 días                  | 3.738            |                       |
| <b>Promedio Obtenido</b>                                   |                          | <b>4.019,50</b>  |                       |

**Tabla N° 21.** Resistencia obtenida para cilindros de 4000 Psi a los 28 días, Tipo III, con aditivo retardante

| Resistencia de Diseño para Concreto de 4000 PSI (Tipo III) |                          |                  |                          |
|--|--------------------------|------------------|--------------------------|
| Cemento Tipo III, con aditivo acelerante                   |                          |                  |                          |
| Fecha de fabricación:                                      | 19 de Septiembre de 2013 | Fecha de rotura: | 26 de Septiembre de 2013 |
| Cantidad de muestras:                                      | 5 Unidades               | Slumps:          | 20,32 cm.                |
| Muestra  |                          | Agua potable     |                          |
| # de Cilindros   | Edad Cilindro            | Fuerza PSI       |                          |
| Cilindro N° 1  | 7 días                   | 4.650            |                          |
| Cilindro N° 2  | 7 días                   | 4.775            |                          |
| <b>Promedio Obtenido</b>                                   |                          | <b>4.712,50</b>  |                          |

**Tabla N° 22.** Resistencia obtenida para cilindros de 4000 Psi a los 7 días, Tipo III, con aditivo acelerante

| Resistencia de Diseño para Concreto de 4000 PSI (Tipo III) |                          |                  |                      |
|--|--------------------------|------------------|----------------------|
| Cemento Tipo III, con aditivo acelerante                   |                          |                  |                      |
| Fecha de fabricación:                                      | 19 de Septiembre de 2013 | Fecha de rotura: | 3 de Octubre de 2013 |
| Cantidad de muestras:                                      | 5 Unidades               | Slumps:          | 20,32 cm.            |
| Muestra  |                          | Agua potable     |                      |
| # de Cilindros   | Edad Cilindro            | Fuerza PSI       |                      |
| Cilindro N° 1  | 14 días                  | 5.577            |                      |
| Cilindro N° 2  | 14 días                  | 4.765            |                      |
| <b>Promedio Obtenido</b>                                   |                          | <b>5.171,00</b>  |                      |

**Tabla N° 23.** Resistencia obtenida para cilindros de 4000 Psi a los 14 días, Tipo III, con aditivo acelerante

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

| Resistencia de Diseño para Concreto de 4000 PSI (Tipo III) |                          |                  |                       |
|--|--------------------------|------------------|-----------------------|
| Cemento Tipo III, con aditivo acelerante                   |                          |                  |                       |
| Fecha de fabricación:                                      | 19 de Septiembre de 2013 | Fecha de rotura: | 17 de Octubre de 2013 |
| Cantidad de muestras:                                      | 5 Unidades               | Slumps:          | 20,32 cm              |
| Muestra  |                          | Agua potable     |                       |
| # de Cilindros   | Edad Cilindro            | Fuerza PSI       |                       |
| Cilindro N° 1  | 28 días                  | 5.023            |                       |
| Cilindro N° 2  | 28 días                  | 4.630            |                       |
| <b>Promedio Obtenido</b>                                   |                          | <b>4.826,50</b>  |                       |

**Tabla N° 24.** Resistencia obtenida para cilindros de 4000 Psi a los 28 días, Tipo III, con aditivo acelerante

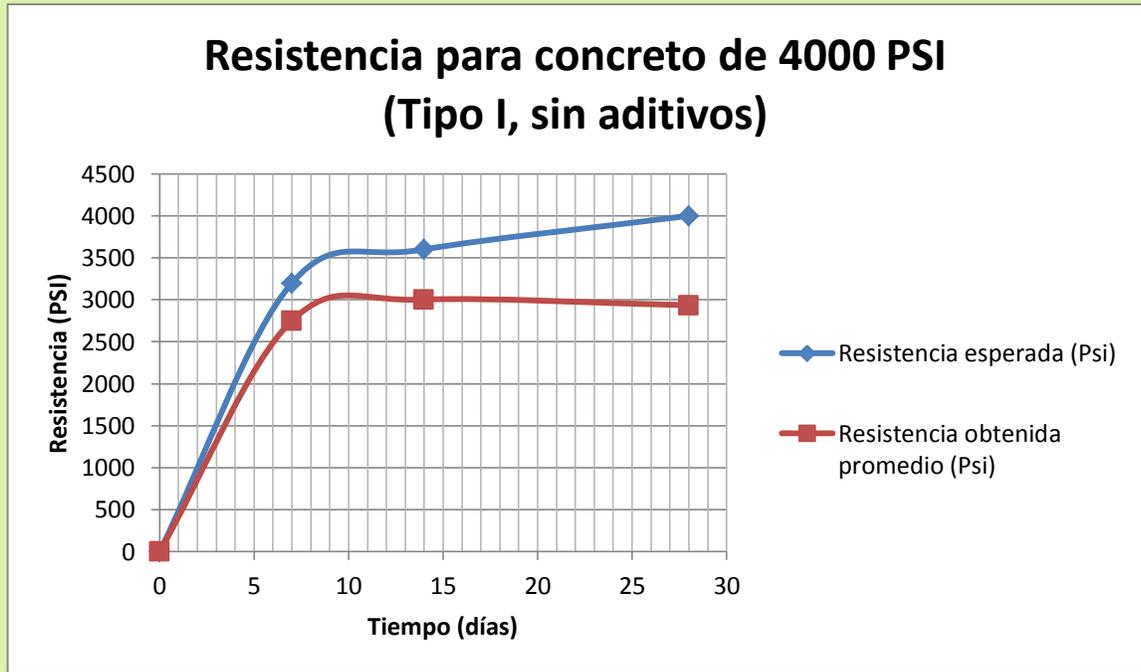
A continuación mostraremos los resultados de las resistencias obtenidas en forma de tablas y gráficas en comparación con las resistencias de diseño esperadas:

**Resistencia para concreto de 4000 Psi (Tipo I, sin aditivos)**

| Tiempo (días) | Resistencia esperada (Psi) | Resistencia obtenida promedio (Psi) | Resistencia esperada (%) | Resistencia respecto a esperada (%) | Porcentaje de disminución |
|---------------|----------------------------|-------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| 0             | 0                          | 0                                   | 0                        | 0                                   | 0                         |
| 7             | 3.200                      | 2.751                               | 80                       | 68,775                              | 11,225                    |
| 14            | 3.600                      | 3.001,50                            | 90                       | 75,0375                             | 14,9625                   |
| 28            | 4.000                      | 2.935                               | 100                      | 73,375                              | 26,625                    |

**Tabla N° 25.** Resistencias obtenidas para concreto de 4000 Psi (Tipo I, sin aditivos) en relación a la resistencia de diseño esperada

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.



**Gráfica N° 1.** Resistencia Vs. Tiempo, en cilindros de 4000 Psi - Tipo I, sin aditivos

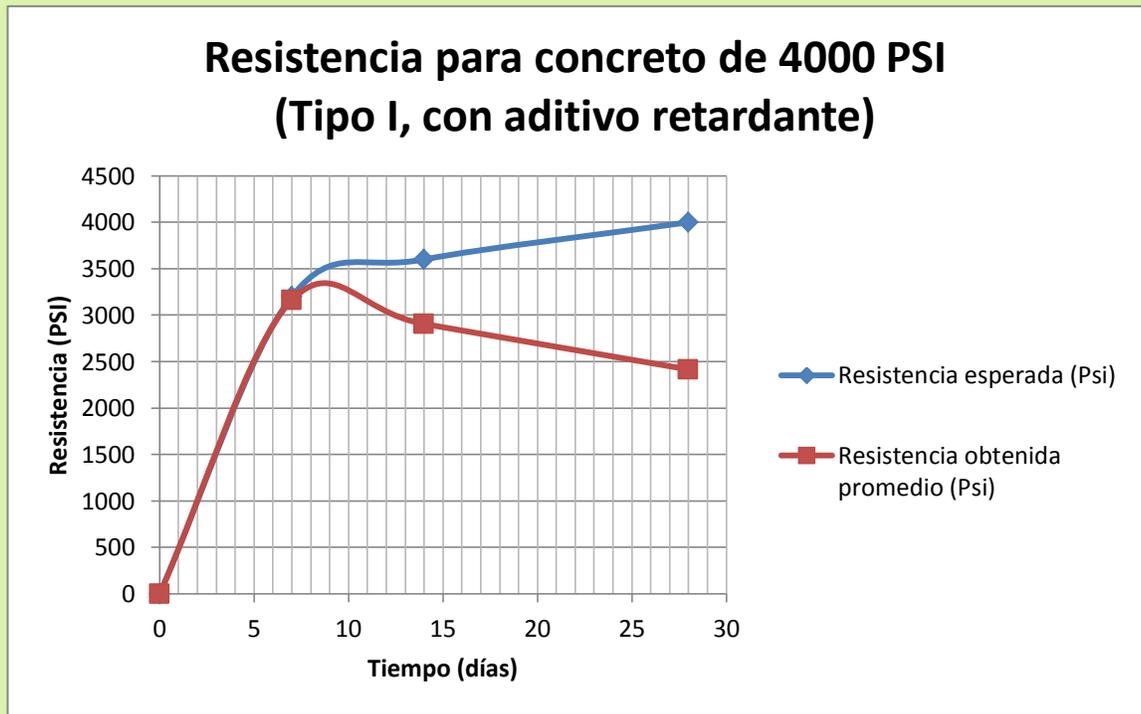
La mezcla de concreto con cemento Tipo I, sin aditivos, presenta una resistencia a la compresión, a las edades de 7, 14 y 28 días, decreciente, observándose una disminución con respecto a la resistencia esperada, de 11,225%, 14,9625% y 26,625%, respectivamente.

