



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**ESCUELA DE CIVIL**

**DISERTACION DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TITULO DE  
INGENIERO CIVIL**

**TEMA: APLICACIÓN DEL ENSAYO DE CURADO ACELERADO EN  
CILINDROS DE HORMIGON SOMETIDOS A COMPRESION SIMPLE**

**AUTORES:**

**ANDRES SEBASTIAN ANDRADE PINO**

**JUAN CARLOS SONO SANCHEZ**

**QUITO, NOVIEMBRE 2014**

## **DEDICATORIA**

A María de Lourdes, Belén y Victoria.

JUAN CARLOS SONO S.

A mis padres y a mi hermano.

ANDRES ANDRADE P.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por poner en mi camino una profesión tan hermosa y a mi familia por ser mi principal soporte a lo largo de mi vida. Juan Carlos Sono S.

A Dios, a mis profesores, que me han guiado todos los días para salir adelante y a mi familia que se han esforzado para que yo salga adelante y sea un hombre de bien.

Andrés Andrade P.

## RESUMEN

Debido a que el hormigón es el material más usado en nuestro medio y tomando en cuenta el gran desarrollo tecnológico de los últimos tiempos en dicho campo, automáticamente se generan nuevos retos como el lograr mezclas que garanticen una resistencia adecuada a edades más tempranas; tomando en consideración la premisa antes mencionada y teniendo en cuenta el dinamismo de la industria de la construcción, no resulta coherente esperar un lapso de 28 días para validar la calidad de un hormigón, por tal motivo se ha elaborado la presente investigación con la finalidad de brindar al lector una alternativa de curado fundamentada científicamente y respaldada por medio de ensayos de laboratorio, la cual facilite el control de mezclas de hormigón en un tiempo considerablemente menor al usual.

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>TABLA DE CONTENIDOS</b> .....	<b>v</b>
<b>INDICE DE TABLAS</b> .....	<b>vii</b>
<b>INDICE DE FOTOGRAFIAS</b> .....	<b>ix</b>
<b>INDICE DE GRAFICOS</b> .....	<b>x</b>
<b>INDICE DE CUADROS</b> .....	<b>xi</b>
<b>INDICE DE DIAGRAMA</b> .....	<b>xii</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>xiii</b>
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>1</b>
<b>MATERIALES</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Cemento</b> .....	<b>1</b>
1.1.1 Definición.....	1
1.1.2 Historia.....	1
1.1.3 Clasificación.....	4
1.1.4 Propiedades .....	16
<b>1.2 Agregados.-</b> .....	<b>21</b>
1.2.1 Definición.- .....	22
1.2.2 Agregado fino.- .....	22
1.2.3 Agregado grueso.- .....	23
1.2.4 Características de los agregados.-.....	24
<b>1.3 Agua</b> .....	<b>30</b>
1.3.1 Características químicas.-.....	30
1.3.2 Características físicas.- .....	33
<b>1.4 Aditivos:</b> .....	<b>33</b>
1.4.1 Incorporadores de aire.-.....	34
1.4.2 Plastificantes.- .....	34
1.4.3 Aceleradores.- .....	35
1.4.4 Retardadores.- .....	36
1.4.5 Impermeabilizantes.- .....	37
1.4.6 Colorantes.- .....	37
<b>1.5 Curado acelerado.-</b> .....	<b>37</b>
1.5.1 Descripción del ensayo.- .....	39
1.5.2 Materiales a ser utilizados para la elaboración de mezclas.- .....	41
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>43</b>
<b>DOSIFICACIÓN</b> .....	<b>43</b>
<b>2.1 Fundamentos del hormigón.-</b> .....	<b>44</b>

2.1.1	Hormigón en estado fresco.-.....	46
2.1.2	Hormigón endurecido.- .....	49
<b>2.2</b>	<b>Mezclas granulométricas.-.....</b>	<b>52</b>
2.2.1	Método ACI.- .....	52
2.2.2	Método de la Road Note Laboratory.-.....	53
<b>2.3</b>	<b>Parámetros de dosificación .....</b>	<b>56</b>
2.3.1	Clase de exposición .....	56
2.3.2	Relación agua-cemento .....	57
2.3.3	Cantidad de agua de mezcla.- .....	58
2.3.4	Resistencia promedio requerida.- .....	59
<b>2.4</b>	<b>Secuencia de dosificación.- .....</b>	<b>60</b>
2.4.1	Datos previos.- .....	60
2.4.2	Proceso de dosificación.-.....	61
 <b>CAPÍTULO III.....</b>		 <b>63</b>
<b>METODOLOGIA DEL ENSAYO .....</b>		<b>63</b>
<b>3.1</b>	<b>Número de probetas a ser ensayadas.- .....</b>	<b>63</b>
<b>3.2</b>	<b>Ensayos y Especificaciones del cemento.....</b>	<b>65</b>
3.2.1	Descripcion.....	65
3.2.2	Tiempo de fraguado.- .....	66
3.2.3	Gravedad específica del cemento (Gs).-.....	66
3.2.4	Módulo de finura (S).-.....	67
<b>3.3</b>	<b>Ensayos y Especificaciones del agregado.-.....</b>	<b>67</b>
3.3.1	Granulometría, tamaño máximo y módulo de finura.- .....	67
3.3.2	Humedad natural.- .....	72
3.3.3	Gravedad específica.- .....	73
3.3.4	Peso unitario.-.....	74
3.3.5	Abrasión del agregado grueso.- .....	75
3.3.6	Material orgánico y terrones de arcilla.-.....	76
3.3.7	Resistencia a los sulfatos.-.....	79
<b>3.4</b>	<b>Elaboración de muestras.- .....</b>	<b>80</b>
<b>3.5</b>	<b>Cono de Abrams.- .....</b>	<b>80</b>
<b>3.6</b>	<b>Implementos a ser utilizados en el ensayo de curado acelerado.....</b>	<b>83</b>
<b>3.7</b>	<b>Preparacion y curado de muestras .....</b>	<b>84</b>
3.7.1	Curado estándar .....	85
3.7.2	Curado acelerado.-.....	86
 <b>CAPÍTULO IV .....</b>		 <b>87</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>		<b>87</b>
<b>4.1</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>86</b>
<b>4.2</b>	<b>Recomendaciones .....</b>	<b>93</b>

*Bibliografia*..... 94

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Requisitos granulométricos para el agregado fino, ASTM C 33 .....	26
Tabla 1.2 Requisitos granulométricos para el agregado grueso, ASTM C 33 .....	27
Tabla 1.3 Requisitos de aprobación para aguas dudosas, ASTM C 94.....	31
Tabla 2.1 Selección del volumen de agregado grueso para distintos módulos de finura del agregado fino, ACI 211.1.....	52
Tabla 2.2 , Granulometría ideal definida según la ASOCRETO, ASOCRETO .....	54
Tabla 2.3 Valores referenciales de relación agua – cemento para distintas resistencias, ACI 211.1 .....	57
Tabla 2.4 Valores referenciales de agua de mezcla por metro cúbico de hormigón , ACI 211.1 .....	59
Tabla 2.5 Valores de resistencia promedio requerida , ACI 318-08.....	60
Tabla 2.6 Valores referenciales de asentamiento, ACI 211.1 .....	61
Tabla 3.1 Tiempos y tolerancias para realizar ensayos de compresión simple , ASTM C 39	64
Tabla 3.2 Resultado del ensayo de tiempo de fraguado, INEN 158. ....	66
TABLA 3.3 GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO .....	69
TABLA 3.4 CLASIFICACION GRANULOMETRICA DEL AGREGADO GRUESO ....	69
TABLA 3.5 MODULO DE FINURA DEL AGREGADO GRUESO.....	70
TABLA 3.6 GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO .....	71
TABLA 3.7, MODULO DE FINURA DEL AGREGADO FINO .....	71
TABLA 3.8 GRAVEDAD ESPECIFICA AGREGADO GRUESO .....	73
TABLA 3.9 GRAVEDAD ESPECIFICA AGREGADO FINO .....	74
TABLA 3.10 PESO UNITARIO AGREGADO FINO.....	74
TABLA 3.11 PESO UNITARIO AGREGADO GRUESO.....	75
TABLA 3.12 RESULTADO DEL ENSAYO DE ABRASIÓN EN EL AGREGADO GRUESO .....	76
TABLA 3.13 CONTENIDO DE MATERIAL ORGANICO EN EL AGREGADO FINO ..	77
TABLA 3.14 ENSAYO DE TERRONES DE ARCILLA Y PARTICULAS DESMENUZABLES .....	78
TABLA 3.15 ENSAYO DE DURABILIDAD DEL AGREGADO AL ATAQUE DE SULFATO DE SODIO .....	79
Tabla 3.16 Resumen de dosificación empleadas en la investigación.....	80
Tabla 3.17 Valores de asentamientos para las distintas dosificaciones, ASTM 143. ....	82
Tabla 3.18 Valores de contenido de aire, peso unitario que se obtuvo en el ensayo .....	83
Tabla 4.1 Resumen ensayos agregado fino.....	86
Tabla 4.2 Resumen ensayos agregado grueso.....	87
Tabla 4.3 Valores del módulo de elasticidad en función de la relación agua cemento.....	87

## INDICE DE FOTOGRAFIAS

Fotografía I Construcción de pared y esclusas de una presa. ....	xiv
Fotografía 1.1 Faro de Eddystone. ....	3
Fotografía 1.2 Cenizas volantes, Diseño y control de mezclas de hormigón.....	7
Fotografía 1.3 Escoria granulada de alto horno, Diseño y control de mezclas de hormigón...	8
Fotografía 1.4 Humo de sílice, Diseño y control de mezclas de hormigón .....	8
Fotografía 1.5 Metacaolinita, Diseño y control de mezclas de hormigón.....	9
Fotografía 1.6 Ensayo de curado acelerado, ASTM C 684.....	40
Fotografías 3.1 Cilindro dimensiones 100 mm por 200 mm. ....	63
Fotografías 3.2 Cilindros dimensiones 150 mm por 300 mm. ....	64
Fotografías 3.3 Cemento HOLCIM. ....	65
Fotografías 3.4 Agregado Fino . ....	67
Fotografías 3.5 Agregado grueso. ....	68
Fotografías 3.6 Cono de Abrams. ....	79
Fotografías 3.7 Utilización del cono de Abrams, ASTM 143.....	81
Fotografías 3.8 Determinación del contenido de aire, ASTM 231.. ....	82
Fotografías 3.9 Recipiente utilizado en el ensayo.....	83
Fotografías 3.10 Cpcina Industrial.....	83
Fotografías 3.11 Ensayo de curado acelerado.....	85

## INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1 Representación de los componentes del hormigón, Diseño y control de mezclas de hormigón. ....	44
Gráfico 2.2 Distribución agregado pasta, Tecnología del concreto. ....	45
Gráfico 2.3 Método de proporcionamiento gráfico.....	55
Gráfico 2.4 Valores referenciales de relación agua – cemento para distintas resistencias, ACI 211.1 .....	58
GRAFICO 3.1 GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO .....	68
GRAFICO 3.2 GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO .....	70
Gráfico 3.3 Cono de Abrams, ASTM 143. ....	81
Gráfico 4.1 Resistencia vs tiempo usando curado normal y acelerado para un $f'c = 240$ kg/cm <sup>2</sup> . ....	88
Gráfico 4.2 Resistencia vs tiempo usando curado normal y acelerado para un $f'c = 250$ kg/cm <sup>2</sup> . ....	90
Gráfico 4.3 Resistencia vs tiempo usando curado normal y acelerado para un $f'c = 280$ kg/cm <sup>2</sup> . ....	89
Gráfico 4.4 Resistencia vs tiempo usando curado normal y acelerado para un $f'c = 300$ kg/cm <sup>2</sup> . ....	90
Gráfico 4.5 Resistencia vs tiempo usando curado normal y acelerado para un $f'c = 310$ kg/cm <sup>2</sup> . ....	90
Gráfico 4.6 Resistencia vs tiempo usando curado normal y acelerado para un $f'c = 320$ kg/cm <sup>2</sup> . ....	91
Gráfico 4.7 Porcentaje de resistencia acelerado vs relación A/C.....	91
Gráfico 4.8 Correlación entre resistencias del hormigón (curado normal vs curado acelerado).....	94

## INDICE DE CUADROS

Cuadro 1.1 Tipos de cemento hidráulico, ASTM C 150.....	4
Cuadro 1.2 Cementos hidráulicos compuestos, ASTM C 595.....	10
Cuadro 1.3 Tipos de cemento hidráulico, ASTM C 1157.....	13
<i>Cuadro 1.4 Referencia normativa del cemento, ASTM e INEN.....</i>	<i>15</i>
<i>Cuadro 1.5, Estados naturales de los materiales, Diseño y control de mezclas de hormigón</i> .....	<i>29</i>
Cuadro 1.6 Descripción del material a ser empleado en el ensayo .....	42
Cuadro 2.1 Clases de exposición y requisitos mínimos para la elaboración de hormigones, ACI 318-08 .....	56
Cuadro 3.1, Humedad máxima obtenida en los ensayos, ASTM C 566.....	72

## **INDICE DE DIAGRAMA**

Diagrama 2.1 Diagrama de flujo para la elaboración de hormigones, ASOCRETO.....	62
---	----

## INTRODUCCIÓN

El hormigón se define como un material pétreo-artificial, producto de la unión de material aglutinante (cemento Portland hidráulico, cenizas volantes, escorias, etc.), áridos o agregados, agua y aditivos; los cuales deben ser dosificados adecuadamente para obtener una mezcla económica y manejable, que se endurezca a una velocidad apropiada para que se desempeñe mecánicamente sin ningún inconveniente y que sea resistente a través del tiempo a las condiciones ambientales que le rodea (intemperie, erosión, deshielos, contacto con agua marina, etc.). Debido a la gran versatilidad del hormigón en cuanto a su manejo, utilización en estado fresco, sus propiedades mecánicas y su gran compatibilidad con el acero; hacen de esta combinación la asociación perfecta para obtener un material que al endurecerse trabaja de forma conjunta, el hormigón absorbiendo esfuerzos de compresión y el acero aporta con resistencia a los esfuerzos de tracción.

Esta característica ha convertido al hormigón en el material más utilizado a nivel mundial, siendo competente frente a estructuras metálicas y de madera; ante esto ha generado un sin número de investigaciones para alcanzar cada vez mayores resistencias; por lo que se traduce en un mejor control y por ende mayor calidad en los materiales, procedimientos y metodologías a ser utilizados en una mezcla de hormigón, lográndose hormigones de alto desempeño.

La definición de hormigón de alta resistencia cambia a lo largo de los años; y es así que algunos autores consideran que debido a la demanda de concreto premezclado en

los EE.UU es común obtener resistencias del hormigón que van de 210 a 420 kg/cm<sup>2</sup>, por lo tanto consideran que un hormigón de alto desempeño se consideraría a partir de 700 kg/cm<sup>2</sup> (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004, pág. 359).

*Fotografía I. Construcción de pared y esclusas de una presa.*



**FUENTE:** [http://www.lineaprevencion.com/ProjectMiniSites/IS35/html/2-1-](http://www.lineaprevencion.com/ProjectMiniSites/IS35/html/2-1-1/2_1_1_1_archivos/image139.jpg)

[1/2\\_1\\_1\\_1\\_archivos/image139.jpg](http://www.lineaprevencion.com/ProjectMiniSites/IS35/html/2-1-1/2_1_1_1_archivos/image139.jpg)

# **CAPÍTULO I**

## **MATERIALES**

El hormigón está compuesto de:

- Material aglutinante (cementante).
- Agregados o áridos.
- Agua.
- Aditivos.

A continuación se describe brevemente su historia y su evolución.

### **1.1 Cemento**

#### *1.1.1 Definición*

Constituye el material aglutinante de la mezcla, y se define como aquel material que tiene las propiedades de adhesión y cohesión necesarias para unir agregados finos y gruesos, formando una masa sólida con resistencia y durabilidad adecuada. Dentro de la definición de material aglutinante también abarca los asfaltos, y alquitranes utilizados en la construcción de carreteras. Para la elaboración de hormigones estructurales se utiliza exclusivamente los cementos hidráulicos, estos requieren agua para poder reaccionar, fraguar y endurecer. Etimológicamente la palabra concreto proviene del latín “concretus”, que significa compuesto.

#### *1.1.2 Historia*

El uso de materiales cementantes es tan remoto como la civilización en sí, debido a que cuando el ser humano se convirtió en sedentario y se estableció en una zona

geográfica fija, se vio en la necesidad de construir estructuras que le brinden protección de la intemperie, usando materiales como la arcilla para unir piedras y formar estructuras de protección.

“El concreto más antiguo descubierto data cerca del año 7000 A.C., fue encontrado en 1985, cuando se destapo un piso de concreto durante la construcción de una carretera en Yiftah El en Galilea, Israel.” (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004, pág. 25).

El concreto encontrado hace 7000AC., era a base de cal viva (óxido de calcio). Está mezclada con agua formó hidróxido de calcio, este se ligó a los agregados y se endureció. Posteriormente alrededor del año 2500 A.C. se empleó un material cementante, específicamente un mortero a base de cal y arena entre los bloques de piedra en la construcción de las famosas pirámides de Giza en Egipto. En el año 500 A.C. esta técnica de producción de morteros llegó a Grecia; utilizaban este material para recubrir sus templos y empíricamente adicionaban piedras, ladrillos y tejas para dar origen al primer hormigón de la historia. En el año 79 A.C., en las cercanías de Pozzuoli, un pueblo de Nápoles, Italia, pensando que era arena, la mezclaron con cal y obtuvieron una mezcla mucho más resistente que las elaboradas anteriormente; esta combinación química entre cenizas volcánicas que contienen sílice y alúmina con la cal produce el llamado cemento puzolánico. Las obras de los romanos que perduran hasta nuestros tiempos como el Coliseo Romano, acueductos, Panteón, etc., utilizaron cemento puzolánico, sin embargo durante toda la edad media no se consideró ni se desarrolló las aplicaciones de la puzolana dentro de los materiales cementantes.