**Resistencia para concreto de 4000 Psi (Tipo I, con aditivo retardante)**

| Tiempo (días) | Resistencia esperada (Psi) | Resistencia obtenida promedio (Psi) | Resistencia esperada (%) | Resistencia respecto a esperada (%) | Porcentaje de disminución |
|---------------|----------------------------|-------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| 0             | 0                          | 0                                   | 0                        | 0                                   | 0                         |
| 7             | 3.200                      | 3.162,50                            | 80                       | 79,0625                             | 0,9375                    |
| 14            | 3.600                      | 2.905,50                            | 90                       | 72,6375                             | 17,3625                   |
| 28            | 4.000                      | 2.415                               | 100                      | 60,375                              | 39,625                    |

**Tabla N° 26.** Resistencias obtenidas para concreto de 4000 PSI (Tipo I, con aditivo retardante) en relación a la resistencia de diseño esperada

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.



**Gráfica N° 2.** Resistencia Vs. Tiempo, en cilindros de 4000 Psi - Tipo I, con aditivo retardante

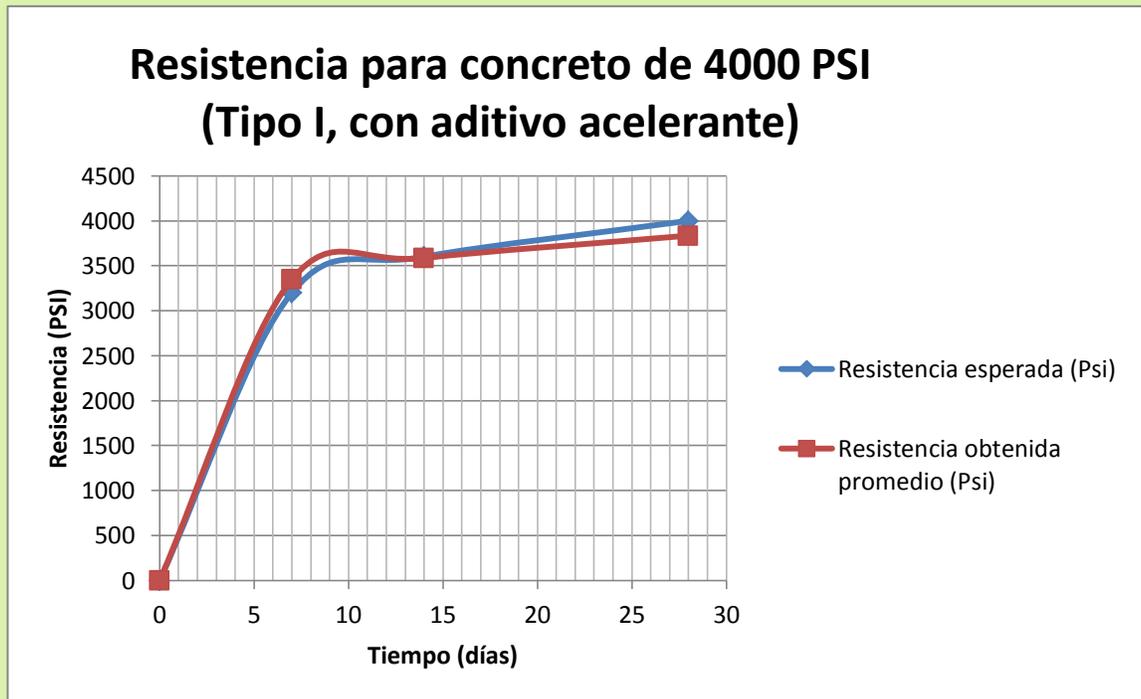
La mezcla de concreto con cemento Tipo I, adicionándole aditivo retardante, presenta una resistencia a la compresión, a las edades de 7, 14 y 28 días, decreciente, observándose una disminución con respecto a la resistencia esperada, de 0,9375%, 17,3625% y 39,625%, respectivamente.

**Resistencia para concreto de 4000 Psi (Tipo I, con aditivo acelerante)**

| Tiempo (días) | Resistencia esperada (Psi) | Resistencia obtenida promedio (Psi) | Resistencia esperada (%) | Resistencia respecto a esperada (%) | Porcentaje de disminución |
|---------------|----------------------------|-------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| 0             | 0                          | 0                                   | 0                        | 0                                   | 0                         |
| 7             | 3.200                      | 3.346,50                            | 80                       | 83,6625                             | -3,6625                   |
| 14            | 3.600                      | 3.586                               | 90                       | 89,65                               | 0,35                      |
| 28            | 4.000                      | 3.835                               | 100                      | 95,875                              | 4,125                     |

**Tabla N° 27.** Resistencias obtenidas para concreto de 4000 Psi (Tipo I, con aditivo acelerante) en relación a la resistencia de diseño esperada

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.



**Gráfica N° 3.** Resistencia Vs. Tiempo, en cilindros de 4000 Psi - Tipo I, con aditivo acelerante

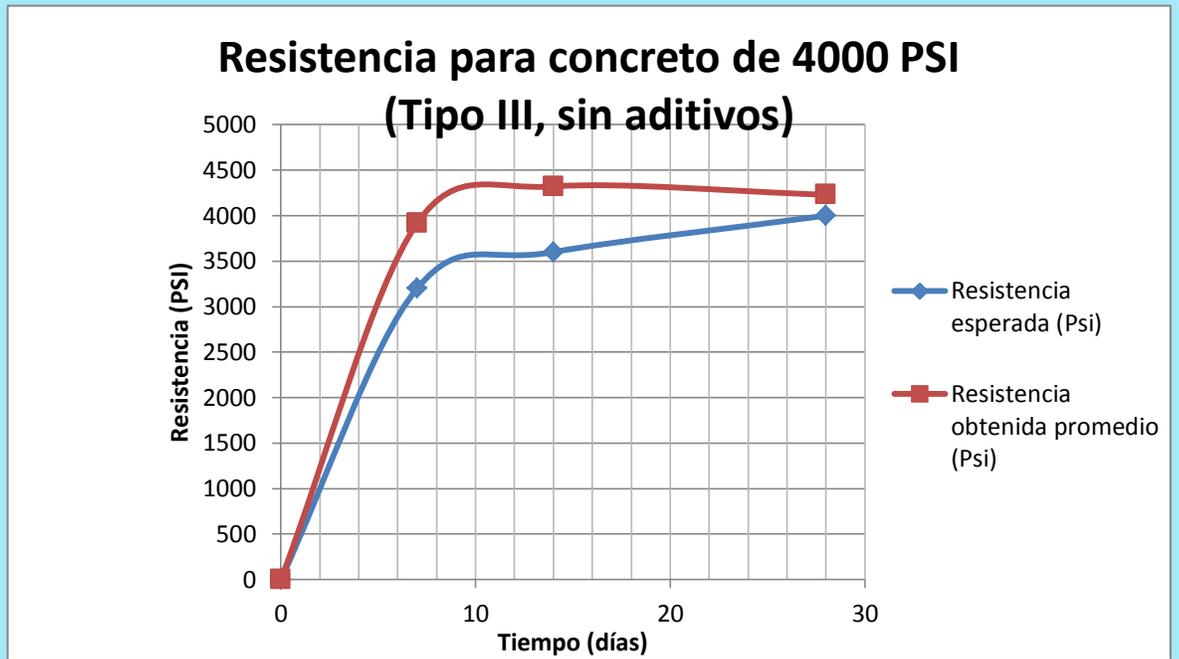
La mezcla de concreto con cemento Tipo I, adicionándole aditivo acelerante, presenta una resistencia a la compresión, a las edades de 7, 14 y 28 días, estable, observándose una ligera disminución con respecto a la resistencia esperada, de -3,6625%, 0,35% y 4,125%, respectivamente.

**Resistencia para concreto de 4000 Psi (Tipo III, sin aditivos)**

| Tiempo (días) | Resistencia esperada (Psi) | Resistencia obtenida promedio (Psi) | Resistencia esperada (%) | Resistencia respecto a esperada (%) | Porcentaje de disminución |
|---------------|----------------------------|-------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| 0             | 0                          | 0                                   | 0                        | 0                                   | 0                         |
| 7             | 3.200                      | 3.917,50                            | 80                       | 97,9375                             | -17,9375                  |
| 14            | 3.600                      | 4.321,50                            | 90                       | 108,0375                            | -18,0375                  |
| 28            | 4.000                      | 4.230,50                            | 100                      | 105,7625                            | -5,7625                   |

**Tabla N° 28.** Resistencias obtenidas para concreto de 4000 Psi (Tipo III, sin aditivos) en relación a la resistencia de diseño esperada

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.



**Gráfica N° 4.** Resistencia Vs. Tiempo, en cilindros de 4000 Psi - Tipo III, sin aditivos

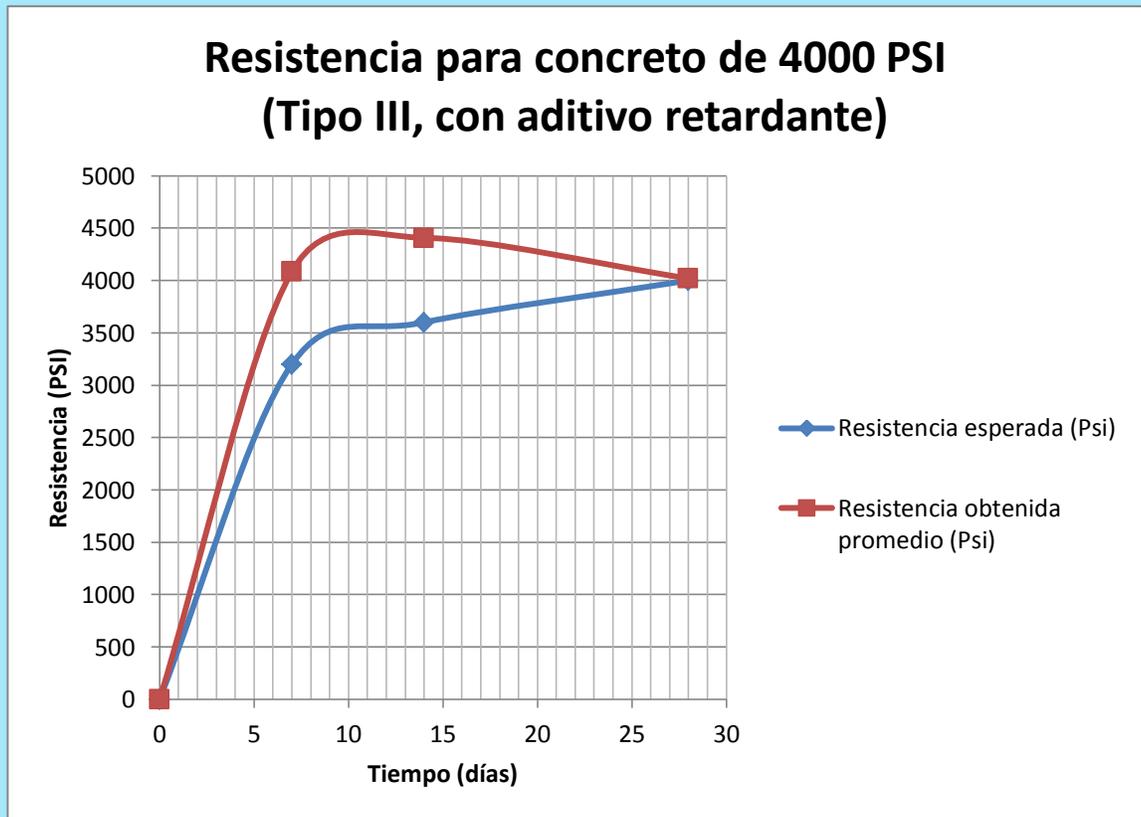
La mezcla de concreto con cemento Tipo III, sin aditivos, presenta una resistencia a la compresión, a las edades de 7, 14 y 28 días, creciente, observándose un aumento con respecto a la resistencia esperada, de 17,9375%, 18,0375% y 5,7625%, respectivamente.

**Resistencia para concreto de 4000 Psi (Tipo III, con aditivo retardante)**

| Tiempo (días) | Resistencia esperada (Psi) | Resistencia obtenida promedio (Psi) | Resistencia esperada (%) | Resistencia respecto a esperada (%) | Porcentaje de disminución |
|---------------|----------------------------|-------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| 0             | 0                          | 0                                   | 0                        | 0                                   | 0                         |
| 7             | 3.200                      | 4.085                               | 80                       | 102,125                             | -22,125                   |
| 14            | 3.600                      | 4.408                               | 90                       | 110,2                               | -20,2                     |
| 28            | 4.000                      | 4.019,50                            | 100                      | 100,4875                            | -0,4875                   |

**Tabla N° 29.** Resistencias obtenidas para concreto de 4000 Psi (Tipo III, con aditivo retardante) en relación a la resistencia de diseño esperada

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.



**Gráfica N° 5.** Resistencia Vs. Tiempo, en cilindros de 4000 Psi - Tipo III, con aditivo retardante

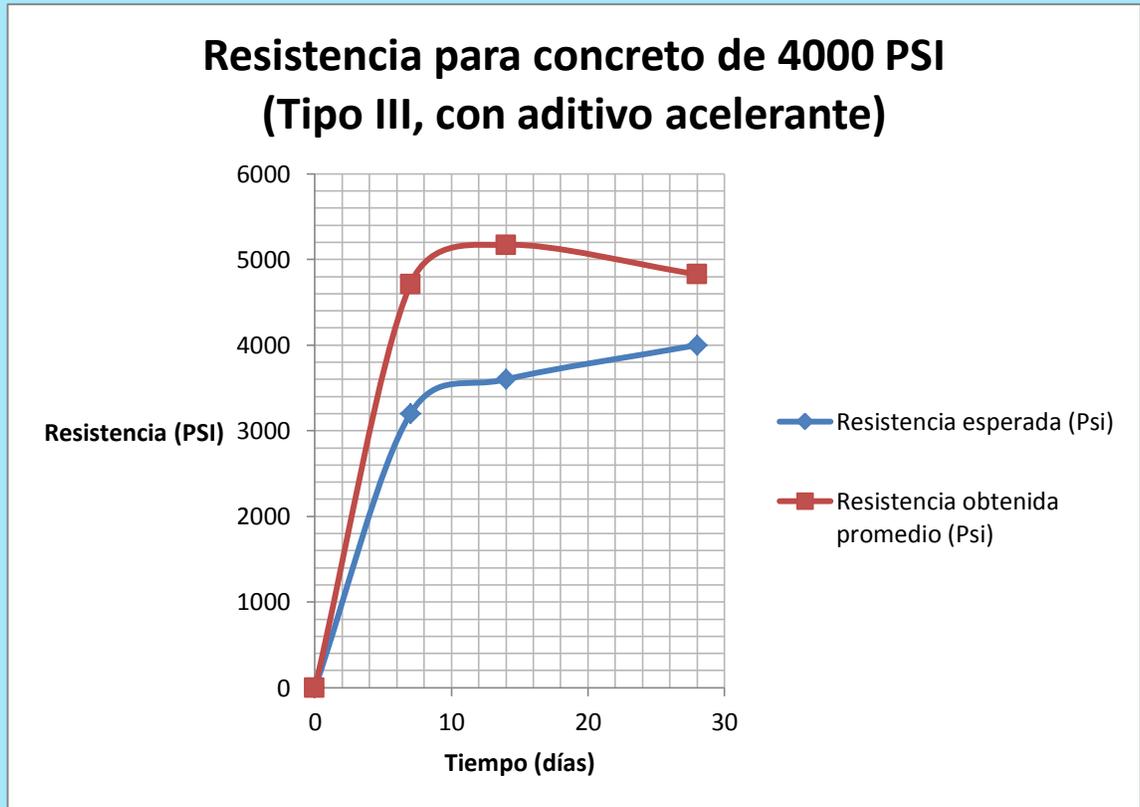
La mezcla de concreto con cemento Tipo III, adicionándole aditivo retardante, presenta una resistencia a la compresión, a las edades de 7, 14 y 28 días, creciente, observándose un aumento con respecto a la resistencia esperada, de 22,125%, 20,2% y 0,4875%, respectivamente.

**Resistencia para concreto de 4000 Psi (Tipo III, con aditivo acelerante)**

| Tiempo (días) | Resistencia esperada (Psi) | Resistencia obtenida promedio (Psi) | Resistencia esperada (%) | Resistencia respecto a esperada (%) | Porcentaje de disminución |
|---------------|----------------------------|-------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| 0             | 0                          | 0                                   | 0                        | 0                                   | 0                         |
| 7             | 3.200                      | 4.712,50                            | 80                       | 117,8125                            | -37,8125                  |
| 14            | 3.600                      | 5.171                               | 90                       | 129,275                             | -39,275                   |
| 28            | 4.000                      | 4.826,50                            | 100                      | 120,6625                            | -20,6625                  |

**Tabla N° 30.** Resistencias obtenidas para concreto de 4000 Psi (Tipo III, con aditivo acelerante) en relación a la resistencia de diseño esperada

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.