A partir del siglo XVIII se realizaron ensayos para determinar porque algunas cales poseían propiedades hidráulicas y otras no; principalmente el inglés John Smeadon

concentró su trabajo en este campo y descubrió que las calizas impuras y blandas que contenían materiales arcillosos producían mejores cementos hidráulicos que las calizas puras. El empleó este cemento hidráulico con puzolana importada de Italia para la reconstrucción del faro de Eddystone en el canal de la Mancha, sudoeste de Plymouth, Inglaterra. El proyecto duro tres años en ser ejecutado y empezó su fase operacional en el año de 1759. El proyecto marcaría un punto de inflexión en la industria del cemento y de la investigación.

*Fotografía 1.1 Faro de Eddystone.*



**FUENTE:** [http://es.wikipedia.org/wiki/Faro\\_de\\_Eddystone#mediaviewer/File:Phare-d-Eddystone-Rocks.jpg](http://es.wikipedia.org/wiki/Faro_de_Eddystone#mediaviewer/File:Phare-d-Eddystone-Rocks.jpg)

La diferencia entre una cal hidráulica y un cemento natural es función de la temperatura alcanzada durante la calcinación, además que para que un cemento natural pueda ser hidratado tiene que ser finamente molido; si comparamos una cal hidráulica con un cemento natural este último es más resistente; pero a su vez menos resistente que el cemento Portland. El cemento natural se fabricó a inicios del siglo XIX en Rosandale, Nueva York. En el año de 1824, un albañil ingles de nombre Joseph

Aspdin, obtuvo la patente para el cemento portland la cual recibe su nombre ya que producía un concreto de color semejante a la caliza natural explotada en la isla de Portland en el canal de la Mancha, este nombre permanece hasta el día de hoy en todo el mundo con la adición de marcas comerciales de sus productores.

### 1.1.3 Clasificación

Según las necesidades de la obra existen distintos tipos de cemento portland con distintas propiedades físicas y químicas; son elaborados bajo la norma ASTM C 150, clasificándolos en ocho tipos de cemento, designándolos con números romanos como se indica a continuación:

**Cuadro 1.1 Tipos de cemento hidráulico, ASTM C 150**

<b>TIPO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
I	Normal
IA	Normal con aire incluido
II	Moderada resistencia a los sulfatos
IIA	Moderada resistencia a los sulfatos con aire incluido
III	Alta resistencia inicial
IIIA	Alta resistencia inicial con aire incluido
IV	Bajo calor de hidratación
V	Alta resistencia a los sulfatos

**FUENTE:** (2011). *Diseño y Control de Mezclas de Hormigón*. En S. H. Koshmata, B. Kerkhoff, W. C. Panarese, & J. Tanesi. Skokie: Portland Cement Association.

#### 1.1.3.1.1 Tipo I

Es un tipo de cemento para uso general, en donde no se requiera propiedades específicas. Sus usos son en pavimentos, pisos, edificios, puentes, embalses, tuberías, prefabricados de hormigón, tanques.

#### *1.1.3.1.2 Tipo II*

Este tipo de cemento se utiliza para contrarrestar una moderada exposición del hormigón a sulfatos provenientes del agua o del suelo, esto se debe a que en su composición química el contenido de aluminato tricálcico ( $C_3A$ ), es menor al 8%, produciéndose una reacción entre el sulfato del agua o el suelo con el aluminato tricálcico, lo cual genera expansión y por ende descascaramiento de la superficie del hormigón generando agrietamiento y exponiendo a la armadura. Este tipo de cemento es muy común en obras marinas, además para evitar el ataque de sulfatos se debe realizar una dosificación con una relación de agua-cemento baja y también con poca permeabilidad. Algunos cementos se pueden etiquetar con más de una designación como es el caso del cemento Tipo I/II, lo que significa que dicho cemento cumple con los requisitos del cemento Tipo I, así como del cemento Tipo II.

#### *1.1.3.1.3 Tipo III*

Este tipo de cemento de características similares al Tipo I, pero molido más finamente, ofrece resistencias a edades tempranas. Es utilizado cuando se desea desencofrar elementos lo más temprano posible o cuando una estructura será puesta en servicio rápidamente. A pesar de que con el cemento Tipo I se puede alcanzar el mismo resultado utilizando altos contenidos de cemento, el cemento Tipo III ofrece esta propiedad de una manera rápida y fácil.

#### *1.1.3.1.4 Tipo IV*

El cemento Tipo IV, se emplea donde se deba minimizar la cantidad de calor generado, este fenómeno es notorio y perjudicial en obras con hormigón masivo, como en presas de gravedad. Es el tipo de cemento menos común en el mercado.

#### *1.1.3.1.5 Tipo V*

Se utiliza cuando las condiciones de exposición del hormigón a los sulfatos presentes en el suelo o en el agua es severa ( $\geq 0.20\%SO_4$ ), debido a su composición química, el desarrollo de resistencia de este tipo de cemento es más lento que para el cemento Tipo I, el incremento a la durabilidad bajo la acción de los sulfatos se debe a la disminución del aluminato tricálcico en la composición química del cemento, no excediendo dicha cantidad al 5%. Es importante mencionar que en obras con contacto a los sulfatos se debe mantener una baja relación agua- cemento y una baja permeabilidad.

#### *1.1.3.1.6 Cementos con aire incluido (A)*

La norma ASTM C 150, se especifica para tres tipos de cementos el I, II y III, que si durante su producción. Estos al ser molidos conjuntamente con el Clinker en pequeñas cantidades de material incluso de aire, se denominen con la letra A. Concretos elaborados con dichos tipos de cemento generan burbujas minúsculas de aire, bien distribuidas y separadas siendo ventajoso en el caso de congelamiento y deshielo.

Sin embargo en la construcción se utiliza estos cementos con la finalidad de mejorar las propiedades del cemento portland hidráulico; se producen las adiciones suplementarias por la molienda o mezcla de dos o más tipos de materiales finos que se detallan a continuación con cemento portland:

- Cenizas volantes.
- Escoria granulada de alto horno.
- Humo de sílice.
- Otras puzolanas.

#### *1.1.3.1.7 Cenizas volantes*

Es un subproducto de la combustión del carbón en plantas generadoras de electricidad, durante la combustión del carbón las impurezas minerales del mismo como feldespato, arcilla, cuarzo se funden en suspensión y son expulsados hacia afuera mediante los gases de escape, durante la expulsión de dichos gases las cenizas volantes se enfrían y solidifican. Generalmente es el material cementante suplementario de mayor uso en los cementos debido a que por su constitución química reaccionan al estar en contacto con el agua y se endurecen.

*Fotografía 1.2 Cenizas volantes, Diseño y control de mezclas de hormigón*



**Fuente: Portland Cement Association**

#### *1.1.3.1.8 Escoria granulada de alto horno.-*

Proviene de la industria siderúrgica, se produce simultáneamente al momento de fundir acero en un alto horno; una vez que se alcanza los 1500°C la escoria se funde y se

enfría rápidamente, es importante que se apague en agua y no en aire para que adquiera propiedades hidráulicas y pueda reaccionar con NaOH o CaOH proporcionado por el cemento portland para generar una pasta que se endurece de manera similar al cemento portland. La escoria fue desarrollada en Alemania en 1853 (Malhora, 1996) y se utilizó desde inicios del siglo XX (Abrams, 1920).

*Fotografía 1.3 Escoria granulada de alto horno, Diseño y control de mezclas de hormigón*



**Fuente: Portland Cement Association**

#### *1.1.3.1.9 Humo de sílice*

Conocido también como microsílíce, es un subproducto resultante de la reducción a altas temperaturas en hornos eléctricos alrededor de 2000°C de cuarzo de alta pureza y carbón, a estas temperaturas el humo de sílice que es básicamente dióxido de silicio se evapora para luego enfriarse por medio del aire y ser recogido por medio de grandes telas para poder ser comercializada, es adicionado en el hormigón con el fin de elaborar hormigones con un alto grado de impermeabilidad.

*Fotografía 1.4 Humo de sílice, Diseño y control de mezclas de hormigón*



**Fuente: Portland Cement Association**

#### *1.1.3.1.10 Otras puzolanas*

Las puzolanas fueron el primer material cementante suplementario utilizado por antiguas civilizaciones como la romana, griega, egipcia, india; siendo sus estructuras fieles testigos y la mejor prueba de la efectividad de esta adición para mejorar las propiedades de los cementos hidráulicos.

La utilización de este material en América data de inicios del siglo XX, en la construcción de obras públicas de envergadura como presas, donde se utilizó con el objetivo de controlar la liberación de calor producto del fraguado del hormigón obteniendo muy buenos resultados y complementando como material cementante que reacciona con  $\text{CaOH}$  y  $\text{NaOH}$ , adicionalmente las puzolanas controlan el ataque de los sulfatos y controla la reacción álcali agregado. Las puzolanas comúnmente empleadas en la actualidad, provienen de procesos industriales tratados en altos hornos y molidos hasta obtener un polvo fino, y posteriormente mezclarlo con el cemento portland, dentro de las puzolanas actuales se utilizan arcillas calcinadas, esquistos calcinados y metacaolinita.

*Fotografía 1.5 Metacaolinita, Diseño y control de mezclas de hormigón*



**Fuente: Portland Cement Association**

Las arcillas calcinadas son de uso universal y sirven para controlar la reactividad álcali-agregado y mejorar tanto la resistencia a los sulfatos como el grado de permeabilidad del hormigón. Los esquistos calcinados tienen propiedades hidráulicas debido a que contienen calcio el cual es parcialmente calcinado en los hornos. Una arcilla calcinada especial es la metacaolinita que se produce con la calcinación a bajas temperaturas de la arcilla caolín de alta pureza y genera en el hormigón alta resistencia y baja permeabilidad.

Según el material suplementario adicionado que contenga el cemento portland hidráulico, se clasifica según la Norma ASTM C595, *Especificación para Cementos Hidráulicos Mezclados*, la cual establece cinco clases de cementos adicionados, los cuales se detallaran a continuación:

#### **Cuadro 1.2 Cementos hidráulicos compuestos, ASTM C 595**

<b>TIPO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
IS	Cemento portland alto horno
IP-P	Cemento portland puzolánico
I(PM)	Cemento portland modificado con puzolana
S	Cemento de escoria o siderúrgico
I(SM)	Cemento portland modificado con escoria

**FUENTE:** (2011). *Diseño y Control de Mezclas de Hormigón*. En S. H. Koshmata, B. Kerkhoff, W. C. Panarese, & J. Tanesi. Skokie: Portland Cement Association.

#### *1.1.3.1.11 Tipo IS*

La utilización de cementos mezclados con escoria de alto horno data a principios del siglo XX en países europeos, Japón y EE.UU. (Abrams, 1920). Para la producción de este tipo de cemento se muele la escoria de alto horno conjuntamente con el clinker de cemento portland; dentro de esta clasificación existe también otra subcategoría con la finalidad de obtener propiedades especiales tales como cemento con aire incluido, moderada resistencia a los sulfatos o moderado calor de hidratación y se adiciona a la nomenclatura IS, los sufijos A, MS, MH; según corresponda el caso. Se puede utilizar este tipo de cemento para la construcción en general.

#### *1.1.3.1.12 Tipo IP y P*

Los cementos puzolánicos se designan con la nomenclatura IP o P; el cemento tipo IP es de uso común en la construcción y el cemento tipo P se utiliza en construcciones que no requieran altas resistencias iniciales. Su elaboración consiste en la mezcla o molienda entre clinker de cemento portland o cemento de alto horno y puzolana; de acuerdo a un sin número de ensayos realizados se ha llegado a la conclusión de que el cemento tipo IP es similar al cemento tipo I. Acorde a las propiedades necesarias en obra al cemento tipo IP se puede especificar entre aire incluido (A), moderada resistencia a los sulfatos (MS) o moderado calor de hidratación (MH); mientras que al

cemento tipo P se lo puede especificar con bajo calor de hidratación (LH), moderada resistencia a los sulfatos (MS) o con aire incluido (A).

#### *1.1.3.1.13 Tipo I (PM)*

Este tipo de cemento se utiliza en construcciones en general, se obtienen mezclando o moliendo cemento portland o cemento portland de alto horno con puzolana; según las características requeridas en obra se puede conseguir cementos I(PM) con aire incluido (A), moderado calor de hidratación (MH) o moderada resistencia a los sulfatos (MS).

#### *1.1.3.1.14 Tipo S*

Conocido también como cemento de escoria de alto horno que no actúa por sí solo necesariamente se lo mezcla con cemento portland para la elaboración de hormigones o con cal para la elaboración de morteros; según las características requeridas en obra se puede elaborar cementos tipo S con aire incluido (A)

#### *1.1.3.1.15 Tipo I (SM)*

Es cemento portland modificado con escoria, de uso general en construcciones; se obtiene mezclando o moliendo cemento portland con escoria de alto horno o mezclando o moliendo clinker de cemento portland con escoria de alto horno; según las características requeridas en obra se lo puede elaborar cementos tipo I (SM) con aire incluido (A), moderada resistencia a los sulfatos (MS), o moderado calor de hidratación (MH).

#### 1.1.3.1.16 Cemento hidráulicos

Los cementos hidráulicos son aquellos que se fraguan y endurecen bajo la presencia de agua, son de uso común en las construcciones y abarca todos los cementos portland así como los portland modificados y los cementos hidráulicos mezclados; se utiliza cemento hidráulico como un término genérico; están detallados según la norma ASTM C 1157 (Especificación de Desempeño para Cementos Hidráulicos), dicha norma clasifica a los cementos hidráulicos dentro de síes tipos (TABLA 1), adicionalmente todos los cementos hidráulicos se pueden especificar con un sufijo R, el cual indica baja reactividad con agregados álcali-reactivos; sino se especifica claramente un cemento portland o portland modificado; se entenderá en forma genérica que será un tipo GU.

La normativa ASTM C 1157, define como un cemento adicionado a aquel que tiene más del 15% de adición mineral y un cemento portland modificado como aquel que contiene hasta 15% de adiciones minerales.

**Cuadro 1.3 Tipos de cemento hidráulico, ASTM C 1157**

<b>TIPO</b>	<b>DESCRIPCION</b>
GU	Uso general
HE	Alta resistencia inicial
MS	Moderada resistencia a los sulfatos
HS	Alta resistencia a los sulfatos
MH	Moderado calor de hidratación
LH	Bajo calor de hidratación

**FUENTE: (2011). Diseño y Control de Mezclas de Hormigón. En S. H. Koshmata, B. Kerkhoff, W. C. Panarese, & J. Tanesi. Skokie: Portland Cement Association.**

#### *1.1.3.1.17 Tipo GU*

Es de uso general cuando no se requiera características especiales, se utiliza en pavimentos, puentes, edificios de hormigón armado, pisos, tuberías, elementos prefabricados de hormigón y otras aplicaciones donde se utiliza cemento tipo I.

#### *1.1.3.1.18 Tipo HE*

Proporciona alta resistencia inicial generalmente en un tiempo máximo de una semana y se emplea en edificaciones en las cuales van a entrar en servicio rápidamente, o por cuestiones constructivas que requieran la remoción rápida del encofrado.

#### *1.1.3.1.19 Tipo MS*

Se utiliza en construcciones donde se requiera especial precaución contra el ataque de los sulfatos debido al contacto con agua o suelo donde las concentraciones de sulfatos sean mayores que lo normal pero que no lleguen a ser severas; como por ejemplo en estructuras de drenaje, postes empotrados en el suelo, etc. En este tipo de cemento se debe considerar una baja relación agua cemento para garantizar la resistencia a los sulfatos.

#### *1.1.3.1.20 Tipo HS*

Cementos con alta resistencia a los sulfatos que se colocan cuando la exposición a los mismos es severa. Este tipo se usa en alcantarillado, drenajes, contrapisos, postes de hormigón empotrados en el suelo.

#### *1.1.3.1.21 Tipo MH*

Cementos con moderado calor de hidratación, son utilizados donde el hormigón necesite tener un calor de hidratación moderado y se deba controlar el aumento de temperatura, se lo utiliza en estructuras de gran volumen como losas, pilas, estribos y cimentaciones.

#### *1.1.3.1.22 Tipo LH*

Cementos con bajo calor de hidratación, se utiliza en obras donde la tasa y la cantidad de calor generado por el fraguado deben ser mínimas, es importante considerar el debido control del fraguado para que no genere calor excesivo, este tipo de cemento desarrolla su resistencia a una velocidad más lenta a comparación de otros cementos, se utiliza generalmente en obras de hormigón masivas como presas de gravedad.

#### *1.1.3.1.23 Clasificación de cementos en el Ecuador*

Con fines referenciales y de consulta, a continuación se detallara las equivalencias de las normas ASTM, con las normas INEN vigentes en el país:

***Cuadro 1.4 Referencia normativa del cemento, ASTM e INEN***

<b>TIPO DE CEMENTO</b>	<b>PORTLAND</b>	<b>PORTLAND MODIFICADOS</b>	<b>ADICIONADOS</b>
<b>NORMA INEN</b>	151, 152	490	490

**FUENTE: ASOCRETO. (2010). Tecnología del concreto. Bogotá: Asocreto**

#### 1.1.4 Propiedades

##### 1.1.4.1 Compuestos químicos e hidratación

Como ya se conoce el cemento es el producto de la combinación de clinker y yeso; durante la calcinación en los hornos, el calcio proveniente de rocas calizas se combina con otros componentes de la mezcla cruda para elaborar el clinker, que corresponderán al final del proceso al 90% de la masa del cemento y durante la molienda se adicionara del 4 al 6% de yeso y otros materiales auxiliares de molienda; el clinker está formado por cuatro compuestos principales; los químicos del cemento utilizan las siguientes abreviaturas para describir los compuestos:

- $A=Al_2O_3$
- $C=CaO$
- $F=Fe_2O_3$
- $S=SiO_2$

Utilizando la abreviatura presentada anteriormente, los cuatro principales compuestos que forman el clinker son:

- Silicato dicálcico:  $C_2S$
- Silicato tricálcico:  $C_3S$
- Aluminato tricálcico:  $C_3A$
- Ferroaluminato tetracálcico:  $C_4AF$

##### 1.1.4.2 Hidratación

Al mezclar el clinker con yeso, se le da una fuente de sulfato de calcio; pero el cemento por sí solo no es capaz de soportar esfuerzos de ningún tipo; es necesario hacerlo

reaccionar con agua para de esta manera elaborar una pasta que luego se endurecerá y será capaz de soportar esfuerzos de compresión; el proceso de mezclar agua con cemento se conoce como hidratación. Esta mezcla da paso al fraguado siendo una reacción exotérmica que se detallara como actúa en cada uno de los compuestos que forman al cemento.