**Gráfica N° 6.** Resistencia Vs. Tiempo, en cilindros de 4000 Psi - Tipo III, con aditivo acelerante

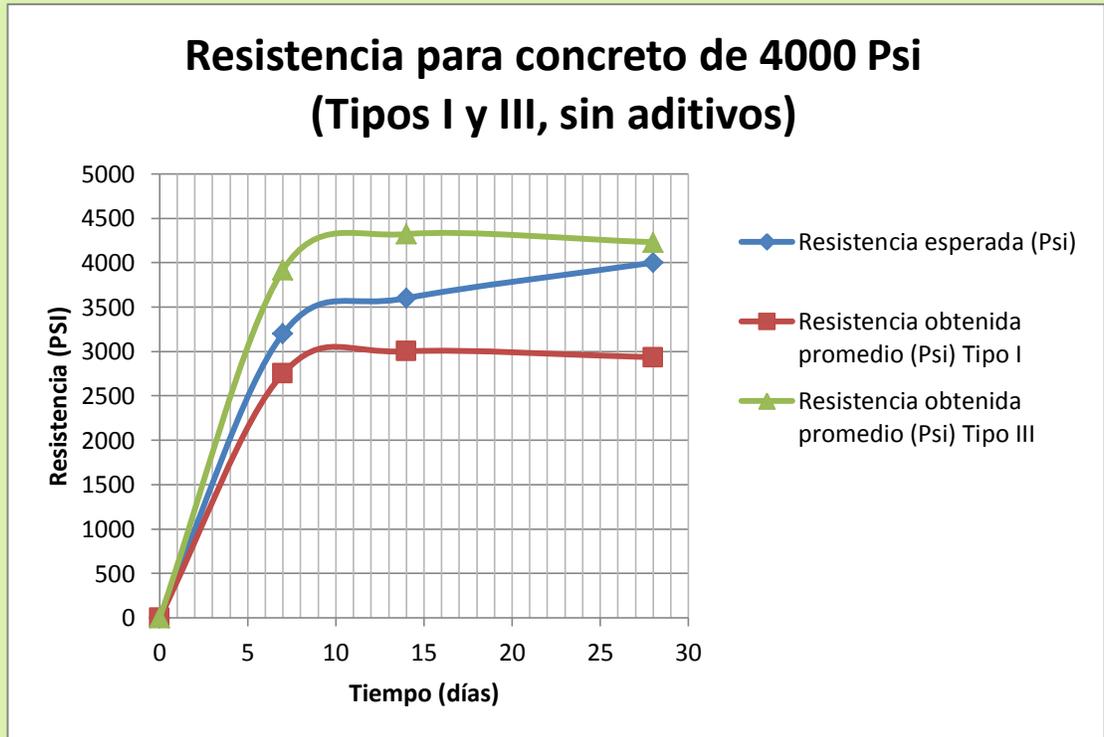
La mezcla de concreto con cemento Tipo III, adicionándole aditivo acelerante, presenta una resistencia a la compresión, a las edades de 7, 14 y 28 días, creciente, observándose un aumento con respecto a la resistencia esperada, de 37,8125%, 39,275% y 20,6625%, respectivamente.

**Resistencia para concreto de 4000 Psi (Tipos I y III, sin aditivos)**

| Tiempo (días) | Resistencia esperada (Psi) | Resistencia obtenida promedio (Psi) Tipo I | Resistencia obtenida promedio (Psi) Tipo III | Resistencia esperada (%) | Resistencia respecto a esperada (%) Tipo I | Porcentaje de disminución | Resistencia respecto a esperada (%) Tipo III | Porcentaje de disminución |
|---------------|----------------------------|--|--|--------------------------|--|---------------------------|--|---------------------------|
| 0             | 0                          | 0  | 0  | 0                        | 0  | 0                         | 0  | 0                         |
| 7             | 3.200                      | 2.751                                      | 3.917,50                                     | 80                       | 68,775                                     | 11,225                    | 97,9375                                      | -17,9375                  |
| 14            | 3.600                      | 3.001,50                                   | 4.321,50                                     | 90                       | 75,0375                                    | 14,9625                   | 108,0375                                     | -18,0375                  |
| 28            | 4.000                      | 2.935                                      | 4.230,50                                     | 100                      | 73,375                                     | 26,625                    | 105,7625                                     | -5,7625                   |

**Tabla N° 31.** Resistencias obtenidas para concreto de 4000 PSI (Tipos I y III, sin aditivos) en relación a la resistencia de diseño esperada

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.



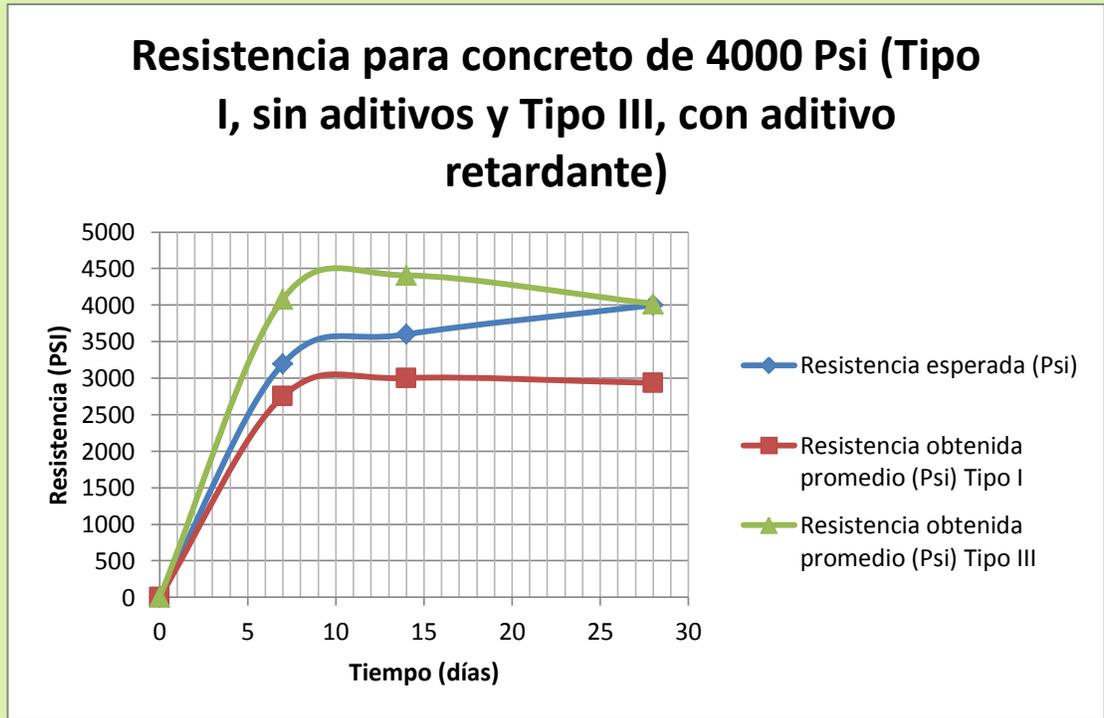
**Gráfica N° 7.** Resistencia Vs. Tiempo, en cilindros de 4000 PSI Tipos I y III, sin aditivos

**Resistencia para concreto de 4000 Psi (Tipo I, sin aditivos y Tipo III, con aditivo retardante)**

| Tiempo (días) | Resistencia esperada (Psi) | Resistencia obtenida promedio (Psi) Tipo I | Resistencia obtenida promedio (Psi) Tipo III | Resistencia esperada (%) | Resistencia respecto a esperada (%) Tipo I | Porcentaje de disminución | Resistencia respecto a esperada (%) Tipo III | Porcentaje de disminución |
|---------------|----------------------------|--|--|--------------------------|--|---------------------------|--|---------------------------|
| 0             | 0                          | 0  | 0  | 0                        | 0  | 0                         | 0  | 0                         |
| 7             | 3.200                      | 2.751                                      | 4.085  | 80                       | 68,775                                     | 11,225                    | 102,125                                      | -22,125                   |
| 14            | 3.600                      | 3.001,50                                   | 4.408  | 90                       | 75,0375                                    | 14,9625                   | 110,2  | -20,2                     |
| 28            | 4.000                      | 2.935                                      | 4.019,50                                     | 100                      | 73,375                                     | 26,625                    | 100,4875                                     | -0,4875                   |

**Tabla N° 32.** Resistencias obtenidas para concreto de 4000 PSI (Tipo I, sin aditivos y Tipo III, con aditivo retardante) en relación a la resistencia de diseño esperada

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.