#### *1.1.4.2.1 Silicato dicálcico: $C_2S$*

Se hidrata y se endurece lentamente, es el compuesto que principalmente aporta con el aumento de la resistencia a partir de una semana de edad del hormigón.

#### *1.1.4.2.2 Silicato tricálcico: $C_3S$*

Se hidrata y se endurece rápidamente, es el compuesto responsable del fraguado y de la resistencia inicial del hormigón.

#### *1.1.4.2.3 Aluminato tricálcico: $C_3A$*

Es el compuesto que libera una gran cantidad de calor durante los primeros días de la hidratación y endurecimiento, contribuye en pequeña escala al desarrollo de resistencia inicial; también es el compuesto que reacciona con los sulfatos, por ende en cantidades excesivas es perjudicial.

#### *1.1.4.2.4 Ferroaluminato tetracálcico: $C_4AF$*

Es producto de la utilización de materias primas de hierro y aluminio con el fin de reducir la temperatura de elaboración del clinker, su aporte dentro del aumento de resistencia es casi nulo, pero es el que da la coloración típica al hormigón.

#### *1.1.4.2.5 Sulfato de calcio*

Está presente en forma de yeso (sulfato de calcio dihidratado), se adiciona al clinker durante la molienda final para formar el cemento portland; y reacciona con el  $C_3A$ , para formar etringita (trisulfoaluminato de calcio), lo cual controla la hidratación del  $C_3A$ , que a su vez influye a controlar la retracción, el fraguado y la resistencia hasta 28 días (Lerch, 1946).

#### *1.1.4.2.6 Agua*

Como se mencionó anteriormente el agua es un elemento clave para la obtención de pastas, morteros o concretos; es necesario para que se produzca la hidratación de los distintos compuestos mencionados anteriormente; al incorporar agua a la mezcla este volumen es llenado completa o parcialmente con las posteriores reacciones de hidratación mientras existan los distintos compuestos, para completar la hidratación de una cantidad dada de cemento se requiere una relación de agua-cemento igual a 0.25 (Rüch, 1960), sin embargo debido a la baja trabajabilidad que genera esta relación es necesario aumentar la cantidad de agua con el fin de obtener una manejabilidad adecuada. Con una relación de agua – cemento mayor a 0.25 va a permanecer una porosidad en el material endurecido, incluso después de haberse completado el proceso de hidratación, a este fenómeno se le conoce como porosidad capilar; por tal motivo a medida que la relación agua - cemento aumenta la porosidad capilar va disminuyendo la resistencia mecánica del hormigón y haciendo hormigones más permeables los cuales dependiendo de su exposición pueden ser afectados.

#### *1.1.4.2.7 Propiedades físicas*

Conocer las propiedades físicas de cemento es útil para evaluar y controlar la calidad del cemento, estos ensayos no pueden ser considerados para interpretar la calidad del hormigón pese a que los mismos van de la mano; dichos ensayos presentan límites indicados en las distintas normativas y son distintos dependiendo el tipo de cemento a ser utilizado; entre las principales propiedades físicas tenemos:

- Finura y tamaño de las partículas.
- Consistencia.
- Tiempo de fraguado.
- Resistencia a compresión.
- Masa específica.

#### *1.1.4.2.8 Finura y tamaño de las partículas*

Se entiende como finura del cemento a la distribución total de las partículas que lo componen, resultado de la molienda del clinker con yeso; debido al proceso de elaboración del cemento dichas partículas poseen forma angular. La finura del cemento influye directamente con la velocidad del fraguado y por ende con el calor liberado, por tal motivo cuando existen cementos muy finos estos generan mayores resistencias durante los primeros siete días.

Inicialmente la finura del cemento se expresaba en forma granulométrica, en la actualidad se lo mide por medio del ensayo de permeabilidad de Blaine o por medio de analizadores electrónicos del tamaño de las partículas, sean estos rayos-x o láser, métodos que buscan medir el área superficial de las partículas constituyentes del cemento, expresadas en metro cuadrado por kilogramo de cemento.

#### *1.1.4.2.9 Consistencia*

Es la capacidad de fluir que posee la pasta o mortero de cemento, existen dos métodos para poder determinar la consistencia de una mezcla; el primero es aplicable a pastas de cemento y es el ensayo de consistencia normal el cual consiste en elaborar mezclas hasta obtener una penetración de  $10 \pm 1$  mm con la aguja de Vicat. El segundo método aplicable a morteros, se coloca un molde de latón centrada sobre la mesa de fluidez, la cual contiene el mortero, para luego someterla a repetidas caídas descritas bajo la norma ASTM C 230, echo esto finalmente se mide el diámetro para determinar la consistencia.

#### *1.1.4.2.10 Tiempo de fraguado*

El objetivo de este ensayo es determinar el tiempo desde que el agua es añadida al cemento hasta cuando la mezcla deja de tener plasticidad y se solidifica, este cambio de estado se lo conoce como fraguado y se compone de dos etapas conocidas como fraguado inicial y fraguado final; fraguado inicial es el tiempo transcurrido desde que se añade agua al cemento hasta que la mezcla empieza a perder plasticidad, y el fraguado final es el tiempo transcurrido desde que se añade agua hasta que pierda la mezcla completamente su plasticidad. Para poder determinar estos tiempos se utiliza la aguja de Vicat o las de Gillmore, siendo preferente según varios autores la utilización de las agujas de Vicat.

Sirve para verificar si el cemento al ser hidratado está reaccionando de manera normal, ya que el fraguado inicial no debe ocurrir demasiado temprano, ni el fraguado final debe ocurrir demasiado tarde; este tiempo de fraguado es muy distinto al de los hormigones debido a que se elabora bajo condiciones controladas de laboratorio.

#### *1.1.4.2.11 Resistencia a la compresión*

Sirve para determinar por medio de cubos de hormigón la resistencia mecánica de un mortero elaborado con arena estándar, procedimiento descrito en la norma ASTM C 109; dicha resistencia es muy variable debido a que depende del tipo de cemento y de la finura del mismo; este valor no se lo puede considerar para estimar el valor de un concreto, debido a la intervención de variables como las características del agregado, condiciones medioambientales o procesos constructivos de la obra (DeHayes, 1990).

#### *1.1.4.2.12 Masa específica.*

Es la relación entre masa de cemento por unidad de volumen de sólidos o partículas; dimensionalmente hablando la masa o peso específico se representa en gramos por centímetro cúbico, para el caso específico del cemento de alto horno o cemento portland puzolánico, este valor varía entre 2.90 a 3.15g/cm<sup>3</sup>, no siendo este un indicador de la calidad del cemento pero es útil en el cálculo de proporcionamiento de materiales para poder obtener un hormigón con cierto requisitos (proceso de dosificación).

## **1.2 Agregados.-**

Representan alrededor del 70% del volumen del hormigón, son el principal componente del mismo, es de vital importancia las características del material granular o agregados para obtener mezclas económicas y trabajables; dicho material es extraído de canteras de distinto origen geológico, traducidas en distintas granulometrías,

formas, texturas; características que influyen directamente en el comportamiento del hormigón.

#### *1.2.1 Definición.-*

Los agregados son cualquier partícula sólida que provienen de las rocas y se adicionan intencionalmente a un hormigón, los cuales ocupan un espacio rodeado por pasta de cemento con la finalidad de generar resistencia mecánica; durante el fraguado ayudan a evitar grietas generadas por los cambios volumétricos o contracción del hormigón. La calidad de los agregados depende de su origen, granulometría, densidad, forma y textura; existe la clasificación entre agregado grueso y fino, entendiéndose por agregado fino toda material menor a 4.75mm hasta los 0.075mm y agregado grueso todo material mayor a los 4.75mm, siendo los tamaños más comunes las partículas comprendidas entre 9.5mm y 37.5mm; sin embargo el tamaño máximo de un agregado grueso está en función de los elementos de una estructura.

#### *1.2.2 Agregado fino.-*

Consiste en polvo de piedra (piedra triturada producto de procesos de extracción de material pétreo en canteras), o en arena natural; conforma alrededor del 40% de las mezclas de hormigón y otorgan a la mezcla trabajabilidad, textura e influyen en el contenido de aire; las partículas menores a 0.3 mm equivalente al tamiz N° 50, son las que influyen directamente en estas propiedades.

Dentro de los agregados tanto fino como grueso existe un parámetro denominado módulo de finura (MF); es un valor que se calcula de la relación de la sumatoria

retenida en la serie de Tyler y dividido para 100; la serie de Tyler está compuesta por los tamices de 6", 3", 1/2", 3/4", 3/8", N° 4, 8, 16, 30, 50 Y 100.

### *1.2.3 Agregado grueso.-*

Son producto de las rocas, según su origen se clasifican en ígneas, metamórficas o sedimentarias, el proceso de extracción consiste en su explotación mediante el uso de minas, ríos, lagos o lechos marinos; se obtienen por medio de la trituración y tamizado del material; son partículas que generalmente van de 9.5 mm a 37.5 mm; en la actualidad con el fin de preservar el medio ambiente existe una nueva tendencia de utilizar agregado proveniente del hormigón reciclado, el cual se obtiene mediante trituración utilizando equipos convencionales.

Según los requerimientos de un hormigón se pueden utilizar rocas de distintos orígenes con la finalidad de que el hormigón cumpla con ciertas características por ejemplo para producir hormigones de peso normal 2200 a 2400 kg/cm<sup>2</sup>, se puede utilizar arena y agregado grueso producto de una andesita. Para producir concreto ligero de 1350 a 1850, se utiliza agregados producto de pizarras, esquisto, piedra pómez. Para producir hormigones pesados y aislantes de radiación se utilizan agregados pesados de fuentes que tengan minerales como la barita, magnetita, limonita o esferas de hierro para alcanzar altos valores de densidad; el presente trabajo es aplicado solo a hormigones de peso normal.

La selección del tamaño máximo de agregado grueso adecuado influye directamente en la economía del hormigón; con la utilización de agregados con tamaño máximo menor para alcanzar un volumen determinado se requiere de una mayor cantidad de

agua y de cemento, que si se compara con un agregado de tamaño máximo mayor, esto se produce debido al aumento del área superficial total del agregado; sin embargo con la reducción del tamaño máximo del agregado se puede alcanzar una mayor resistencia como es el caso de los hormigones de alta resistencia; pero no es el único factor que determina la elección óptima del tamaño máximo de un agregado, ya que también influyen factores como la adherencia del agregado con pasta de cemento, la resistencia de las partículas del agregado y resistencia relativa de la pasta de cemento.

Existen dos criterios similares que causan confusión, estos son el tamaño máximo y el tamaño máximo nominal del agregado; según la norma ASTM C 125, el tamaño máximo se define como el menor tamiz por el cual pasa el 100 % de la muestra, y al tamaño máximo nominal como la abertura del tamiz que retiene hasta el 10 % de la muestra.

#### *1.2.4 Características de los agregados.-*

##### *1.2.4.1.1 Granulometría.-*

Es la distribución del tamaño de las partículas de un agregado que se determina por medio de un análisis de los tamices; los tamices están normalizados de acuerdo a la norma ASTM C 33, y vienen en función de la clasificación del agregado, así por ejemplo para tamizar agregado fino se tiene una serie de siete tamices los cuales van con aberturas desde 0.15mm hasta 9.5 mm; mientras tanto para el agregado grueso la serie normalizada comprende 13 tamices que van desde los 1.18mm a 100mm.

La granulometría se expresa en porcentaje de material que pasa por un determinado tamiz; dentro de la norma ASTM C 33; el agregado fino empleado en el uso de hormigones tiene distintos rangos de tamaño conocidos como número de tamaño;

viene dado por el porcentaje de masa que pasa por un conjunto específico de tamices; mientras que el agregado grueso posee solamente un rango de tamaño.

Las razones principales para que existan en los agregados clasificaciones de tamaño, límites granulométricos y de tamaño máximo del agregado, es que estas propiedades del material granular afectan las proporciones relativas de los agregados, influyendo directamente a la demanda de agua-cemento, trabajabilidad, bombeabilidad, economía, retracción, porosidad y durabilidad del hormigón. No es conveniente desde el punto de vista económico tener material muy fino; ni tampoco es conveniente desde el punto de vista de la trabajabilidad tener material muy grueso; y por esta razón es conveniente combinar materiales con la finalidad de disminuir los vacíos.

Durante los primeros años de la tecnología del concreto se consideraba al material granular con el menor porcentaje de vacíos, con el fin de obtener una mayor densidad del hormigón. Esta limitaba las cantidades de los materiales más pequeños; sin embargo en la actualidad para producir hormigones económicos se necesita agregados con baja cantidad de vacíos sin ser esta la más baja, debido a que afecta a la trabajabilidad.

#### *1.2.4.1.2 Granulometría del agregado fino*

Los requisitos vienen dados por la norma ASTM C33; permiten el uso de un rango relativamente amplio; la selección de la granulometría óptima viene dada según el tipo de obra, el tamaño máximo del agregado grueso y de la relación agua-cemento; así por ejemplo, en mezclas con relaciones agua-cemento pobres y con agregado grueso de tamaño bajo, es recomendable alcanzar los valores máximos de la granulometría del agregado fino mejorando la trabajabilidad de la mezcla.

Los límites de la granulometría del agregado fino según la norma ASTM C 33, es la siguiente:

**Tabla 1.1 Requisitos granulométricos para el agregado fino, ASTM C 33**

<b>Tamiz</b>	<b>Porcentaje que pasa</b>
9.5 mm	100
4.75 mm	95 a 100
2.36 mm	80 a 100
1.18 mm	50 a 85
0.6 mm	25 a 60
0.3 mm	5 a 30
0.15 mm	0 a 10

**FUENTE: Diseño y Control de Mezclas de Hormigón. En S. H. Koshmata, B. Kerkhoff, W. C. Panarese, & J. Tanesi. Skokie: Portland Cement Association.**

#### *1.2.4.1.3 Granulometría del agregado grueso*

Los requisitos de gradación del agregado grueso vienen dados por la norma ASTM C33, permite límites amplios en la granulometría y gran variedad de los tamaños granulométricos o números de tamaño; el principal factor que afecta a la economía de las mezclas de hormigón es la selección del tamaño máximo del agregado, este no puede exceder ninguno de los tres criterios de selección:

- Un quinto de la dimensión más pequeña del miembro de concreto.
- Tres cuartos del espacio libre entre las varillas de refuerzo y entre las varillas y el encofrado.
- Un tercio de la profundidad de las losas.

Estos criterios de selección pueden ser omitidos si en opinión del ingeniero, la mezcla a ser colada en un determinado elemento posee una trabajabilidad adecuada, evitando la formación de agujeros y de vacíos.

A continuación se detallará parcialmente la clasificación del agregado grueso dada por la norma ASTM C 33; se tomará en cuenta los tamaños máximos más comunes:

**Tabla 1.2 Requisitos granulométricos para el agregado grueso, ASTM C 33**

N° del tamaño	Tamaño nominal	Porcentaje que pasa (%)							
		37.5 mm	25.0 mm	19.0 mm	12.5 mm	9.5 mm	4.75 mm	2.36 mm	1.18 mm
4	37.5 a 19mm	90 a 100	20 a 55	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---
467	37.5 a 4.75mm	95 a 100	---	35 a 70	---	10 a 30	0 a 5	----	---
5	25.0 a 12.5 mm	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	----	---	---
56	25.0 a 9.5 mm	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	---	---
57	25.0 a 4.75 mm	100	95 a 100	---	25 a 60	---	0 a 10	0 a 5	---
6	19.0 a 9.5 mm	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	---	---
67	19.0 a 4.75 mm	---	100	90 a 100	---	25 a 55	0 a 10	0 a 5	---
7	12.5 a 4.75 mm	---	---	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	---
8	9.5 a 2.36 mm	---	---	---	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5

**FUENTE: Diseño y Control de Mezclas de Hormigón. En S. H. Koshmata, B. Kerkhoff, W. C. Panarese, & J. Tanesi. Skokie: Portland Cement Association.**

#### *1.2.4.1.4 Forma y textura superficial.-*

Es una característica que influye en el hormigón tanto en estado fresco como en estado endurecido, debido a que partículas elongadas, angulares o con textura áspera; necesitan mayor cantidad de agua para producir un hormigón con una trabajabilidad adecuada que agregados redondeados, debidos a su mayor área superficial, lo que conlleva necesariamente a un aumento de la cantidad de cemento obteniendo una mezcla no económica; sin mayor o menor cantidad de agua. Un agregado de forma redondeada se compacta de mejor manera que un agregado de forma angular, produciendo una reducción de los vacíos que generan las partículas; las partículas alargadas también aumentan la demanda de agua y por ende de cemento debido a su área superficial; por tal motivo la norma ASTM D 4791 determina que las partículas planas y/o alargadas no deben exceder del 15% de la masa total del agregado; sin embargo, para hormigones que sean sometidos a flexión o altas resistencias a la compresión se debe evaluar la adherencia entre la pasta y los agregados, en este caso será favorable reemplazar los agregados redondeados con material angular.

#### *1.2.4.1.5 Masa unitaria.-*

Es la masa del agregado necesario para llenar un recipiente con un volumen unitario determinado, dicho volumen es ocupado por el agregado así como por los vacíos generados por el mismo, depende primordialmente de la forma del agregado. Los tres métodos para consolidar los agregados en el recipiente (vaciado con pala, varillado y sacudido), dependen del tamaño máximo del agregado y se describen en la norma ASTM C 29.

La masa unitaria utilizada en hormigones de peso normal varía entre los 1200 a 1750 kg/m<sup>3</sup>, y la cantidad de vacíos oscila entre el 35 a 50% en el agregado fino, y entre el 40 a 50% en el agregado grueso.

#### *1.2.4.1.6 Masa específica relativa.-*

Conocida también como gravedad específica de un agregado es la relación entre su masa y la masa de agua con el mismo volumen absoluto, se utiliza con el fin de calcular las proporciones de una mezcla de concreto. Normalmente, no se utiliza como un indicador de la calidad de los agregados; su valor oscila entre 2.4 a 2.9, para determinar la masa específica relativa de los agregados tanto grueso como fino se establecen las normas ASTM C 127 y C 128 respectivamente.

#### *1.2.4.1.7 Masa específica.-*

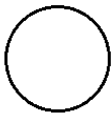
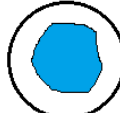


Es un valor utilizado en la dosificación de mezclas de hormigón; se obtiene multiplicando el valor de la masa específica relativa del agregado por la densidad del agua (1000 kg/m<sup>3</sup>), sin embargo la densidad del agua depende de la temperatura de la misma. Para cálculos más

precisos se puede acceder a esta información en las normas ASTM C 127 Y ASTM C 128; la masa específica de un agregado utilizado en un hormigón de peso normal oscila entre 2400 a 2900kg/m<sup>3</sup>.

#### 1.2.4.1.8 Absorción y humedad superficial.-

Las partículas de agregado están conformadas por materia sólida y por vacíos; dependiendo de las condiciones naturales en que se encuentre el agregado, pueden o no estar llenas de agua; las condiciones de humedad a las cuales está sometido un agregado este puede definirse como:

**Cuadro 1.5, Estados naturales de los materiales, Diseño y control de mezclas de hormigón**

Estado	Secado al horno	Secado al aire	Saturado con superficie seca	Húmedo
Esquema				
Humedad total	Ninguna	Menor que la absorción potencial	Igual a la absorción potencial	Mayor a la absorción potencial

**FUENTE: ASOCRETO. (2010). Tecnología del concreto. Bogotá: Asocreto**

Determinando la absorción y la humedad del agregado según la norma ASTM C 70, se puede controlar la cantidad de agua empleada en una mezcla, con el fin de uniformizar las mezclas de hormigón y evitar que las mismas varíen de un amasado a otro.

#### *1.2.4.1.9 Abrasión.-*

También conocido como desgaste de un agregado; es el principal índice para cuantificar la calidad de un agregado; la resistencia a la abrasión es de vital importancia cuando el agregado se utilizará en hormigones sujetos a desgaste como pavimentos rígidos o pisos industriales. La baja resistencia al desgaste del agregado grueso se traduce en el aumento de agregado fino, incrementando la demanda de agua y cemento.

La resistencia a la abrasión de un agregado se la evalúa a través de la máquina de Los Ángeles, acorde a la norma ASTM C 131 y C 535. Está especifica colocar una cantidad determinada de material acorde a su granulometría en un tambor de acero que contiene esferas de acero, se gira el tambor y se mide el material desgastado por medio de tamiz N° 12, para el uso de los agregados en el hormigón el máximo porcentaje admisible de desgaste es del 50%.

### **1.3 Agua**

Es un componente fundamental para la elaboración y el curado del hormigón, por tal motivo debe cumplir con la norma INEN 1108:2014.

Sin embargo en algunos casos la disponibilidad de agua potable es limitada, en ese caso se debe considerar ciertos factores que permitan decidir descartar o utilizar estos tipos de agua.

#### *1.3.1 Características químicas.-*

El exceso de impurezas en el agua de mezcla, no solo puede afectar al tiempo de fraguado y la resistencia del hormigón, también puede ocasionar eflorescencias, manchas, corrosión del acero de refuerzo y reducción de la durabilidad; sin embargo se pueden utilizar satisfactoriamente agua para la elaboración de hormigón con

concentraciones menores a las 2000 ppm de sólidos disueltos; con la condición de que cumplan con los requisitos especificados bajo la norma ASTM C 94 y que están en la **TABLA 1.3**; en aguas que contengan concentraciones mayores a 2000 ppm de sólidos disueltos es indispensable realizar análisis de laboratorio para verificar su efecto sobre la resistencia y el tiempo de fraguado; existen más de 100 tipos distintos de compuestos e iones que afectan a la mezcla de hormigón. (Abrams D. , 1920)

**Tabla 1.3 Requisitos de aprobación para aguas dudosas, ASTM C 94**

	<b>Límites</b>	<b>Norma</b>
<b>Resistencia a compresión de cubos de mortero, porcentaje mínimo en relación al control a los 7 días</b>	90	C 109
<b>Tiempo de fraguado, diferencia en relación al control, hr:min</b>	De 1:00 más temprano a 1:30 más tarde	C 191

**FUENTE: Diseño y Control de Mezclas de Hormigón. En S. H. Koshmata, B. Kerkhoff, W. C. Panarese, & J. Tanesi. Skokie: Portland Cement Association.**

Los principales compuestos e iones que afectan al hormigón son:

#### *1.3.1.1.1 Carbonato alcalino y bicarbonato.-*

Los principales carbonatos y bicarbonatos que afectan al hormigón son de sodio y de potasio; el carbonato de sodio puede causar fraguado rápido, mientras que el bicarbonato de sodio puede acelerar o retardar el fraguado de una masa de hormigón; si estas sales se encuentran en grandes concentraciones (mayores a 1000 ppm) puede afectar la resistencia del hormigón.

#### *1.3.1.1.2 Ion Cloruro.-*

La presencia en exceso de cloruros en el agua ataca a la capa protectora de óxido del acero de refuerzo; los cloruros se introducen en el hormigón a través de los materiales constituyentes de la mezcla (agregados, aditivos, materiales cementantes o agua de mezcla), o dependiendo de la clases de exposición; una fuente de cloruros puede ser el agua de mar, sales anticongelantes o ambientes marinos. En el caso del hormigón simple, al no poseer refuerzo no es perjudicial la cantidad de iones cloruros en el agua o en el agregado.

#### *1.3.1.1.3 Sulfato.-*

La principal preocupación respecto a un alto contenido de sulfatos en el agua utilizada en la mezcla, se debe a que produce reacciones expansivas y por ende deterioro de las superficies de hormigón, sin embargo se han realizado mezclas satisfactorias con concentraciones de 10000 ppm de sulfato de calcio.

#### *1.3.1.1.4 Agua de mar.-*

Se la puede emplear para su uso en mezclas de hormigón en casos excepcionales, siempre y cuando posean hasta una concentración de sales disueltas máxima de 35000 ppm y el hormigón no posea armadura de concreto; su composición química aproximadamente es 78% de cloruro de sodio y un 15% cloruro y sulfato de magnesio. Esta hace que el hormigón mezclado con agua salina alcance resistencias iniciales mayores, pero la resistencia a edades mayores será menor, la reducción de resistencia se la puede compensar disminuyendo la relación agua-cemento, se emplea un cemento que posea moderada resistencia a los sulfatos y se debe evaluar la reactividad álcali-

agregado para evitar deterioro prematuro; así también, el agua de mar tiende a generar eflorescencias y manchas en la superficie de hormigón expuesto al aire y al agua (Steinour, 1960)

Para el caso de hormigón armado y hormigón pretensado el agua de mar no se debe utilizar bajo ningún concepto debido al alto riesgo de corrosión.

### *1.3.2 Características físicas.-*

Se considera aceptable en la utilización de mezclas de hormigón el agua que no presente fuerte olor, ni fuerte sabor y esté debidamente clarificada por medio de tanques de sedimentación.

## **1.4 Aditivos:**

Se considera aditivo a cualquier ingrediente o adición que se incorpora a la mezcla, con el fin de proporcionar cierta característica que el hormigón por sí solo no es capaz de satisfacer; esta no debe ser agregado, cemento portland o agua; es importante recalcar, que la utilización de cualquier tipo de aditivo no reemplazara las buenas prácticas de construcción, y se debe conocer bien el manejo y los efectos que produce la utilización de aditivos en el hormigón, ya que el correcto desempeño de un aditivo depende de factores como: marca, cantidad del aditivo, forma, granulometría, proporción de los agregados; tiempo de mezclado y temperatura del hormigón.

En el país existen varias fábricas que venden aditivos bajo nombres comerciales, los cuales se detallarán de forma genérica a continuación:

- Incorporadores de aire.

- Plastificantes.
- Aceleradores.
- Retardadores.
- Impermeabilizantes.
- Colorantes.

#### *1.4.1 Incorporadores de aire.-*

Se utilizan con la finalidad de incorporar de manera uniforme en la mezcla burbujas microscópicas, está mejorara la trabajabilidad del hormigón en estado fresco, y una vez endurecido genera un hormigón con un sin número de burbujas o poros microscópicos que se desempeñan eficientemente ante ciclos de congelamiento-deshielo.

Existen cementos con aire incluido, estos son difíciles de conseguir en el mercado, por eso existen productos a base de sales de resinas de madera (resina vinsol), algunos detergentes sintéticos, sales de lignina sulfonatada, sales de ácido de petróleo, sales de material protaináceo, ácidos grasos, resinosos y sus sales, sulfonatos de alquibenceno y sales de hidrocarburos sulfonados.

#### *1.4.2 Plastificantes.-*

Son aditivos reductores de agua de alto rango, que se adicionan a hormigones de asentamientos y relaciones bajas agua – cemento para lograr un hormigón de asentamiento alto. Pese a ser fluido es trabajable y se lo coloca con poca energía de compactación o vibrado; se lo emplea en elementos en los cuales el encofrado es muy

delgado, en áreas de alta congestión de acero y en concreto para ser bombeado para reducir la presión de bombeo; este tipo de aditivos pueden alcanzar asentamientos de 230 mm en hormigones que tienen asentamientos normales de 75 mm logrando una fluidez aceptable.

Según la norma ASTM C 1017, un concreto fluido es aquel que tiene un asentamiento mayor a 190 mm, pero que posee sus propiedades cohesivas, sin embargo el efecto de fluidez que adquiere el hormigón es corto (dura aproximadamente de 30 a 60 minutos como máximo), después de este periodo el hormigón pierde rápidamente la trabajabilidad especialmente cuando existen altas temperaturas.

La presentación de este tipo de productos es en líquido, según la composición química del mismo el tiempo de fraguado puede acelerarse o retardarse, normalmente, está compuesto por formaldehído condensado de melanina sulfonato, formaldehído condensado de naftaleno sulfónico, lignosulfonatos y policarboxilatos.

#### *1.4.3 Aceleradores.-*

Se utilizan con la finalidad de incrementar la tasa normal de hidratación (fraguado) y desarrollar resistencia del hormigón a edades tempranas, el desarrollo de resistencia inicial también se puede acelerar utilizando cemento de alta resistencia inicial, reduciendo la relación agua – cemento, usando reductores de agua o curando el hormigón a altas temperaturas.

Es importante conocer la composición química de los aditivos aceleradores debido a que la mayoría de estos están compuesto por cloruro de calcio, los iones cloruros son

nocivos para el hormigón especialmente para el armado y el pretensado, aumentando la contracción del hormigón y generando pérdida de resistencia a largo plazo; por tal motivo se debe ser extremadamente cuidadoso con la utilización de aditivos aceleradores y en el caso de seleccionar aditivo, compuesto de cloruro de calcio utilizarlo en forma de solución más no en forma granular ya que contienen concentraciones más altas. Existen aditivos aceleradores en base de trietanolamina, tiocianato de calcio, formiato de calcio, nitrito de calcio y nitrato de calcio.

#### *1.4.4 Retardadores.-*

Se utilizan con la finalidad de disminuir la tasa de hidratación (fraguado), pero existen otros métodos más fáciles y económicos de realizar este proceso, una es reducir la temperatura del hormigón mediante del enfriamiento del agua de la mezcla y/o de los agregados, debido a que un hormigón que alcance los 30°C, va a acelerar su tasa de endurecimiento. Esto torna difícil su trabajabilidad y colocación; este tipo de aditivos, no disminuye la temperatura inicial del concreto, sino incrementa la tasa de sangrado. Se los utiliza para poder extender el tiempo del fraguado y tener un hormigón manejable por mayor tiempo, lo cual es útil en ambientes con altas temperaturas, generalmente la utilización de este tipo de aditivos afecta en la resistencia inicial del hormigón y pueden afectar perjudicialmente la retracción del hormigón. Se debe realizar ensayos para determinar la aceptación de cualquier aditivo retardador; los aditivos retardadores generalmente están compuestos por lignina, bórax, azúcares, ácido tánico y sales.

#### *1.4.5 Impermeabilizantes.-*

Su utilización es para reducir la tasa con la cual el agua a baja presión, se transmite a través del concreto, esta tasa se la puede reducir manteniendo una baja relación agua-cemento y aumentando el tiempo de curado húmedo; se pueden utilizar algunos materiales cementantes suplementarios como el humo de sílice que reduce la permeabilidad durante el proceso de hidratación o fraguado. Existen también aditivos que contienen ácido graso alifático y una emulsión acuosa que bloquean la capilaridad del hormigón en mezclas con alto contenido de cemento y baja relación de agua cemento (Aldred, 1988). Los aditivos impermeabilizantes están compuestos por látex o estearato de calcio.

#### *1.4.6 Colorantes.-*

Se utilizan con motivos estéticos o de seguridad, por ejemplo el color rojo se utiliza para advertir la presencia de líneas subterráneas eléctricas o de gas, el concreto amarillo se utiliza en la guías de seguridad de los pavimentos.

Para dar pigmentación al hormigón, se utiliza compuestos naturales o sintéticos, en un porcentaje no mayor al 10% de la masa de cemento para no afectar las propiedades del hormigón; dentro de los principales pigmentos del hormigón, se usa el negro de humo modificado, óxido férrico, tierra de sombra, óxido de cromo, óxido de titanio y azul cobalto, entre otros.

### **1.5 Curado acelerado.-**

Ante el desarrollo a pasos agigantados de la tecnología del hormigón, es importante encontrar nuevas metodologías que permitan evaluar la calidad de un hormigón en

menor tiempo posible, para de esta manera ir a la par de los grandes avances dentro de este campo de estudio y es así como se propone en esta investigación una metodología adecuada para poder evaluar la resistencia de mezclas de hormigón a edades tempranas, con la finalidad de poder corregir a tiempo cualquier tipo de anomalía presente durante la elaboración de mezclas de concreto.

Para alcanzar altas resistencias iniciales se puede emplear cementos tipo III o de alta resistencia inicial, aditivos acelerantes, aumentar la cantidad de cemento en una mezcla reduciendo la relación agua cemento; todas las anteriores son metodologías perfectamente válidas pero en la realidad algunas no son viables de utilizar; por ejemplo en el mercado no se consigue fácilmente un cemento tipo III y no se va a utilizar este tipo de cemento en la elaboración de mezclas para construir viviendas o edificios, ya que significaría un incremento en los costos de la obra; la utilización de aditivos, significa un riesgo debido a que estos aditivos están compuestos principalmente de cloruro de calcio, disminuyendo la resistencia del acero de refuerzo o en su defecto afectan a la trabajabilidad e inclusive, aumentar la contracción del hormigón, siendo perjudicial en términos de durabilidad y de economía de la estructura.

Incrementar la cantidad de cemento para disminuir la relación agua-cemento es una acción antieconómica debido a que el cemento es el compuesto de mayor valor comercial dentro de los componentes del hormigón; así que la medida más viable para acelerar la tasa de hidratación de un mezcla, y por ende incrementar su resistencia a edades tempranas es aumentar la temperatura de la masa de hormigón a más de 30°C, con la finalidad de que actúe como catalizador entre el agua y los silicatos dicalcicos y

silicatos tricalcicos para producir silicato de calcio hidratado, compuesto que da al hormigón las propiedades de endurecimiento, resistencia y estabilidad dimensional; con el objetivo de que no exista pérdidas de humedad y que la tasa de endurecimiento sea lo más alta posible. Las muestras serán sometidas a inmersión en agua en término de ebullición.

#### *1.5.1 Descripción del ensayo.-*

Para aplicar correctamente el método de curado acelerado con el propósito de evaluar a edades tempranas las distintas mezclas que se fabricaran para una cierta obra, se debe considerar los siguientes parámetros:

- Los agregados deben provenir de una cantera fija.
- Se debe utilizar una marca fija de cemento durante la mezcla.
- Se debe tener una fuente fija de agua de mezclado.

Una vez seleccionado el material se debe proceder con:

- a) Toma de muestras.
- b) Curado acelerado y rotura de las muestras.

##### *1.5.1.1.1 Toma de muestras.-*

Con el fin de controlar la calidad de la mezcla de concreto, las muestras se deben tomar acorde a la norma ASTM C 31, una vez tomado la muestra se debe colocar en un lugar donde no pierdan humedad y a una temperatura de  $21 \pm 6^{\circ}\text{C}$ .

#### *1.5.1.1.2 Curado acelerado y rotura de las muestras.-*

Para realizar el curado acelerado por medio de la inmersión en agua en estado de ebullición es necesario tener recipientes de gran capacidad y que soportan altas temperaturas; la fuente de calor puede ser eléctrica o mediante el uso de combustión. Luego de 23 h  $\pm$  15 min de haber tomado el cilindro, se debe colocar las muestras en los moldes que contenga el agua en ebullición con suma precaución y utilizando un equipo de protección adecuado, se controlará periódicamente la temperatura, con el fin que no exista algún descenso significativo. La muestra debe ser curada utilizando este método por un lapso de 3.5 h  $\pm$  5 min, luego se debe dejar en reposo por un periodo de una hora, transcurrido ese tiempo se tiene 28.5  $\pm$  15min para proceder a ensayar la muestra.

***Fotografía 1.6 Ensayo de curado acelerado, ASTM C 684***



**FUENTE: JUAN CARLOS SONO, ANDRES ANDRADE**

Para mayor información acerca de métodos de curado acelerado en el hormigón consultar la norma ASTM C 684.