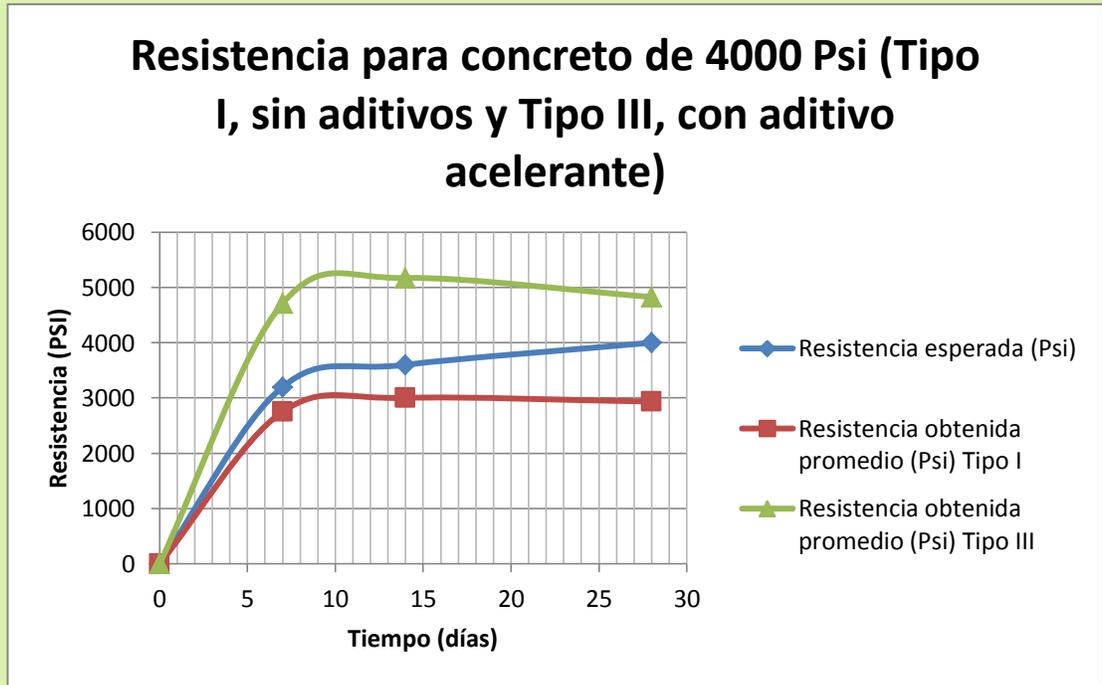
**Gráfica N° 8.** Resistencia Vs. Tiempo, en cilindros de 4000 PSI Tipo I, sin aditivos y Tipo III, con aditivo retardante

**Resistencia para concreto de 4000 Psi (Tipo I, sin aditivos y Tipo III, con aditivo acelerante)**

| Tiempo (días) | Resistencia esperada (Psi) | Resistencia obtenida promedio (Psi) Tipo I | Resistencia obtenida promedio (Psi) Tipo III | Resistencia esperada (%) | Resistencia respecto a esperada (%) Tipo I | Porcentaje de disminución | Resistencia respecto a esperada (%) Tipo III | Porcentaje de disminución |
|---------------|----------------------------|--|--|--------------------------|--|---------------------------|--|---------------------------|
| 0             | 0                          | 0  | 0  | 0                        | 0  | 0                         | 0  | 0                         |
| 7             | 3.200                      | 2.751                                      | 4.712,50                                     | 80                       | 68,775                                     | 11,225                    | 117,8125                                     | -37,8125                  |
| 14            | 3.600                      | 3.001,50                                   | 5.171  | 90                       | 75,0375                                    | 14,9625                   | 129,275                                      | -39,275                   |
| 28            | 4.000                      | 2.935                                      | 4.826,50                                     | 100                      | 73,375                                     | 26,625                    | 120,6625                                     | -20,6625                  |

**Tabla N° 33.** Resistencias obtenidas para concreto de 4000 PSI (Tipo I, sin aditivos y Tipo III, con aditivo acelerante) en relación a la resistencia de diseño esperada

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.



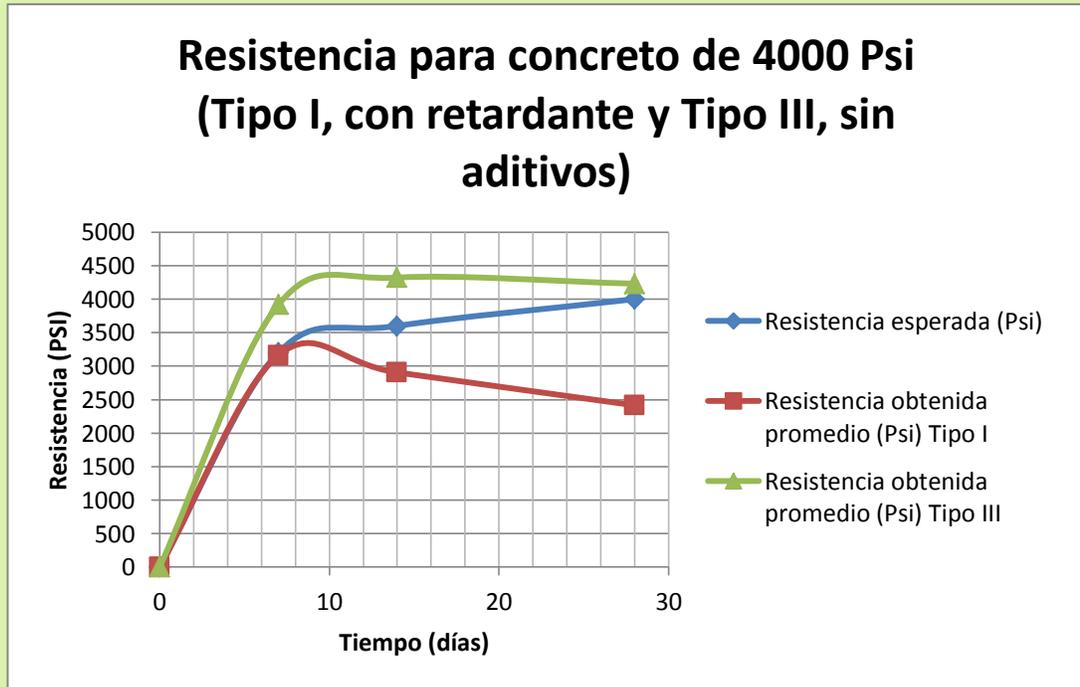
**Gráfica N° 9.** Resistencia Vs. Tiempo, en cilindros de 4000 PSI Tipos I, sin aditivos y Tipo III, con aditivo acelerante

**Resistencia para concreto de 4000 Psi (Tipo I, con aditivo retardante y Tipo III, sin aditivos)**

| Tiempo (días) | Resistencia esperada (Psi) | Resistencia obtenida promedio (Psi) Tipo I | Resistencia obtenida promedio (Psi) Tipo III | Resistencia esperada (%) | Resistencia respecto a esperada (%) Tipo I | Porcentaje de disminución | Resistencia respecto a esperada (%) Tipo III | Porcentaje de disminución |
|---------------|----------------------------|--|--|--------------------------|--|---------------------------|--|---------------------------|
| 0             | 0                          | 0  | 0  | 0                        | 0  | 0                         | 0  | 0                         |
| 7             | 3.200                      | 3.162,50                                   | 3.917,50                                     | 80                       | 79,0625                                    | 0,9375                    | 97,9375                                      | -17,9375                  |
| 14            | 3.600                      | 2.905,50                                   | 4.321,50                                     | 90                       | 72,6375                                    | 17,3625                   | 108,0375                                     | -18,0375                  |
| 28            | 4.000                      | 2.415                                      | 4.230,50                                     | 100                      | 60,375                                     | 39,625                    | 105,7625                                     | -5,7625                   |

**Tabla N° 34.** Resistencias obtenidas para concreto de 4000 PSI (Tipo I, con aditivo retardante y Tipo III, sin aditivos) en relación a la resistencia de diseño esperada

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.



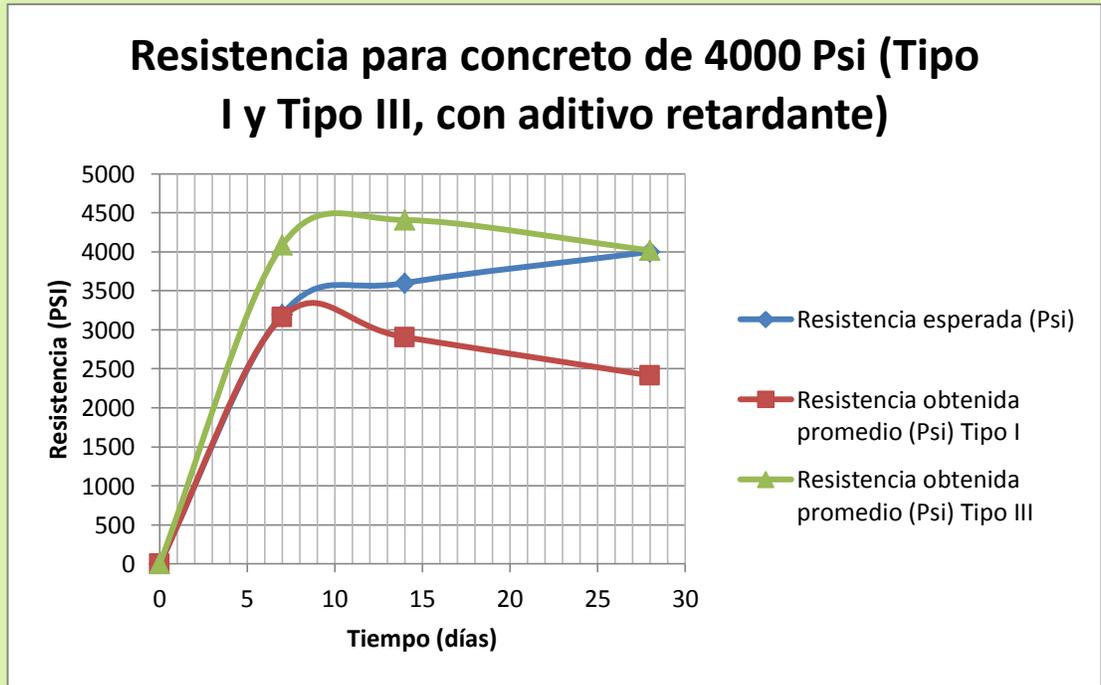
**Gráfica N° 10.** Resistencia Vs. Tiempo, en cilindros de 4000 PSI Tipo I, con aditivo retardante y Tipo III, sin aditivos