### *1.5.2 Materiales a ser utilizados para la elaboración de mezclas.-*

Con la finalidad de obtener un ambiente controlado para la elaboración de mezclas de hormigón no se optó por la utilización de aditivos, y para poder aplicar de una manera correcta el método, se utilizó materiales de buena calidad y de fácil acceso dentro de la ciudad del Distrito Metropolitano de Quito, a continuación resumiremos en una tabla los suministros utilizados para realizar esta investigación:

**Cuadro 1.6 Descripción del material a ser empleado en el ensayo**

<b>Material</b>	<b>Fuente</b>	<b>Descripción</b>
Agregado fino	Cantera Guayllabamba	Arena lavada de río
Agregado grueso	Cantera Guayllabamba	Canto rodado
Cemento	HOLCIM	Cemento tipo GU de uso común
Agua	Red de agua potable de Quito	Agua potable
Aditivo	N/A	N/A

**FUENTE: JUAN CARLOS SONO, ANDRES ANDRADE**

## **CAPÍTULO II**

### **DOSIFICACIÓN**

La dosificación del hormigón, es un procedimiento que consiste en el proporcionamiento de los distintos materiales que lo componen, con el propósito de lograr mezclas homogéneas, trabajables y que cuando se endurezcan posean la resistencia mecánica adecuada para cumplir las solicitaciones externas; para fabricar mezclas de hormigón, es necesario conocer las características y propiedades de los elementos constitutivos, así como de la mezcla en sí; también es de suma importancia conocer las condiciones ambientales a las que el hormigón va a estar expuesto (deshielos, agua y suelo con alto contenido de sulfatos, aguas altos contenidos de cloruros), para evitar un prematuro desgaste del hormigón.

Para poder dosificar adecuadamente, existen parámetros de diseño que contemplan los factores mencionados anteriormente; los cuales están considerados dentro de las normativas, en nuestra investigación, se utilizó una versión modificada del método del ACI 211.1<sup>1</sup> para la elección de algunos parámetros de diseño.

La dosificación se la debe realizar al peso y no al volumen como se acostumbra a utilizar en nuestro medio con el uso de concreteras pequeñas y de las llamadas “parihuelas”, esta práctica es errónea debido a que no se puede realizar controles precisos de la cantidad de agua que interviene en la mezcla lo cual afecta a la calidad del concreto producido de esta manera.

---

<sup>1</sup> Ing. Lauro Lara, LABORATORIO DE HORMIGONES, INGENIERÍA CIVIL, PUCE.

## 2.1 Fundamentos del hormigón.-

La definición más fácil de entender y expresar al hormigón, está compuesto de dos componentes fundamentales: pasta cementante y los agregados; la pasta de cemento producto de la unión de cemento portland (puede incluir otros materiales cementantes) con agua, aglutina a los agregados, compuestos generalmente de arena y grava, que luego de endurecerse forman un material similar a la roca. Este endurecimiento ocurre debido a la reacción química del cemento con el agua y se lo llama fraguado; como ya se conoce los agregados están divididos en dos grupos: agregado fino y agregado grueso, la diferencia está dada por el tamaño de las partículas; y la pasta de cemento está conformada por material cementante más agua.

**Gráfico 2.1 Representación de los componentes del hormigón, Diseño y control de mezclas de hormigón.**

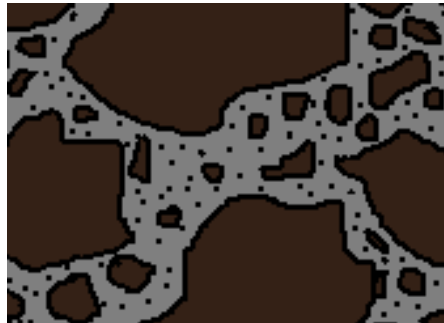


**FUENTE: Diseño y Control de Mezclas de Hormigón. En S. H. Koshmata, B. Kerkhoff, W. C. Panarese, & J. Tanesi. Skokie: Portland Cement Association.**

En el esquema mostrado, se puede observar de manera gráfica las cantidades volumétricas de los materiales constitutivos del hormigón de una manera aproximada; se puede observar que los agregados fino y grueso constituyen aproximadamente el 70% del volumen absoluto en una mezcla de concreto; por tal motivo, la selección del agregado es un aspecto primordial para obtener un hormigón de calidad. Los agregados deben componerse de partículas con una granulometría continua y que puedan resistir las condiciones ambientales y mecánicas a las cuales va a ser sometido el hormigón.

La calidad de un hormigón depende de la calidad de la pasta, y del agregado; por lo tanto el agregado utilizado en una mezcla debe poseer una granulometría continua con la finalidad de que la pasta de cemento envuelva a cada una de las partículas del agregado y llene los espacios entre ellas; y es de suma importancia que los agregados sean lo más limpios posible para garantizar su adherencia con la pasta de cemento.

**Gráfico 2.2 Distribución agregado pasta, Tecnología del concreto.**



**FUENTE: ASOCRETO. (2010). Tecnología del concreto. Bogotá: Asocreto**

En resumen un hormigón de calidad, debe poseer una pasta de calidad, esta depende directamente de la cantidad de agua empleada en la mezcla con relación a una cantidad de cemento, lo que se conoce como relación agua-cemento (a/c).

Cuando gran cantidad de agua es adicionada innecesariamente en el hormigón, esta genera:

- Mayor porosidad capilar y por ende
- Hormigones más permeables,
- Hormigones menos resistentes a la intemperie
- Hormigones que desarrollan menor resistencia mecánica tanto a compresión como a flexión.

Mientras menor agua se utilice en la mezcla, mejor será la calidad del hormigón; sin embargo menores cantidades de agua generan mezclas secas las que son difíciles de trabajar y requieren mayor tiempo de compactación o vibrado.

El proceso de selección de los materiales constitutivos del hormigón, su proporcionamiento, colocado en obra de hormigón, su consolidación y curado; tienen como objetivos:

- Disponer de un material de construcción resistente.
- Sean durables a través del tiempo
- Resistan a la abrasión y sean impermeable.

El hormigón puede ser moldeado en gran variedad de formas, siendo su única limitación un correcto sistema de encofrado.

Existen gran número de colores y texturas que le permiten ser un material extremadamente versátil en un gran número de aplicaciones, el hormigón se presenta en dos estados:

### *2.1.1 Hormigón en estado fresco.-*

El hormigón recién mezclado debe ser plástico, esto quiere decir que todas las partículas del agregado deben ser envueltas y mantenerse en suspensión por la pasta de cemento; durante el transporte no debe existir segregación; por lo tanto cuando el concreto se endurece debe ser una masa homogénea y durante el colado el hormigón debe fluir lentamente sin desmoronarse.

En la práctica de la construcción, es muy común encontrarse con elementos muy delgados o con zonas de alta congestión de acero de refuerzo, por lo que se recomienda la inclusión de aditivos plastificantes para obtener un acabado de calidad en este tipo

de obras; mientras el hormigón se encuentre en estado fresco es posible medir ciertas propiedades, con el fin de determinar la calidad del mismo; a continuación se detallaran las más importantes.

#### *2.1.1.1.1 Trabajabilidad*

Se define como la facilidad que posee un hormigón para ser mezclado, transportado, consolidado y acabado. El grado de trabajabilidad que se requiere en una obra depende del tipo de colocación (vaciado o bombeado); los factores que influyen son:

- Tipo y cantidad de material cementante.
- Cantidad de agua.
- Tamaño, forma y textura de los agregados.
- Uso de aditivos.

Una buena granulometría y la presencia de aire incluido mejora la trabajabilidad considerablemente; generalmente la consistencia es utilizada como el mejor indicador de la trabajabilidad de un hormigón.

#### *2.1.1.1.2 Segregación*

Es la tendencia de separación de las partículas gruesas de la fase de mortero del concreto que se mide por medio del cono de Abrams; se presenta por falta de cohesión de la mezcla, esto va a influir directamente en la trabajabilidad.

Se presenta en el hormigón debido a una mala granulometría, mal mezclado y exceso de vibración; para reducir la segregación es aconsejable:

- Tener una buena granulometría.
- Reducir la distancia de acarreo del hormigón a obra.

- Disminuir el tiempo de vibración.
- No introducir el hormigón a una altura mayor a 1.50m.

#### *2.1.1.1.3 Sangrado.-*

Es la formación de una lámina de lechada en el tope de una superficie de hormigón recién colocada, es causada debido a la sedimentación de los agregados y del cemento, es un proceso normal en pequeñas cantidades y es beneficioso para evitar agrietamiento por contracción plástica.

Si el sangrado es excesivo, este tiende a generar porosidad capilar en la superficie del hormigón, obteniendo mezclas menos resistentes tanto mecánicamente así como a la intemperie; la utilización de materiales cementantes suplementarios o de cementos más finos con una granulometría adecuada son suficientes para evitar este inconveniente.

#### *2.1.1.1.4 Consolidación.-*

Es la transmisión de energía por medios mecánicos (vibradores) o manuales (varillas), a una mezcla de hormigón con la finalidad de permitir movilidad para ocupar la totalidad de los espacios del encofrado y que produzca un reacomodo de las partículas de agregado.

La utilización de vibradores permite trabajar con mezclas secas obteniendo excelentes resultados en términos del acabado del hormigón.

### 2.1.2 *Hormigón endurecido.-*

Luego de iniciarse el proceso de fraguado el hormigón pierde las propiedades plásticas del concreto y pasa por una etapa de endurecimiento que requiere grandes cantidades de agua para poder ser curado adecuadamente.

#### 2.1.2.1.1 *Curado.-*

Es el aumento de la resistencia a través del tiempo y continúa siempre y cuando existan las condiciones detalladas a continuación:

- Presencia de cemento no hidratado.
- El hormigón permanezca saturado o exista humedad relativa en el aire superior al 80%
- Exista espacio suficiente para la formación de nuevos producto.
- La temperatura del hormigón permanezca favorable evitando temperaturas inferiores a los 10°C. (Powers, 1948)

Por lo tanto es primordial que un hormigón se encuentre constantemente con agua, para permitir que se produzca la hidratación del cemento y desarrollar de manera natural su resistencia.

#### 2.1.2.1.2 *Resistencia.-*

Debido a la naturaleza del hormigón, la resistencia a la compresión es su principal fortaleza y se define como la relación entre una carga axial sobre una unidad de superficie de hormigón, usualmente se expresa haciendo referencia a los 28 días de edad; en nuestro medio es común que este valor este expresado en kilogramos por

centímetro cuadrado ( $\text{kg/cm}^2$ ), aunque las unidades en el sistema internacional (SI), son megapascuales (MPa).

La resistencia a la compresión especificada se designa con el símbolo  $f'_c$ , y la resistencia real del concreto que debe exceder la especificada se conoce como  $f_c$ .

La resistencia real del concreto  $f_c$ , está en función de:

- Relación agua – cemento.
- Tipo de curado.
- Condiciones ambientales.

La determinación de la resistencia a compresión de un hormigón se obtiene por medio de ensayos utilizando cilindros de hormigón normados de 150 mm de diámetro x 300 mm de altura, conservando una relación 1:2 de diámetro – altura; la normativa ASTM C31 nos permiten utilizar cilindros de 100 mm x 200 mm, siempre y cuando tres veces el tamaño máximo nominal sea menor al diámetro del espécimen.

#### 2.1.2.1.3 Masa volumétrica.-

El hormigón de peso normal utilizado generalmente en la construcción de edificios, puentes, pavimentos y todo tipo de estructuras, tiene una masa volumétrica que va de 2200 a 2400  $\text{kg/m}^3$ ; este valor lógicamente varía dependiendo de:

- El origen.
- La densidad.
- La cantidad del agregado a ser utilizado para la elaboración de la mezcla.
- La incorporación de aire por medio de aditivos.
- El tamaño máximo del agregado a ser utilizado en las mezclas.

Según la masa volumétrica se catalogan una gran cantidad de hormigones especiales para atender distintas necesidades, que varían desde aislantes ligeros con masa volumétrica de  $240\text{kg/m}^3$ , a blindajes contra radiación con masas volumétricas de  $6000\text{kg/m}^3$ .

#### *2.1.2.1.4 Permeabilidad.-*

Se define como permeabilidad a la capacidad del concreto en resistir la penetración del agua o cualquier otra sustancia líquida. La permeabilidad depende de:

- La relación agua – cemento.
- El grado de hidratación del cemento
- El periodo de curado del hormigón.

Para elaborar hormigones con baja permeabilidad es necesario tener relaciones de agua – cemento también bajas, lo cual ayuda a controlar la segregación y el sangrado.

#### *2.1.2.1.5 Agrietamiento.-*

La contracción es un fenómeno inherente al hormigón que no se puede evitar y es producida por la evaporación del agua del hormigón durante el proceso de fraguado generando retracción; la contracción es proporcional al agua de mezcla empleada para la elaboración del mismo, pero también influye la cantidad, tamaño y forma del agregado utilizado en la dosificación.

Para evitar grandes agrietamientos se emplea el acero de refuerzo o se utilizan juntas para predeterminar y controlar la formación de grietas.

## **2.2 Mezclas granulométricas.-**

Cuando el agregado no cumple con las especificaciones necesarias para elaborar hormigones, es necesario realizar un análisis más minucioso, que considera una granulometría combinada de los agregados finos y gruesos, de la misma manera como se presentan en el hormigón.

Al mezclar los dos materiales generalmente existe una carencia en la granulometría del tamaño 9.5 mm, lo que produce una alta contracción, mayor demanda de agua y baja trabajabilidad.

Cuando nuestra granulometría cumple con las especificaciones detalladas en la normas ASTM C 33, podemos escoger el método ACI, para poder proporcionar el material pétreo; si no cumplimos con la granulometría será necesario optimizar la curva granulométrica para producir una relación agua – cemento más eficiente, ante lo cual se utilizará el método gráfico descrito por la Road Note Laboratory.

### *2.2.1 Método ACI.-*

Se utiliza cuando se cumple con las especificaciones granulométricas detalladas en la norma ASTM C 33, tanto para agregado fino, como para agregado grueso.

Consiste en determinar el volumen de agregado grueso por metro cúbico de hormigón, existen tablas dadas por el ACI 211.1 (Tabla 2.1), que están basadas en volúmenes del agregado grueso compactado y seco al horno acorde en la norma ASTM C 29.

**Tabla 2.1 Selección del volumen de agregado grueso para distintos módulos de finura del agregado fino, ACI 211.1**

Tamaño máximo nominal del agregado Mm	Volumen del agregado grueso compactado en seco por volumen unitario de hormigón para diferentes módulos de finura del agregado fino			
	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
19	0.66	0.64	0.62	0.60
25	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5	0.75	0.73	0.71	0.69
50	0.78	0.76	0.74	0.72
75	0.82	0.80	0.78	0.76
150	0.87	0.85	0.83	0.81

**FUENTE: Diseño y Control de Mezclas de Hormigón. En S. H. Koshmata, B. Kerkhoff, W. C. Panarese, & J. Tanesi. Skokie: Portland Cement Association.**

Para utilizar la tabla se debe conocer el módulo de finura del material grueso y el tamaño máximo nominal del agregado; para ciertos valores intermedios se debe interpolar linealmente.

Una vez determinado el contenido de agregado grueso por metro cúbico de hormigón se debe multiplicar por el peso unitario compactado del mismo para poder obtener la cantidad en masa de agregado grueso por metro cúbico.

El volumen del agregado fino se obtiene por diferencia entre un volumen de  $1\text{m}^3$  y los volúmenes de los demás materiales empleados en la mezcla.

### 2.2.2 Método de la Road Note Laboratory.-

Generalmente ni la arena, ni el agregado grueso cumplen con las especificaciones granulométricas; entonces se debe optimizar la curva granulométrica entre estos dos materiales, de tal manera que puedan lograr relaciones entre agregado fino y el grueso que den a la mezcla las propiedades de trabajabilidad, compactación y textura adecuadas. Existe un sinnúmero de investigaciones propuestas que proponen un análisis matemático para determinar un material granular “ideal”, con la finalidad de alcanzar un alto grado de compactación. Debido a lo complejidad para encontrar un

material que se acerque a las curvas propuestas se han desarrollado investigaciones de laboratorio que determinan un rango granulométrico con la finalidad de mantener economía, buena trabajabilidad, y que no tengan un excesivo sangrado, ni segregación. Por medio de investigaciones se determinó los siguientes rangos granulométricos:

**Tabla 2.2 Granulometría ideal definida según la ASOCRETO, ASOCRETO**

TAMIZ N°		37.5		25		19		12.5		9.5	
Mm	in	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN
100	4"	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
90	3 1/2"	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
75	3"	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
63	2 1/2"	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
50	2"	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
37,5	1 1/2"	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
25	1"	87	80	100	100	100	100	100	100	100	100
19	3/4"	78	68	90	85	100	100	100	100	100	100
12,5	1/2"	68	55	78	68	87	80	100	100	100	100
9,5	3/8"	62	47	71	58	78	68	90	85	100	100
4,75	N°4	48	32	56	40	62	47	71	58	78	68
2,36	N°8	38	22	44	27	48	32	55	40	61	46
1,18	N°16	30	15	34	18	38	22	44	27	48	32
0,6	N°30	23	10	27	13	30	15	34	19	38	22
0,3	N°50	18	7	21	9	23	10	27	13	30	15
0,15	N°100	14	5	17	6	18	7	21	9	23	10

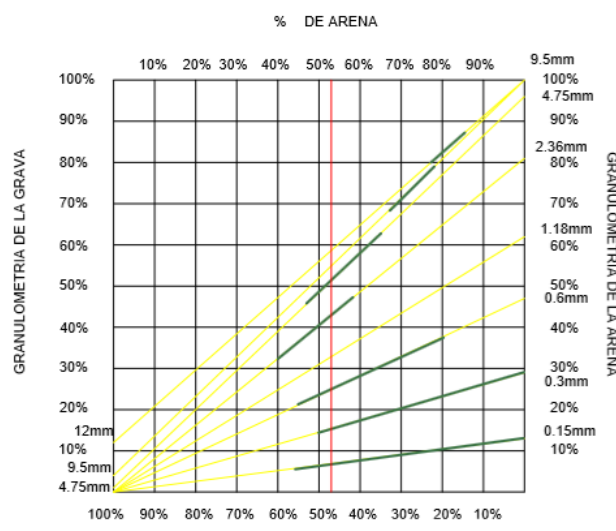
**FUENTE: ASOCRETO. (2010). Tecnología del concreto. Bogotá: Asocreto**

Para determinar la cantidad de material a ser utilizado en la mezcla, existe una metodología gráfica y una analítica; a continuación se describirá la metodología gráfica propuesta por la Road Note Laboratory, la cual consiste en lo siguiente:

- Se dibuja un cuadrado de 10 divisiones en el eje abscisa y 10 divisiones en el eje de las ordenadas.
- El eje de las ordenadas se enumera de abajo hacia arriba de 0 a 100%; el superior eje de las abscisas se enumera de 0 a 100% de izquierda a derecha y el inferior de derecha a izquierda; de tal manera que una recata que corte verticalmente sume 100%.