**Resistencia para concreto de 4000 Psi (Tipo I y III, con aditivo retardante)**

| Tiempo (días) | Resistencia esperada (Psi) | Resistencia obtenida promedio (Psi) Tipo I | Resistencia obtenida promedio (Psi) Tipo III | Resistencia esperada (%) | Resistencia respecto a esperada (%) Tipo I | Porcentaje de disminución | Resistencia respecto a esperada (%) Tipo III | Porcentaje de disminución |
|---------------|----------------------------|--|--|--------------------------|--|---------------------------|--|---------------------------|
| 0             | 0                          | 0  | 0  | 0                        | 0  | 0                         | 0  | 0                         |
| 7             | 3.200                      | 3.162,50                                   | 4.085  | 80                       | 79,0625                                    | 0,9375                    | 102,125                                      | -22,125                   |
| 14            | 3.600                      | 2.905,50                                   | 4.408  | 90                       | 72,6375                                    | 17,3625                   | 110,2  | -20,2                     |
| 28            | 4.000                      | 2.415                                      | 4.019,50                                     | 100                      | 60,375                                     | 39,625                    | 100,4875                                     | -0,4875                   |

**Tabla N° 35.** Resistencias obtenidas para concreto de 4000 PSI (Tipos I y III, con aditivo retardante) en relación a la resistencia de diseño esperada

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.



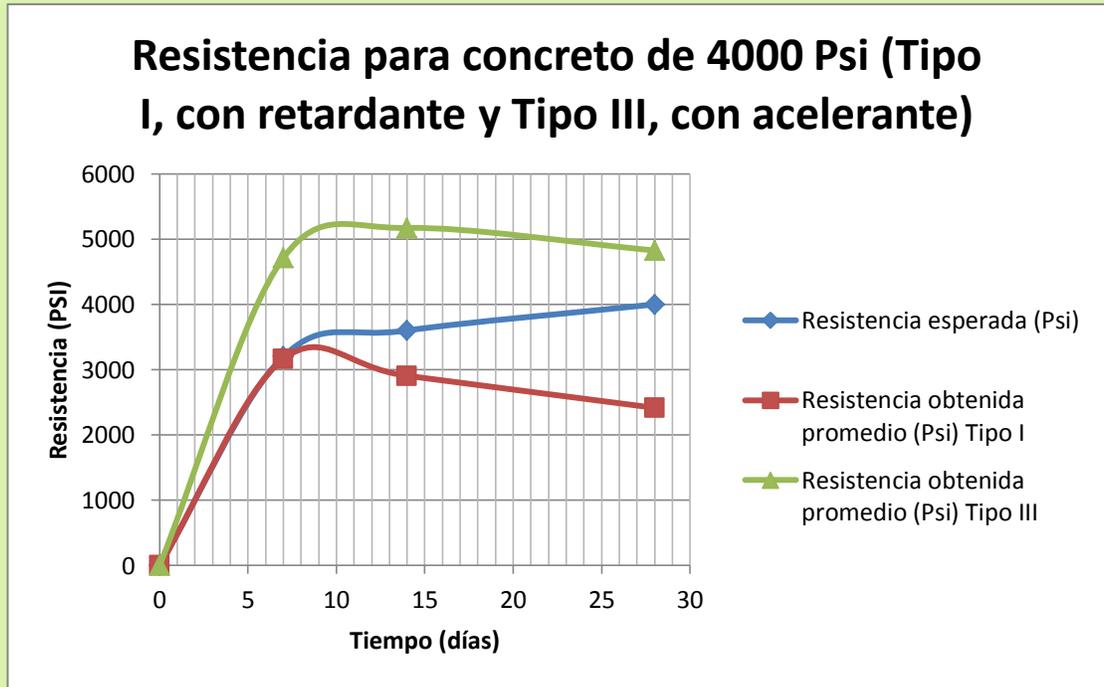
Gráfica N° 11. Resistencia Vs. Tiempo, en cilindros de 4000 PSI Tipos I y III, con aditivo retardante

Resistencia para concreto de 4000 Psi (Tipo I, con aditivo retardante y Tipo III, con aditivo acelerante)

| Tiempo (días) | Resistencia esperada (Psi) | Resistencia obtenida promedio (Psi) Tipo I | Resistencia obtenida promedio (Psi) Tipo III | Resistencia esperada (%) | Resistencia respecto a esperada (%) Tipo I | Porcentaje de disminución | Resistencia respecto a esperada (%) Tipo III | Porcentaje de disminución |
|---------------|----------------------------|--|--|--------------------------|--|---------------------------|--|---------------------------|
| 0             | 0                          | 0  | 0  | 0                        | 0  | 0                         | 0  | 0                         |
| 7             | 3.200                      | 3.162,50                                   | 4.712,50                                     | 80                       | 79,0625                                    | 0,9375                    | 117,8125                                     | -37,8125                  |
| 14            | 3.600                      | 2.905,50                                   | 5.171  | 90                       | 72,6375                                    | 17,3625                   | 129,275                                      | -39,275                   |
| 28            | 4.000                      | 2.415                                      | 4.826,50                                     | 100                      | 60,375                                     | 39,625                    | 120,6625                                     | -20,6625                  |

Tabla N° 36. Resistencias obtenidas para concreto de 4000 PSI (Tipo I, con aditivo retardante y Tipo III, con aditivo acelerante) en relación a la resistencia de diseño esperada

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.



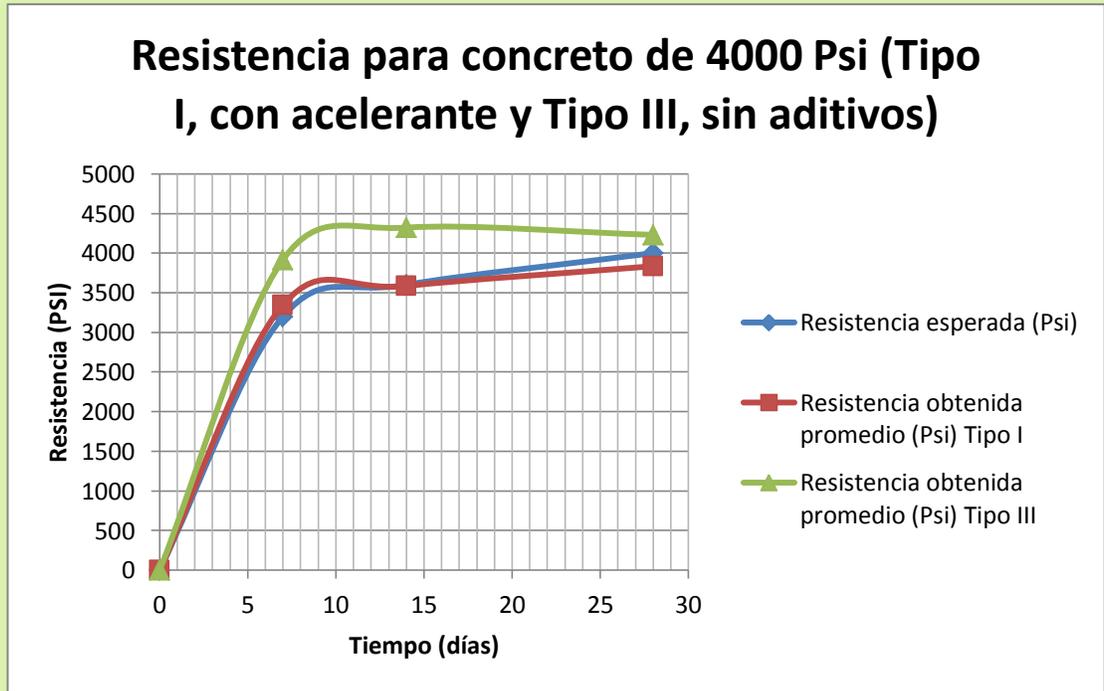
**Gráfica N° 12.** Resistencia Vs. Tiempo, en cilindros de 4000 PSI Tipo I, con aditivo retardante y Tipo III, con aditivo acelerante

**Resistencia para concreto de 4000 Psi (Tipo I, con aditivo acelerante y Tipo III, sin aditivos)**

| Tiempo (días) | Resistencia esperada (Psi) | Resistencia obtenida promedio (Psi) Tipo I | Resistencia obtenida promedio (Psi) Tipo III | Resistencia esperada (%) | Resistencia respecto a esperada (%) Tipo I | Porcentaje de disminución | Resistencia respecto a esperada (%) Tipo III | Porcentaje de disminución |
|---------------|----------------------------|--|--|--------------------------|--|---------------------------|--|---------------------------|
| 0             | 0                          | 0  | 0  | 0                        | 0  | 0                         | 0  | 0                         |
| 7             | 3.200                      | 3.346,50                                   | 3.917,50                                     | 80                       | 83,6625                                    | -3,6625                   | 97,9375                                      | -17,9375                  |
| 14            | 3.600                      | 3.586                                      | 4.321,50                                     | 90                       | 89,65                                      | 0,35                      | 108,0375                                     | -18,0375                  |
| 28            | 4.000                      | 3.835                                      | 4.230,50                                     | 100                      | 95,875                                     | 4,125                     | 105,7625                                     | -5,7625                   |

**Tabla N° 37.** Resistencias obtenidas para concreto de 4000 PSI (Tipo I, con aditivo acelerante y Tipo III, sin aditivos) en relación a la resistencia de diseño esperada

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.



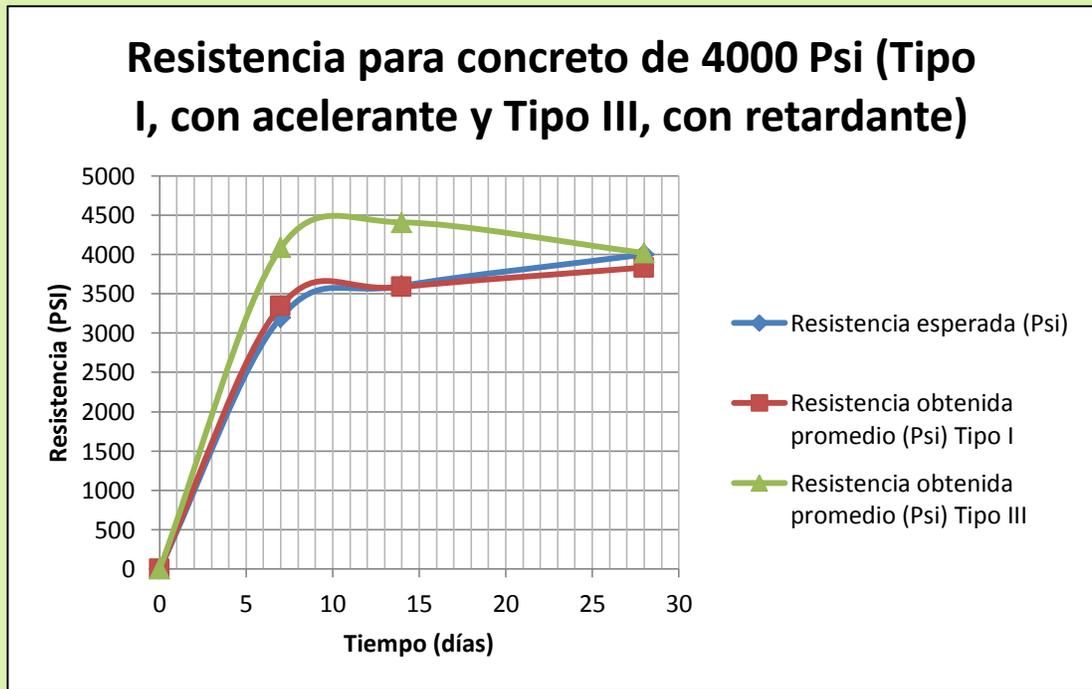
**Gráfica N° 13.** Resistencia Vs. Tiempo, en cilindros de 4000 PSI Tipo I, con aditivo acelerante y Tipo III, sin aditivos

**Resistencia para concreto de 4000 Psi (Tipo I, con aditivo acelerante y Tipo III, con aditivo retardante)**

| Tiempo (días) | Resistencia esperada (Psi) | Resistencia obtenida promedio (Psi) Tipo I | Resistencia obtenida promedio (Psi) Tipo III | Resistencia esperada (%) | Resistencia respecto a esperada (%) Tipo I | Porcentaje de disminución | Resistencia respecto a esperada (%) Tipo III | Porcentaje de disminución |
|---------------|----------------------------|--|--|--------------------------|--|---------------------------|--|---------------------------|
| 0             | 0                          | 0  | 0  | 0                        | 0  | 0                         | 0  | 0                         |
| 7             | 3.200                      | 3.346,50                                   | 4.085  | 80                       | 83,6625                                    | -3,6625                   | 102,125                                      | -22,125                   |
| 14            | 3.600                      | 3.586                                      | 4.408  | 90                       | 89,65                                      | 0,35                      | 110,2  | -20,2                     |
| 28            | 4.000                      | 3.835                                      | 4.019,50                                     | 100                      | 95,875                                     | 4,125                     | 100,4875                                     | -0,4875                   |

**Tabla N° 38.** Resistencias obtenidas para concreto de 4000 PSI (Tipo I, con aditivo acelerante y Tipo III, con aditivo retardante) en relación a la resistencia de diseño esperada

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.



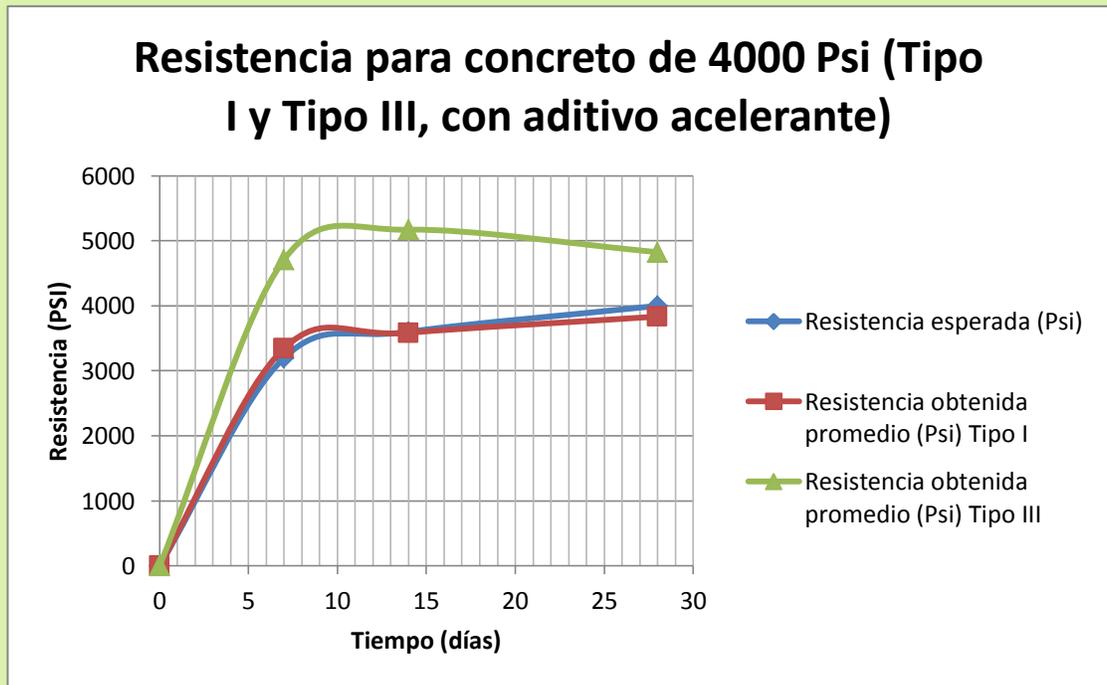
**Gráfica N° 14.** Resistencia Vs. Tiempo, en cilindros de 4000 PSI Tipo I, con aditivo acelerante y Tipo III, con aditivo retardante

**Resistencia para concreto de 4000 Psi (Tipos I y III, con aditivo acelerante)**

| Tiempo (días) | Resistencia esperada (Psi) | Resistencia obtenida promedio (Psi) Tipo I | Resistencia obtenida promedio (Psi) Tipo III | Resistencia esperada (%) | Resistencia respecto a esperada (%) Tipo I | Porcentaje de disminución | Resistencia respecto a esperada (%) Tipo III | Porcentaje de disminución |
|---------------|----------------------------|--|--|--------------------------|--|---------------------------|--|---------------------------|
| 0             | 0                          | 0  | 0  | 0                        | 0  | 0                         | 0  | 0                         |
| 7             | 3.200                      | 3.346,50                                   | 4.712,50                                     | 80                       | 83,6625                                    | -3,6625                   | 117,8125                                     | -37,8125                  |
| 14            | 3.600                      | 3.586                                      | 5.171  | 90                       | 89,65                                      | 0,35                      | 129,275                                      | -39,275                   |
| 28            | 4.000                      | 3.835                                      | 4.826,50                                     | 100                      | 95,875                                     | 4,125                     | 120,6625                                     | -20,6625                  |

**Tabla N° 39.** Resistencias obtenidas para concreto de 4000 PSI (Tipos I y III, con aditivo acelerante) en relación a la resistencia de diseño esperada

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.