- El eje superior de las abscisas determina el porcentaje de arena, el inferior corresponderá al porcentaje de grava.
- Sobre el eje de las ordenadas correspondientes al 100% de la arena se grafica la granulometría de la arena y sobre el 100% de la grava se grafica la granulometría de dicho material.
- Se une mediante líneas rectas los porcentajes retenidos por cada tamiz de cada material.
- Sobre las líneas rectas que representan tamices se colocan las especificaciones correspondientes.
- Finalmente se dibuja una línea recta que divida de igual cantidad tanto al lado izquierdo como al derecho y esta división corresponde a la cantidad de material a ser mezclado.

**Gráfico 2.3 Método de proporcionamiento gráfico**



**FUENTE: Diseño y Control de Mezclas de Hormigón. En S. H. Koshmata, B. Kerkhoff, W. C. Panarese, & J. Tanesi. Skokie: Portland Cement Association.**

## 2.3 Parámetros de dosificación

### 2.3.1 Clase de exposición

Para poder determinar los parámetros de diseño de mezclas de hormigón, el primer paso que se debe seguir es; conocer el grado de exposición a distintos medios perjudiciales como suelos y aguas con alto contenido de sulfatos, alto contenido de iones de cloro, ciclos de congelamiento y deshielo; para poder controlar las distintas clases de exposición el ACI 318, capítulo 4: Requisitos de Durabilidad, detalla el tipo de exposición y los requisitos mínimos de resistencia, relación agua-cemento con el objetivo de que el hormigón tenga una durabilidad adecuada durante su periodo de vida útil.

**Cuadro 2.1 Clases de exposición y requisitos mínimos para la elaboración de hormigones, ACI 318-08**

CLASE DE EXPOSICION	CATEGORIA	A/C	f'c (min)	DESCRIPCIÓN	SEVERIDAD
CONGELAMIENTO	F0	N/A	210	CONCRETO NO EXPUESTO A CICLOS DE CONGELAMIENTO Y DESHIELO	N/A
	F1	0,45	310	CONCRETO EXPUESTO A CICLOS DE CONGELAMIENTO Y DESHIELO Y EXPOSICION OCACIONAL A LA HUMEDAD	MODERADA
	F2	0,45	310	CONCRETO EXPUESTO A CICLOS DE CONGELAMIENTO Y DESHIELO Y EN CONTACTO CONTINUO CON LA HUMEDAD	SEVERA
	F3	0,45	310	CONCRETO EXPUESTO A CICLOS DE CONGELAMIENTO Y DESHIELO QUE ESTARÁ EN CONTACTO CONTINUO CON LA HUMEDAD Y EXPUESTO A PRODUCTOS QUIMICOS DESCONGELANTES	MUY SEVERA
SULFATO (AGUA Y SUELO)	S0	N/A	210	SO <sub>4</sub> <0.10	N/A
	S1	0,5	280	0.10≤SO <sub>4</sub> <0.2	MODERADA
	S2	0,45	310	0.2≤SO <sub>4</sub> ≤2.00	SEVERA
	S3	0,45	310	SO <sub>4</sub> >2.00	MUY SEVERA
REQUIERE BAJA PERMEABILIDAD	P0	N/A	210	EN CONTACTO CON EL AGUA DONDE NO SE REQUIERE BAJA PERMEABILIDAD	N/A

	P1	0,5	280	EN CONTACTO CON EL AGUA DONDE SE REQUIERE BAJA PERMEABILIDAD	REQUERIDA
<b>PROTECCIÓN DEL REFUERZO PARA LA CORROSIÓN</b>	C0	N/A	210	CONCRETO SECO O PROTEGIDO CONTRA LA HUMEDAD	N/A
	C1	N/A	210	CONCRETO EXPUESTO A LA HUMEDAD, PERO NO A UNA FUENTE EXTERNA DE CLORUROS	MODERADA
	C2	0,4	350	CONCRETO EXPUESTO A LA HUMEDAD Y A UNA FUENTE EXTERNA DE CLORUROS PROVENIENTES DE PRODUCTOS QUÍMICOS DESCONGELANTES, SAL, AGUA SALOBRE, AGUA DE MAR, O SALPICADURAS DEL MISMO ORIGEN	SEVERA

**FUENTE: Diseño y Control de Mezclas de Hormigón. En S. H. Koshmata, B. Kerkhoff, W. C. Panarese, & J. Tanesi. Skokie: Portland Cement Association.**

### 2.3.2 Relación agua-cemento

Una vez conocida la clase de exposición que el hormigón va a sufrir durante su periodo de vida útil y tomadas las medidas mínimas detalladas en la norma antes mencionada se debe proceder a seleccionar una relación agua-cemento lo más eficiente posible con la finalidad de obtener una mezcla trabajable, duradera y resistente.

El método de dosificación recomendado por el ACI 211.1 (Tabla 2.3), da valores de distintas relaciones agua-cemento según la resistencia de diseño requerida; para valores intermedios se debe interpolar linealmente.

**Tabla 2.3 Valores referenciales de relación agua – cemento para distintas resistencias, ACI 211.1**

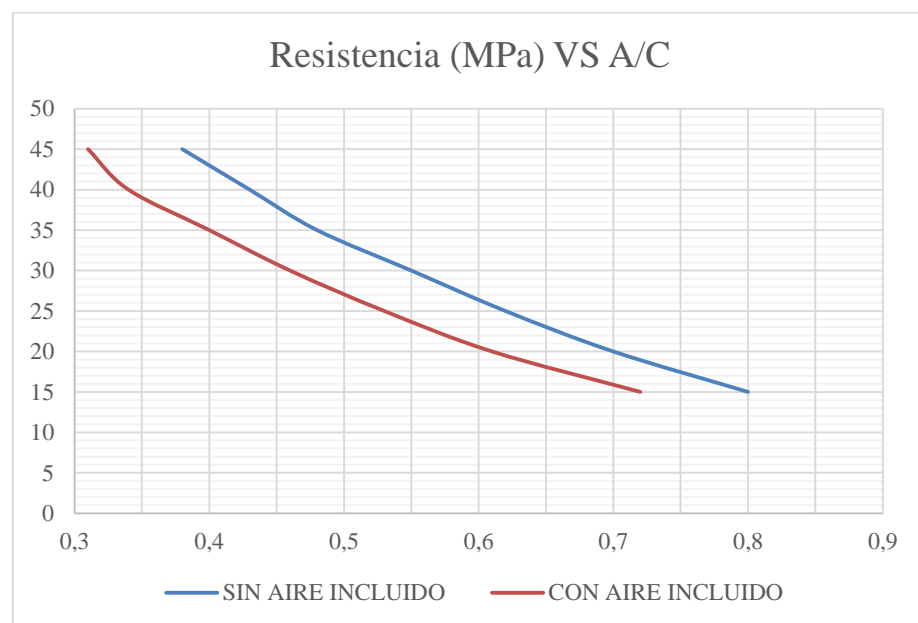
Resistencia a la compresión a los 28 días, MPa	Relación agua-cemento en masa	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
45	0.38	0.31
40	0.43	0.34
35	0.48	0.40
30	0.55	0.46
25	0.62	0.53
20	0.70	0.61
15	0.80	0.72

FUENTE:  
Control de  
Hormigón. En  
Koshmata, B.  
C. Panarese, &  
Skokie:  
Cement

Diseño y  
Mezclas de  
S. H.  
Kerkhoff, W.  
J. Tanesi.  
Portland  
Association.

Los valores de la tabla anterior se pueden graficar con la finalidad de obtener valores intermedios de una manera mucho más rápida.

Gráfico 2.4 Valores referenciales de relación agua – cemento para distintas resistencias, ACI 211.1



FUENTE: Diseño y Control de Mezclas de Hormigón. En S. H. Koshmata, B. Kerkhoff, W. C. Panarese, & J. Tanesi. Skokie: Portland Cement Association.

### 2.3.3 Cantidad de agua de mezcla.-

Después de conocer la relación agua-cemento, se procede a estimar la cantidad de agua de mezcla. Esta es la cantidad de agua total que se requiere por un metro cúbico de hormigón, y la que dará al hormigón la consistencia requerida; esta incluye la humedad que poseen los agregados en estado natural. El valor está estimado por medio de tablas

dadas por la ACI 211 que consideran agregados gruesos angulares con granulometrías que cumplen las especificaciones; por lo tanto para agregados redondeados requiere una disminución de 18kg de agua por 1m<sup>3</sup> de concreto para el caso de hormigones sin aire incluido; y de 15 kg de agua por 1m<sup>3</sup> de concreto en hormigones con aire incluido. Así mismo el promedio del contenido total de aire es una recomendación, para más información se debe consultar la norma ASTM C 94.

**Tabla 2.4 Valores referenciales de agua de mezcla por metro cúbico de hormigón, ACI 211.1**

	Agua, kg/m <sup>3</sup> de concreto, para los tamaños máximos nominal indicados (mm)							
	9.5	12.5	19	25	37.5	50	75	150
<b>Asentamiento, mm</b>	<b>Concreto sin aire incluido</b>							
	207	199	190	179	166	154	130	113
75 a 100	228	216	205	193	181	169	145	124
150 a 175	243	228	216	202	190	189	160	---
Cantidad aproximada de aire atrapado en concretos sin aire incluido, %	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
	<b>Concreto con aire incluido</b>							
25 a 50	181	175	168	160	150	142	122	107
75 a 100	202	193	184	175	165	157	133	119
150 a 175	216	205	197	184	174	166	154	---
Promedio del contenido del contenido total de aire recomendado para cada grado de exposición, %								
Moderado	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Severo	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Muy severo	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

**FUENTE: Diseño y Control de Mezclas de Hormigón. En S. H. Koshmata, B. Kerkhoff, W. C. Panarese, & J. Tanesi. Skokie: Portland Cement Association.**

#### 2.3.4 Resistencia promedio requerida.-

La resistencia promedio a la compresión requerida  $f'_{cr}$ , es la base para la dosificación de una mezcla de hormigón; cuando no se posea información estadística del comportamiento de las mezclas elaboradas con determinado material y con una cierta proporción o dosificación se debe determinar acorde con la siguiente tabla tomada del capítulo 5, sección 5.3.2.2 del ACI 318:

**Tabla 2.5 Valores de resistencia promedio requerida, ACI 318-08**

Resistencia especificada a la compresión, MPa	Resistencia promedio requerida a la compresión, MPa
$f'_c < 21$	$f'_{cr} = f'_c + 7.0$
$21 \leq f'_c \leq 35$	$f'_{cr} = f'_c + 8.3$
$f'_c > 35$	$f'_{cr} = 1.1f'_c + 5.0$

**FUENTE:** Diseño y Control de Mezclas de Hormigón. En S. H. Koshmata, B. Kerkhoff, W. C. Panarese, & J. Tanesi. Skokie: Portland Cement Association.

## 2.4 Secuencia de dosificación.-

Durante el desarrollo del presente capítulo se observó que existe una gran cantidad de datos empíricos, presentados por medio de tablas con la finalidad de elaborar mezclas de hormigón; sin embargo se debe seguir una secuencia lógica para poder dosificar los materiales que van a ser parte de la mezcla; y así tenemos:

### 2.4.1 Datos previos.-

Son los datos que sirven de fundamento para garantizar un desempeño, trabajabilidad y durabilidad adecuada de la mezcla de hormigón tanto en estado fresco como en estado endurecido; y estos son:

- 1) Factor y clase de exposición de la obra a medio ambientes perjudiciales.
- 2) Resistencia mecánica mínima para cumplir solicitaciones estructurales.
- 3) Dimensión mínima del elemento a construir.
- 4) Espaciamiento del acero de refuerzo.
- 5) Selección del tamaño máximo del agregado.
- 6) Granulometría del material pétreo a ser empleado.
- 7) Abrasión.
- 8) Módulo de finura del agregado fino.
- 9) Pesos unitarios del material pétreo.
- 10) Gravedad específica del material pétreo.

11) Absorción y humedad del material aparente.

12) Gravedad específica del cemento.

#### 2.4.2 *Proceso de dosificación.-*

El hormigón se debe producir con la finalidad de que en estado fresco posea una trabajabilidad, consistencia y plasticidad adecuada para las condiciones propias de cada obra donde se va a emplear como material de construcción.

El ensayo de revenimiento o asentamiento sirve para determinar el grado de consistencia del hormigón, y es medido por medio del cono de Abrams. En función del tipo de elemento a ser fundido el comité de la ACI 211, recomienda ciertos asentamientos:

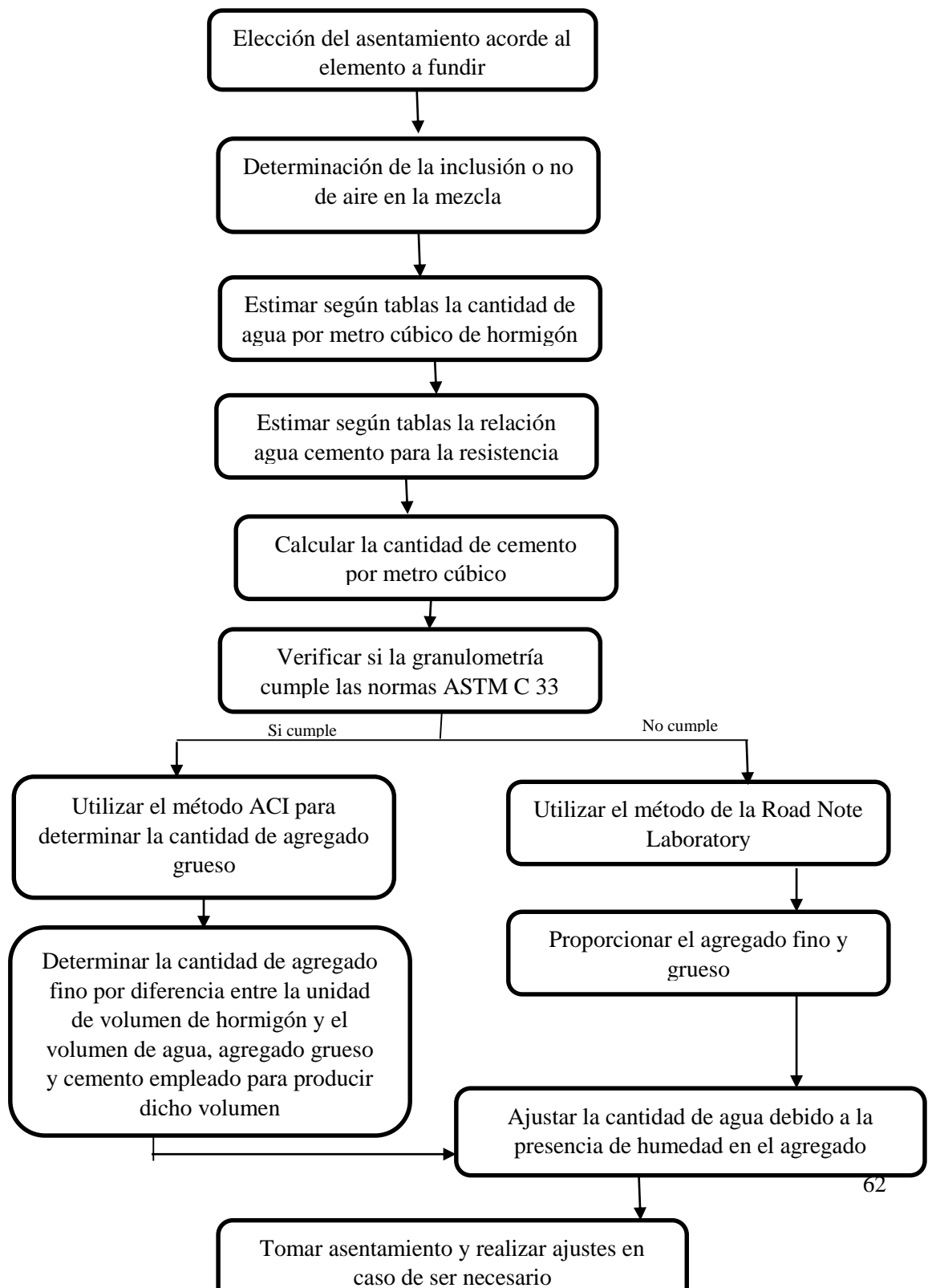
**Tabla 2.6 Valores referenciales de asentamiento, ACI 211.1**

<b>Elemento a fundir</b>	<b>Asentamiento (mm)</b>	
	<b>Máx.</b>	<b>Mín.</b>
Zapatas y losas de cimentación reforzada	75	25
Zapatas, cajones y muros de subestructuras sin refuerzo	75	25
Vigas y muros reforzados	100	25
Columnas de edificios	100	25
Pavimentos y losas	75	25
Concreto masivo	75	25

**FUENTE: Diseño y Control de Mezclas de Hormigón. En S. H. Koshmata, B. Kerkhoff, W. C. Panarese, & J. Tanesi. Skokie: Portland Cement Association.**

Al final la decisión la tendrá el profesional competente a cargo de dirigir una obra.