**Gráfica N° 15.** Resistencia Vs. Tiempo, en cilindros de 4000 PSI Tipos I y III, con aditivo acelerante

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

## 8. CONCLUSIONES

Para la buena elaboración del concreto y sus resultados óptimos, es de gran importancia que el ingeniero siga las proporciones que especifica el diseño de mezcla, así mismo debe regirse a las normas y especificaciones que garanticen una buena calidad del mismo.

El cemento tipo III desarrolla altas resistencias a edades tempranas, debido a que aunque en sus propiedades físicas es similar al Tipo I, su composición química es diferente y además sus partículas han sido molidas más refinadamente; influenciada también por el alto porcentaje de C3S como se puede observar en la siguiente tabla.

**Tabla 1.** Valores típicos de los compuestos de los diferentes tipos de cemento Pórtland

| Cemento  | Composición química en %                |  |  |  |
|----------|---|--|--|--|
|          | C <sub>3</sub> S<br>Silicato tricálcico | C <sub>2</sub> S<br>Silicato dicálcico | C <sub>3</sub> A<br>Aluminato tricálcico | C <sub>4</sub> AF<br>Ferroaluminato tetracálcico |
| Tipo I   | 48                                      | 25                                     | 12                                       | 8  |
| Tipo II  | 40                                      | 35                                     | 5  | 13   |
| Tipo III | <b>62</b>                               | 13                                     | 9  | 8  |
| Tipo IV  | 25                                      | 50                                     | 5  | 12   |
| Tipo V   | 38                                      | 37                                     | 4  | 9  |

**Fuente:** Libro Tecnología del concreto y el Mortero

## ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

Un alto grado de finura representa un costo considerable debido a que aumentan el tiempo de molienda; y cuanto más fino sea un cemento se deteriorará con mayor rapidez, debido a que absorbe más fácilmente la humedad del aire; liberan mayor cantidad de calor de hidratación ocasionando mayor retracción y por lo tanto, son más susceptibles a la fisuración. Pero un cemento fino, exuda menos que uno más grueso, debido a que retiene mejor el agua al tener mayor superficie de hidratación; por lo tanto, los tiempos de fraguado son menores, esto significa que las partículas gruesas demoran para hidratarse e inclusive no llegan a hacerlo nunca en forma interior, quedando dentro de ellas un núcleo inerte, lo cual se traduce en disminución de la resistencia a la compresión.

Conocer los tiempos de fraguado inicial y final, es importante porque así se puede estimar el tiempo disponible para mezclar, transportar, colocar, vibrar y afinar concreto en obra, así como para curarlo y colocarlo en servicio.

La propiedad que con mayor frecuencia se hace referencia es la resistencia a la compresión, debido a que es muy fácil evaluar y en la mayoría de los casos es suficiente para garantizar un buen comportamiento estructural. Sin embargo, no hay que olvidar que existen otras propiedades que deben ser controladas para mejorar la eficiencia de los procesos constructivos y aumentar su vida útil.

La dosificación de los aditivos debe hacerse siguiendo las instrucciones de los fabricantes, pues utilizados en cantidades menores o mayores a las recomendadas no producen los efectos deseados sobre la resistencia del concreto.

El período de curado de los elementos de concreto debe ser de por lo menos 7 días a una temperatura mínima de 10°C y máxima de 32°C.

## ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

Entre las fallas que se dieron en los cilindros para el ensayo de la resistencia a la compresión podemos enunciar unas de tipo Columnar, debiéndose esto a que el área superficial sometida a la carga de la prensa es mínima en relación con el área real y total del cilindro, también ocasionado por englobe o deformación de la mezcla en la parte superior del cilindro expuesta a la intemperie fuera del área circular del cilindro mismo.

**ILUSTRACION 7.** Tipos de fallas



**Fuente:** Castellón – De la Ossa, 2013

En la mezcla de concreto elaborado con cemento Tipo I, con o sin aditivos se presentó una resistencia a la compresión de tipo decreciente, esto pudo ser debido a que la relación agua/cemento no fue óptima para este diseño, ya que se utilizó la misma relación para las tres muestras de concreto, es decir, sin aditivos, con aditivo retardante y con aditivo acelerante. Con esto, en investigaciones futuras sugerimos variar la cantidad de aditivo bajo una misma relación agua–cemento para encontrar la cantidad óptima de aditivo a una edad de 28 días o en su defecto, para evaluar el poder reductor de agua del aditivo en cuestión y por ende todas las demás características afines con la reducción de

**ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.**

agua, controlando otros parámetros, como tiempo de fraguado y evolución de resistencias en particular.

En la mezcla de concreto elaborada con cemento Tipo III, con o sin aditivos se observó una resistencia a la compresión de tipo creciente, esto pudo ser a debido a que las partículas del cemento Tipo III, retienen mejor el agua al tener mejor superficie de hidratación, entonces los tiempos de fraguado serán menores, lo cual se traduce en un incremento en la resistencia a la compresión. Teniendo en cuenta la relación agua/cemento, ésta fue óptima para el diseño de 4000psi, ya que se utilizó la misma relación para las tres muestras de concreto, es decir, sin aditivos, con aditivo retardante y con aditivo acelerante y se obtuvieron buenos resultados. Como se puede observar en la siguiente tabla.

**Resistencia para concreto de 4000 Psi (Tipos I y III, con aditivo acelerante)**

| Tiempo (días) | Resistencia esperada (Psi) | Resistencia obtenida promedio (Psi) Tipo I | Resistencia obtenida promedio (Psi) Tipo III | Resistencia esperada (%) | Resistencia respecto a esperada (%) Tipo I | Porcentaje de disminución | Resistencia respecto a esperada (%) Tipo III | Porcentaje de disminución |
|---------------|----------------------------|--|--|--------------------------|--|---------------------------|--|---------------------------|
| 0             | 0                          | 0  | 0  | 0                        | 0  | 0                         | 0  | 0                         |
| 7             | 3.200                      | 3.346,50                                   | 4.712,50                                     | 80                       | 83,6625                                    | -3,6625                   | 117,8125                                     | -37,8125                  |
| 14            | 3.600                      | 3.586                                      | 5.171  | 90                       | 89,65                                      | 0,35                      | 129,275                                      | -39,275                   |
| 28            | 4.000                      | 3.835                                      | 4.826,50                                     | 100                      | 95,875                                     | 4,125                     | 120,6625                                     | -20,6625                  |

## ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

### 9. BIBLIOGRAFÍA

- Aranda, P. V. (Diciembre de 2008). Obtención del concreto de alta resistencia. Lima, Perú.
- ASTM C 191. (s.f.).
- Bernal López, S., Gordillo, M., Mejía de Gutierrez, R., Rodríguez Martínez, E., Delvasto Arjona, S., & Cuero, R. (26 de 05 de 2009). Modelamiento de la resistencia a la compresión de concretos alternativos, usando la metodología de superficie de respuesta. Cali, Valle del Cauca, Colombia.
- Caballero Matute, J. F., & Urda Martínez, J. (2010). Análisis de la influencia del agua del Río Magdalena como agua de mezclado en las propiedades del concreto de 3000 y 4000 Psi . Cartagena.
- CAMACOL. (Agosto de 2008). El sector de la construcción en Colombia: hechos estilizados y principales determinantes del nivel de la actividad. Colombia.
- Carmona San Juan, C. A., & Puerta Vergara, A. E. (s.f.). Análisis de la influencia de la disminución de las partículas en suspensión del agua del Río Magdalena sobre la resistencia de mezclas de concreto de 3000 y 4000 Psi. Cartagena.
- Chan Yam. (2003). Agregados pétreos.
- Cogollo Serrano, A. J., & García Galeano, J. M. (2004). Estudio comparativo de las propiedades físicas de concretos elaborados con los diferentes cementos Portland tipo I y agregados normalizados fabricados en Colombia. Cartagena.
- COLOMBIANA, NORMA TÉCNICA. (s.f.). Método para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos.
- DANE. (22 de 03 de 2012). Comunicado de prensa. Bogotá, Colombia.
- DANE. (07 de 09 de 2012). Comunicado de prensa. Bogotá, Colombia.

## ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTOS TIPO I Y TIPO III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES.

- Eraso., E. A. (s.f.). Resultados de resistencias a compresión del hormigón empleando cilindros de dimensiones no estandarizadas . Bogotá, Cundinamarca, Colombia.
- ICONTEC N° 220 . (s.f.).
- ICONTEC 109 Y 118. (s.f.).
- ICONTEC N110. (s.f.).
- Moreno, R. S. (11 de 11 de 2005). Influencia del curado húmedo en la resistencia a compresión del concreto en clima cálido subhúmedo. Mérida, Yucatán, México.
- Rochel Awad, R. (2008). Hormigón reforzado. Primera parte. Universidad EAFIT.
- Sánchez De Guzmán, D. (2001). Tecnología del concreto y del mortero (Quinta edición ed.). Bhandar Editores.