**Diagrama 2.1 Diagrama de flujo para la elaboración de hormigones, ASOCRETO**



**FUENTE: ASOCRETO. (2010). Tecnología del concreto. Bogotá: Asocreto**

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGIA DEL ENSAYO**

#### **3.1 Número de probetas a ser ensayadas.-**

Para la elaboración de la presente investigación se consideró seis distintas dosificaciones con la finalidad de establecer un rango de resistencias que va desde los 240 kg/cm<sup>2</sup> hasta los 320 kg/cm<sup>2</sup>, con el fin de tener un amplio rango de aplicabilidad del presente trabajo; por lo tanto y basándose en la normativa ACI 318S-08 se usaron:

- 12 probetas pequeñas (Fotografía 3.1) por dosificación, con dimensiones de 100 mm por 200 mm, para comprobar las resistencias con el método de curado acelerado propuesto, y resistencias del hormigón a los 3 días, 7 días y 28 días (tabla 3.1), siguiendo los fundamentos básicos de laboratorio de hormigones y la normativa ASTM C39; realizando respectivamente 3 probetas por ensayo.

**Fotografía 3.1 Cilindro dimensiones 100 mm por 200 mm**



FUENTE: <http://dimacro.com/tienda/images/Cilindro5.jpg>

Tabla 3.1 Tiempos y tolerancias para realizar ensayos de compresión simple, ASTM C 39

Tiempo de ensayo	Tolerancia
24 horas	$\pm 0.5$ horas
3 días	$\pm 2$ horas
7 días	$\pm 6$ horas
28 días	$\pm 20$ horas

FUENTE: Diseño y Control de Mezclas de Hormigón. En S. H. Koshmata, B. Kerkhoff, W. C. Panarese, & J. Tanesi. Skokie: Portland Cement Association.

- Y 3 probetas con dimensiones de 150 mm por 300mm (Fotografía 3.2) para la comprobación a la resistencia a la rotura a los 28 días, usando el método de modulo elasticidad en dos de las probetas, y la otra restante con rompimiento normal de cilindros a los 28 días para tener una serie comparable y valida en el ensayo.

Fotografía 3.2 Cilindros dimensiones 150 mm por 300 mm



FUENTE:<https://www.google.com.ec/search?q=probetas+150+mm+por+300+mm&biw=1366&bih=667&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ei=gLtfVN>

### 3.2 Ensayos y Especificaciones del cemento

Se usó cemento de la marca comercial más ampliamente difundida en el país (Fotografía 3.3); el producto cumple con la normativa INEN 2380 “*Requisitos de desempeño de hormigones hidráulicos*”.

Fotografía 3.3 Cemento HOLCIM



FUENTE: <http://www.aconstructoras.com/images/cementoholcim.jpg>

### 3.2.1 Descripción

El cemento que se utilizó en el ensayo fue elaborado acorde a la normativa INEN 2380, de tipo GU; la más comercializada en el país, de uso común en la construcción, y se emplea en obras que no requieran propiedades especiales para proteger a la estructura.

### 3.2.2 Tiempo de fraguado.-

Se empleó el método de Vicat detallado bajo la norma INEN 158, para determinar el tiempo inicial y final de fraguado de una pasta de cemento; obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 3.2 Resultado del ensayo de tiempo de fraguado, INEN 158.**

<b>Tiempo de fraguado</b>	<b>Ensayo</b>	<b>Norma INEN 2380</b>
<b>Inicial, min</b>	230	45 mínimo
<b>Final, min</b>	306	420 máximo

**FUENTE:** Diseño y Control de Mezclas de Hormigón. En S. H. Koshmata, B. Kerkhoff, W. C. Panarese, & J. Tanesi. Skokie: Portland Cement Association.

### 3.2.3 Gravedad específica del cemento ( $G_s$ )-

Es un parámetro necesario para poder realizar los cálculos de elaboración de dosificación de mezclas de hormigón, dicho valor no representa un índice de calidad del cemento ni tampoco influye en la calidad del hormigón.

Para determinar este valor se utilizó la normativa INEN 156, este utiliza el principio de Arquímedes para conocer el volumen desplazado en el frasco de Le Chatelier y así determinar la gravedad específica del cemento.

$$G_s = 2.80 \text{ gr} / \text{cm}^3$$

#### 3.2.4 *Módulo de finura (S).*-

Se determina por medio de la normativa INEN 196, procedimiento conocido como finura Blaine debido a la utilización del aparato de permeabilidad de dicho nombre; consiste en determinar la velocidad de paso del aire a través del cemento con la finalidad de determinar su superficie específica, a medida de que el cemento es más fino, la velocidad del fraguado se incrementa y por ende la masa de hormigón libera más calor; en promedio la finura de un cemento tipo GU es de 369m<sup>2</sup>/kg.

$$S = 353 \frac{m^2}{kg}$$

### **3.3 Ensayos y Especificaciones del agregado.-**

En el mercado es muy complicado encontrar agregados normalizados y por ende de calidad, prácticamente no existe empresa que garantice el material pétreo; por lo general se utiliza agregados de la cantera más cercana a la obra, que comercializan los productos sin realizar los ensayos mínimos requeridos para garantizar la calidad del hormigón; debido a este problema se generan mezclas menos trabajables, antieconómicas y no homogéneas, afectando en la realización de un control de calidad adecuado.

El estudio del material pétreo utilizado en el presente trabajo se detallará a continuación.

#### 3.3.1 *Granulometría, tamaño máximo y módulo de finura.*-

La norma ASTM C 33, clasifica al agregado como fino (Fotografía 3.4) y grueso (Fotografía 3.5); están delimitados dentro de una granulometría (Tabla 3.2 y Tabla 3.3)

que busca en el hormigón combinar el mayor grado de compactación sin ver disminuida su trabajabilidad.

**Fotografía 3.4 Agregado Fino**



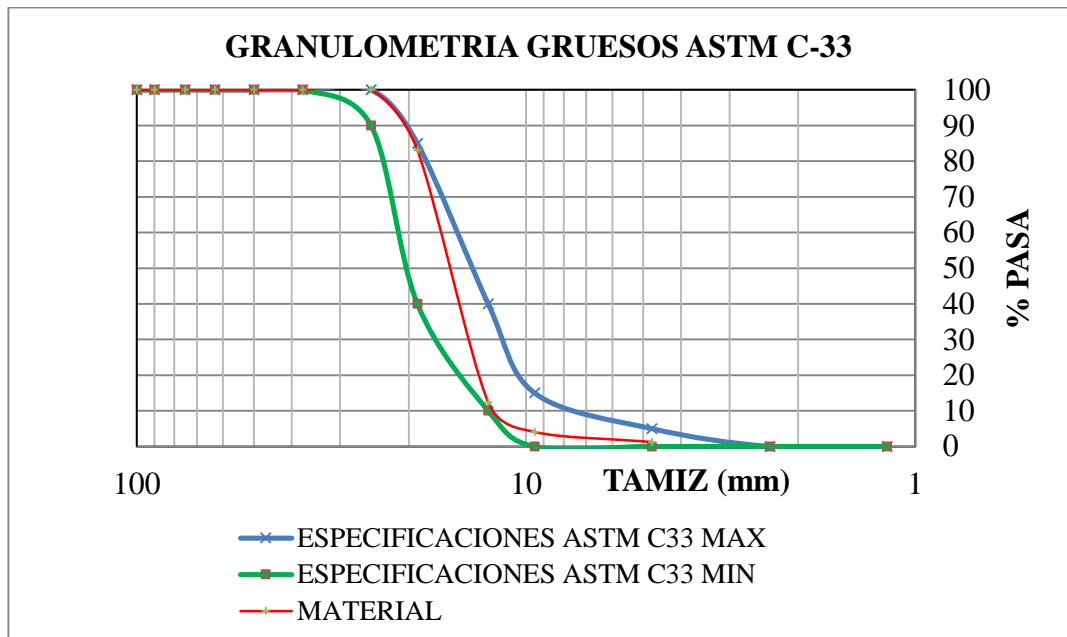
**FUENTE:** [http://www.rcmplantas.com/img/agregados/agregados\\_galeria/11.jpg](http://www.rcmplantas.com/img/agregados/agregados_galeria/11.jpg)

**Fotografía 3.5 Agregado grueso**



**FUENTE:** <http://1.bp.blogspot.com/-k1cGJIHAa20/UFKeurCOfl/AAAAAAAAAHM/6ZxneXnhVUU/s1600/4580fd201eb3124881ca21821cb44c32.jpg>

**GRAFICO 3.1 GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO**



FUENTE: JUAN CARLOS SONO, ANDRES ANDRADE

**TABLA 3.3 GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO**

TAMIZ N°		MASA RETENIDA PARCIAL	MASA RETENIDA ACUMULADA	%R	%P
mm	in				
100	4"	0	0	0	100
90	3 1/2"	0	0	0	100
75	3"	0	0	0	100
63	2 1/2"	0	0	0	100
50	2"	0	0	0	100
37.5	1 1/2"	0	0	0	100
25	1"	0	0	0	100
19	3/4"	1785	1785	17	83
12.5	1/2"	7459	9244	88	12
9.5	3/8"	875	10119	96	4
4.75	N°4	298	10417	99	1
<b>PASA N°4</b>		133	10550		
<b>TOTAL</b>		10550	10550		

FUENTE: JUAN CARLOS SONO, ANDRES ANDRADE

**TABLA 3.4 CLASIFICACION GRANULOMETRICA DEL AGREGADO GRUESO**

<b>MASA</b>	10550	gr
<b>N° DEL TAMAÑO</b>	<b>56</b>	
<b>TAMAÑO MAX</b>	25	mm
<b>TAMAÑO MAX NOMINAL</b>	19	mm

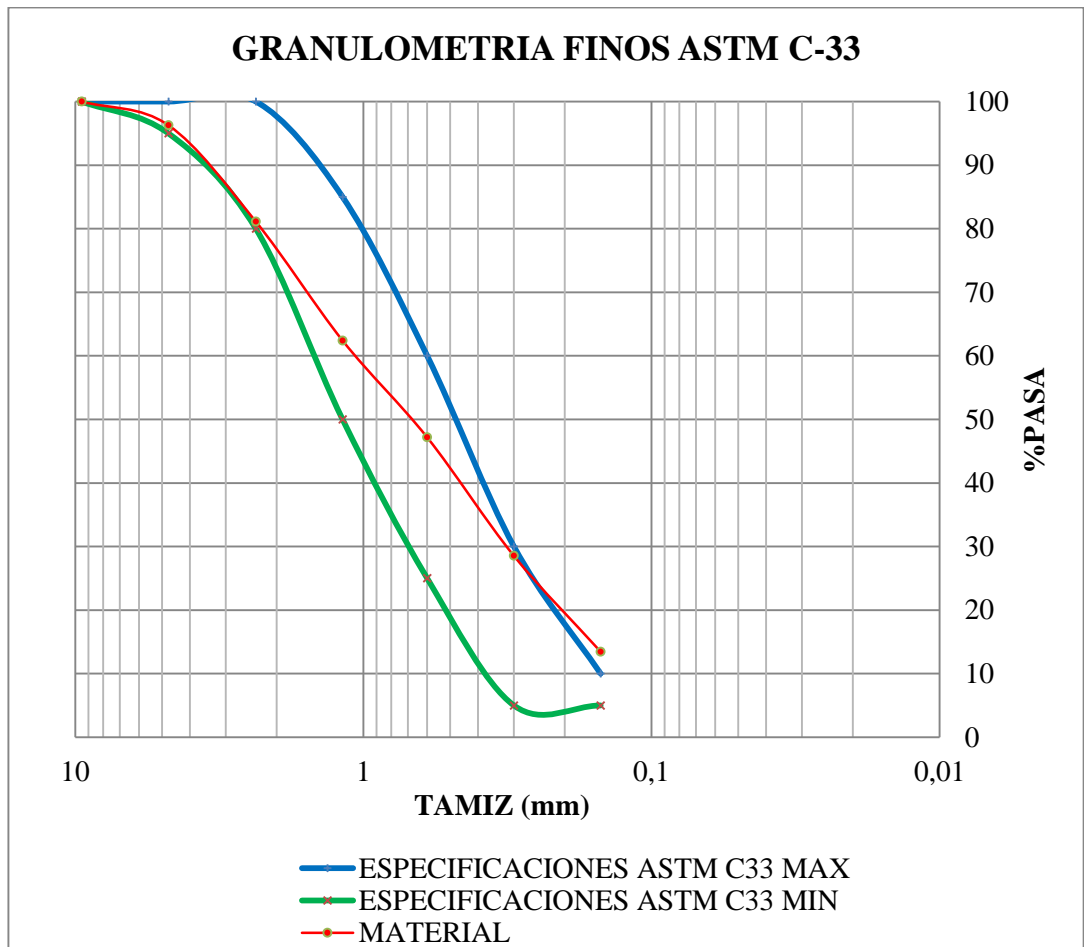
**FUENTE: JUAN CARLOS SONO, ANDRES ANDRADE**

**TABLA 3.5 MODULO DE FINURA DEL AGREGADO GRUESO**

<b>MODULO DE FINURA</b>	7.1
-------------------------	-----

**FUENTE: JUAN CARLOS SONO, ANDRES ANDRADE**

**GRAFICO 3.2 GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO**



FUENTE: JUAN CARLOS SONO, ANDRES ANDRADE

**TABLA 3.6 GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO**

TAMIZ N°		MASA RETENIDA PARCIAL	MASA RETENIDA ACUMULADA	%R	%P
mm	N°				
9.5	3/8	0	0	0	100
4.75	N°4	23.80	23.80	4	96
2.36	N°8	97.14	120.94	19	81
1.18	N°16	119.75	240.69	38	62
0.6	N°30	97.55	338.24	53	47
0.3	N°50	119.27	457.51	71	29
0.15	N°100	96.56	554.07	87	13
PASA N°100		86.08	640.15		
<b>TOTAL</b>		640.15	640.15		

FUENTE: JUAN CARLOS SONO, ANDRES ANDRADE

**TABLA 3.7 MODULO DE FINURA DEL AGREGADO FINO**

<b>MODULO DE FINURA</b>	2.7
---------------------------------	-----

**FUENTE: JUAN CARLOS SONO, ANDRES ANDRADE**

Como se puede observar en las gráficas 3.1 y 3.2, la granulometría se encuentra dentro de las especificaciones. De acuerdo a este parámetro los materiales son aptos para la fabricación del hormigón.

### 3.3.2 *Humedad natural.*-

El ensayo de humedad natural determina la cantidad de agua que contiene los agregados (fino y grueso) en estado natural. El porcentaje de agua en los agregados debe ser medido de manera precisa y regularmente, con la finalidad de determinar con exactitud el volumen de agua a ser empleado en cada mezcla. Para la investigación se realizó la medición del contenido de humedad cuando se realizaba un nuevo ensayo, y cada vez que cambiaba la condición de humedad del material debido al tiempo que este pasaba a la intemperie.

El procedimiento se realizó bajo la norma ASTM C 566; y a continuación se muestra los valores máximos obtenidos en laboratorio.

**Cuadro 3.1 Humedad máxima obtenida en los ensayos, ASTM C 566**

	<b>Agregado grueso</b>	<b>Agregado fino</b>
<b>% humedad</b>	1.3	4.00

**FUENTE: JUAN CARLOS SONO, ANDRES ANDRADE**

### 3.3.3 Gravedad específica.-

Es un parámetro que se utiliza para realizar cálculos de dosificación, se ensaya bajo la norma ASTM C 127 para agregado grueso, y ASTM C 128 para agregado fino. Se determina para distintos contenidos de humedad del agregado, siendo los más significativos la condición seca y saturada con superficie seca; y se define como la relación entre la masa y el volumen absoluto que ocupa el material.

En el caso del agregado fino la determinación de la gravedad específica depende del origen del material sea este polvo de piedra o arena.

En términos generales la gravedad específica tiene utilidad tan solo con fines de cálculo, y este no es un índice de calidad del agregado. Los valores más usuales de gravedad específica relativa al agua oscilan entre 2.4 a 2.9.

**TABLA 3.8 GRAVEDAD ESPECIFICA AGREGADO GRUESO**

<b>GRAVEDAD ESPECIFICA AGREGADO GRUESO</b>	
<b>NORMA:</b>	ASTM C-127
<b>GRAVEDAD ESPECIFICA:</b>	<b>Ge=A/(B-C)</b>
<b>GRAVEDAD ESPECIFICA SATURADA CON SUPERFICIE SECA:</b>	<b>Ge(sss)=B/(B-C)</b>
<b>GRAVEDAD APARENTE:</b>	<b>Ge ap=A/(A-C)</b>
<b>MASA DE LA MUESTRA SECA (A):</b>	4754gr
<b>MASA DE LA MUESTRA EN ESTADO SATURADO CON SUPERFICIE SECA (B):</b>	4880gr
<b>MASA SATURADA SUMERGIDA (C):</b>	2851gr
<b>RESULTADOS:</b>	<b>Ge=</b> 2.34
	<b>Ge(sss)=</b> 2.41
	<b>Ge ap=</b> 2.50
	<b>% Absorción=</b> 2.7
*Cálculos obtenidos con una temperatura del agua de 23°C.	

**FUENTE: JUAN CARLOS SONO, ANDRES ANDRADE**

**TABLA 3.9 GRAVEDAD ESPECIFICA AGREGADO FINO**

<b>GRAVEDAD ESPECIFICA AGREGADO FINO</b>		
<b>NORMA:</b>	ASTM C-128	
<b>GRAVEDAD ESPECIFICA:</b>	$Ge=A/(B+S-C)$	
<b>GRAVEDAD ESPECIFICA SATURADA CON SUPERFICIE SECA:</b>	$Ge(sss)=S/(B+S-C)$	
<b>GRAVEDAD APARENTE:</b>	$Ge\ ap=A/(B+A-C)$	
<b>MASA DE LA MUESTRA SECA (A):</b>	485gr	
<b>MASA MATRAZ + AGUA (B):</b>	660gr	
<b>MASA MATRAZ + AGUA + MUESTRA (C):</b>	962.7gr	
<b>MASA DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA (S):</b>	505.1gr	
<b>RESULTADOS:</b>	<b>Ge=</b>	2.40
	<b>Ge(sss)=</b>	2.50
	<b>Ge ap=</b>	2.66
	<b>% Absorción=</b>	4.1
*Cálculos obtenidos con una temperatura del agua de 23°C.		

FUENTE: JUAN CARLOS SONO, ANDRES ANDRADE

### 3.3.4 *Peso unitario.-*

Se define como la masa que ocupa un volumen unitario determinado; sirve para determinar la cantidad de vacíos que genera el material granular y su valor depende de la forma y textura del agregado así como su granulometría; el procedimiento para determinar el peso unitario se detalla en la normativa ASTM C 29.

**TABLA 3.10 PESO UNITARIO AGREGADO FINO**

<b>PESO UNITARIO AGREGADO FINO</b>		
<b>NORMA:</b>	ASTM C-29	
<b>PESO UNITARIO SUELTO:</b>	$Ms=(Gs-T)/V$	
<b>PESO UNITARIO COMPACTO:</b>	$Mc=(Gc-T)/V$	
<b>% VACIOS SUELTO:</b>	$\% V=100((Ge*W)-Ms)/(Ge*W)$	
<b>% VACIOS COMPACTO:</b>	$\% V=100((Ge*W)-Mc)/(Ge*W)$	
	<b>SUELTO</b>	<b>COMPACTO</b>
<b>G: MASA DEL AGREGADO + MOLDE</b>	9604gr	9910gr
<b>T: MASA DEL MOLDE</b>	5050gr	
<b>V: VOLUMEN DEL MOLDE</b>	2980cm <sup>3</sup>	

<b>W: DENSIDAD DEL AGUA</b> <b>998 kg/cm<sup>2</sup> a 21°C</b>	998 kg/cm <sup>2</sup> a 21°C			
	<b>AF. SUELTO:</b>		<b>AF. COMPACTO:</b>	
	<b>Ms=</b>	1528kg/m <sup>3</sup>	<b>Ms=</b>	1631kg/m <sup>3</sup>
	<b>% VACIOS=</b>	36%	<b>% VACIOS=</b>	32%

FUENTE: JUAN CARLOS SONO, ANDRES ANDRADE

**TABLA 3.11 PESO UNITARIO AGREGADO GRUESO**  
**PESO UNITARIO AGREGADO GRUESO**

<b>NORMA:</b>	ASTM C-29			
<b>PESO UNITARIO SUELTO:</b>	$M_s=(G_s-T)/V$			
<b>PESO UNITARIO COMPACTO:</b>	$M_c=(G_c-T)/V$			
<b>% VACIOS SUELTO:</b>	$\% V=100((G_e*W)-M_s)/(G_e*W)$			
<b>% VACIOS COMPACTO:</b>	$\% V=100((G_e*W)-M_c)/(G_e*W)$			
	<b>SUELTO</b>		<b>COMPACTO</b>	
<b>G: MASA DEL AGREGADO + MOLDE</b>	21999gr		22555gr	
<b>T: MASA DEL MOLDE</b>	8550gr			
<b>V: VOLUMEN DEL MOLDE</b>	9950cm <sup>3</sup>			
<b>W: DENSIDAD DEL AGUA 998</b> <b>kg/cm<sup>2</sup> a 21°C</b>	998 kg/cm <sup>2</sup> a 21°C			
	<b>AF. SUELTO:</b>		<b>AF. COMPACTO:</b>	
	<b>Ms=</b>	1352kg/m <sup>3</sup>	<b>Ms=</b>	1408 kg/m <sup>3</sup>
	<b>% VACIOS=</b>	43%	<b>% VACIOS=</b>	41%

FUENTE: JUAN CARLOS SONO, ANDRES ANDRADE

### 3.3.5 Abrasión del agregado grueso.-

Es el principal indicador de calidad del agregado y se determina por medio de la máquina de Los Ángeles regido por la normativa ASTM C 131, depende principalmente del origen del agregado y determina la calidad del hormigón a esfuerzos de desgaste.

**TABLA 3.12 RESULTADO DEL ENSAYO DE ABRASIÓN EN EL AGREGADO GRUESO**


<b>ABRASIÓN</b>	
<b>CANTERA:</b>	GUAYLLABAMBA
<b>TIPO:</b>	ALUVIAL
<b>TAMAÑO MAXIMO NOMINAL:</b>	19 mm
<b>NORMA:</b>	ASTM C-131
<b>MASA INICIAL:</b>	5000 gr
<b>MASA RETENIDA TAMIZ N°12 DESPUES DEL ENSAYO:</b>	3245 gr
<b>MASA QUE PASA TAMIZ N°12 DESPUES DEL ENSAYO:</b>	1755 gr
<b>% DE DESGASTE:</b>	<b>35&lt;50 OK</b>

FUENTE: JUAN CARLOS SONO, ANDRES ANDRADE

### 3.3.6 *Material orgánico y terrones de arcilla.-*

Son materiales perjudiciales en el hormigón, el material orgánico puede causar retraso en el fraguado, reducir el desarrollo de la resistencia o producir deterioro en el hormigón, el procedimiento para determinar el contenido de material orgánico está dado bajo la normativa ASTM C 40.

**TABLA 3.13 CONTENIDO DE MATERIAL ORGANICO EN EL AGREGADO FINO**

<b>CONTENIDO DE MATERIAL ORGANICO</b>	
<b>NORMA:</b>	ASTM C-40-99
<b>MATERIAL:</b>	ARENA LAVA DE RÍO, CANTERA GUAYLLABAMBA
<b>PROCEDIMIENTO :</b>	COMPARADOR DE COLOR NORMALIZADO.
	
<b>CONCLUSIÓN:</b>	
EL ARIDO FINO NO CONTIENE CANTIDADES INAPROPIADAS DE IMPUREZAS INORGANICAS.	

<b>COLOR NORMALIZADO EN LA ESCALA DE GARDNER</b>	<b>N° DE ORDEN EN EL COMPARADOR</b>
5	1
8	2
11	3 (STANDARD)
14	4
16	5

**FUENTE: JUAN CARLOS SONO, ANDRES ANDRADE**

Así mismo el material fino que pasa el tamiz #200, es perjudicial debido a que se trata de limos y arcillas; dichos elementos en cantidades excesivas forman una lámina sobre el agregado grueso que afecta a la adherencia de la pasta de cemento con el agregado,

y dependiendo el tipo de arcilla o limo pueden afectar considerablemente la demanda de agua empleada en la mezcla produciendo mezclas poco trabajables.

**TABLA 3.14 ENSAYO DE TERRONES DE ARCILLA Y PARTICULAS DESMENUZABLES**

<b>TERRONES DE ARCILLA Y PARTICULAS DESMENUZABLES</b>	
<b>NORMA:</b>	ASTM C-142
<b>% DE TERRONES DE ARCILLA:</b>	$P = ((M-R)/M) * 100$
<b>DONDE:</b>	
<b>M:</b>	MASA DE LA MUESTRA DEL ENSAYO
<b>R:</b>	MASA DE LAS PARTICULAS RETENIDAS EN EL TAMIZ ESTIPILADO
<b>RESULTADOS:</b>	
<b>RETIENE TAMIZ 1.18mm:</b>	
	M= 195.84 Gr
	R= 180.5 Gr
	<b>P= 7.8 % TERRONES EN AGREGADO FINO</b>
<b>RETIENE TAMIZ 4,75mm:</b>	
	M= 1000.1 Gr
	R= 995.5 Gr
	P= 0.5 %
<b>RETIENE TAMIZ 9.5mm:</b>	
	M= 2004.5 Gr
	R= 2001.5 Gr
	P= 0.1 %
<b>RETIENE TAMIZ 19mm:</b>	
	P= 0.1 %
<b>TERRONES DE ARCILLA EN AGREGADO GRUESO:</b>	
	<b>P= 0.2 %</b>

FUENTE: JUAN CARLOS SONO, ANDRES ANDRADE

### 3.3.7 Resistencia a los sulfatos.-

Es un ensayo que tiene la finalidad de determinar la aptitud del hormigón a condiciones de intemperie sometiendo al agregado a varios ciclos de secado al horno e inmersión en sulfato de sodio; para determinar la resistencia del agregado a la intemperie se utiliza el procedimiento descrito en la normativa ASTM C 88.

**TABLA 3.15 ENSAYO DE DURABILIDAD DEL AGREGADO AL ATAQUE DE SULFATO DE SODIO**

TAMAÑO DEL TAMIZ, (mm)	GRADACION DE LA MUESTRA ORIGINAL, %	MASA DE LAS FRACCIONES ANTES DEL ENSAYO, gr	PORCENTAJE QUE PASA EL TAMIZ DESIGNADO LUEGO DEL ENSAYO	PORCENTAJE PONDERADO DE PERDIDA
<b>DURABILIDAD DEL AGREGADO FINO</b>				
Menor a 0.15	2	---	---	---
0.3 a 0.15	3	---	---	---
0.6 a 0.3	20	102.28	2.8	0.5
1.18 a 0.6	21	100	4.2	0.9
2.36 a 1.18	24	100	2.0	0.5
4.75 a 2.36	27	100	8.9	2.4
9.5 a 4.75	4	---	8.9	0.4
TOTAL	100			5
<b>DURABILIDAD DEL AGREGADO GRUESO</b>				
37.5 a 19	42	500.2	2.6	1.1
19 a 9.5	56	671.2	3.6	2.0
9.5 a 4.75	2	24	8.9	0.2
TOTAL	100			3

FUENTE: JUAN CARLOS SONO, ANDRES ANDRADE

### 3.4 Elaboración de muestras.-

Los parámetros y metodología empleados en la dosificación fueron los descritos en el presente trabajo; a continuación se mostrará un resumen de cada una de las seis dosificaciones (Tabla 3.16):

**Tabla 3.16 Resumen de dosificación empleadas en la investigación**

**Cantera:** Guayllabamba  
**Cemento:** HOLCIM

A/C:	Agua	Cemento	Ag. Grueso	Ag. Fino	P. Unitario
	Kg/m <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>
0.419	202.37	431.6	894.98	699.7	2228.65
0.427	202.39	422.05	894.98	708.19	2227.61
0.438	208.51	412.91	892.33	712.87	2226.62
0.457	208.62	395.78	892.33	728.03	2224.76
0.495	200.01	366.19	896.75	758.59	2221.54
0.508	200.02	356.61	896.75	767.12	2220.50

FUENTE: JUAN CARLOS SONO, ANDRES ANDRADE

### 3.5 Cono de Abrams.-

Al determinar la consistencia de la mezcla y corroborarla con la de diseño para poder realizar alguna corrección en caso de ser necesario, se procedió a medir el asentamiento por cada dosificación acorde a la normativa ASTM C 143.

Según la normativa ASTM C 143, se utilizó el cono de Abrams, para el cual se realizó el siguiente procedimiento:

- Se humedeció previamente el cono (Fotografía 3.6), y se colocó sobre una superficie nivelada y no absorbente.

*Fotografías 3.6 Cono de Abrams*

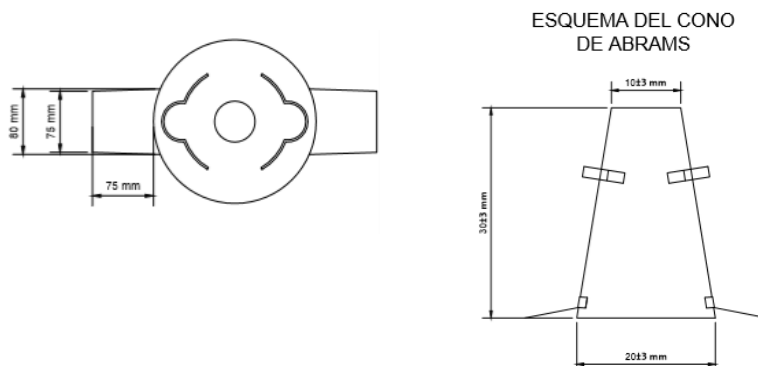


**FUENTE: JUAN CARLOS SONO, ANDRES ANDRADE**

- Luego se procede con el llenado de hormigón fresco por capas que abarquen el tercio de su volumen, cada capa debe recibir exactamente 25 varilladas perpendiculares en la superficie. La varilla debe tener una geometría de 600 mm de longitud con punta redondeada de 16 mm de diámetro para evitar incluir aire a la muestra.
- Una vez alcanzado el último tercio debe existir hormigón sobrante con la finalidad de enzararlo para tener una superficie trabajable.
- En una maniobra vertical se debe levantar el cono sin desplazamientos laterales ni de torsión en un tiempo de  $5 \pm 2$  segundos
- De ahí se procede con la medición del asentamiento con respecto al centro superior de la masa de hormigón.
- Y por último se debe tomar en cuenta que el ensayo sea efectuado en un tiempo de 2 minutos 30 segundos acorde a la normativa.

En el caso de que exista desmoronamiento de la masa de hormigón se debe volver a elaborar el ensayo con otra masa de hormigón.

**Gráfico 3.3 Cono de Abrams, ASTM 143.**



**FUENTE:** Diseño y Control de Mezclas de Hormigón. En S. H. Koshmata, B. Kerkhoff, W. C. Panarese, & J. Tanesi. Skokie: Portland Cement Association.

*Fotografías 3.7 Utilización del cono de Abrams, ASTM 143.*



**FUENTE:** JUAN CARLOS SONO, ANDRES ANDRADE

Los asentamientos medidos en el laboratorio se resumen en el siguiente cuadro:

**Tabla 3.17** Valores de asentamientos para las distintas dosificaciones, ASTM 143.

$f'c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	240	250	280	300	310	320
Asentamiento (mm)	75	75	80	80	70	75

**FUENTE:** JUAN CARLOS SONO, ANDRES ANDRADE

Adicionalmente se realizó la medición del contenido de aire atrapado y del peso unitario del hormigón para cada dosificación con la finalidad de conocer el porcentaje de aire que contiene el hormigón a ser ensayado y verificar la dosificación; como se puede observar (tabla 3.18), las variaciones del peso unitario entre el cálculo y el real son muy pequeñas; el asentamiento fue prácticamente el esperado, motivo por el cual no se decidió realizar correcciones a las mezclas:

*Fotografías 3.8 Determinación del contenido de aire, ASTM 231.*



FUENTE: JUAN CARLOS SONO, ANDRES ANDRADE

Tabla 3.18 Valores de contenido de aire, peso unitario que se obtuvo en el ensayo

f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Aire atrapado (%)	Peso unitario calculado (kg/m <sup>3</sup> )	Peso unitario medido (kg/m <sup>3</sup> )	Factor de corrección
------------------------------	----------------------	--	---	-------------------------

240	1.6	2220.49	2264.96	0.98
250	1.9	2221.54	2247.86	0.99
280	1.8	2224.75	2233.62	0.99
300	1.8	2226.62	2237.89	0.99
310	1.9	2227.61	2226.50	1.00
320	1.8	2228.65	2279.20	0.98

**FUENTE: JUAN CARLOS SONO, ANDRES ANDRADE**

### **3.6 Implementos a ser utilizados en el ensayo de curado acelerado.**

En el ensayo de curado acelerado se usó un recipiente (Fotografía 3.9), con un tamaño que pueda contener los tres cilindros a ser sometidos a la temperatura deseada por el tiempo de 3.5 horas +/- 5 minutos, calentados mediante la ayuda de una cocina industrial (Fotografía 3.10), con la capacidad de hervir el agua hasta el estado de ebullición (temperatura necesaria para la elaboración del ensayo), para así realizar el ensayo en el tiempo esperado, y obtener los valores necesarios para la comparación de datos.

*Fotografías 3.9 Recipiente utilizado en el ensayo.*



**FUENTE: JUAN CARLOS SONO, ANDRES ANDRADE**

*Fotografías 3.10 Cocina industrial.*



FUENTE: <http://img.clasf.co/2013/05/30/Vendo-tamalera-con-cilindro-20130530094202.jpg>

### **3.7 Preparación y curado de las muestras**

Para cumplir el objetivo principal de la presente investigación, las muestras se curaron por dos distintas metodologías:

1. Los cilindros de control que sirven para establecer el desarrollo normal del hormigón a través del tiempo que se curaron de manera estándar.
2. Los cilindros de hormigón utilizados para desarrollar su resistencia inicial a edades tempranas que fueron sometidos a curado acelerado.

#### *3.7.1 Curado estándar*

Una vez elaborada la mezcla de hormigón se procede a tomar la muestra acorde a la normativa ASTM C 31, en cilindros de 100 mm de diámetro por 200 mm, llenándolos a la mitad de su volumen y siguiendo el siguiente procedimiento:

- Se los compacta mediante varillado, aplicando 25 golpes perpendiculares a la superficie teniendo cuidado en no topar la base de la probeta ni pasar más de una pulgada entre capas, la varilla debe tener 1.4 mm de diámetro y 100 mm de longitud.

- Por cada capa se debe dar de 10 a 15 golpes con un mazo de caucho de peso  $0.6 \text{ kg} \pm 200 \text{ gr}$ .
- Posteriormente se enraza y nivela para finalmente almacenarlos en un lugar que prevea la perdida de humedad y que no esté expuesto a radiación solar ni ningún otro tipo de fuente de calor externa.

Las probetas se deben colocar en un ambiente con una temperatura que oscile entre los  $16$  y  $27$  °C por un lapso no mayor a 48 horas, lapso en el cual se debe desmoldar para dentro de 30 minutos ubicarlos en un cuarto de humedad o tanque de almacenamiento a una temperatura de  $23 \pm 2$  °C, hasta el momento en el cual van a ser ensayados.

### 3.7.2 Curado acelerado.-

El proceso de curado se modifica con la finalidad de acelerar la tasa de fraguado del hormigón para desarrollar su resistencia a edades tempranas para la cual se utiliza el curado acelerado por medio de inmersión en agua en ebullición.

Luego de  $23 \text{ h} \pm 15 \text{ min}$  de haber tomado el cilindro, se debe colocar las muestras y sus moldes con suma precaución utilizando un equipo de protección adecuado en el recipiente.

Se debe controlar periódicamente la temperatura con el fin que no exista algún descenso significativo; la muestra debe ser curada por un lapso de  $3.5 \text{ h} \pm 5 \text{ min}$ , luego se debe dejar en reposo por durante una hora, transcurrido ese tiempo se tiene  $28.5 \pm 15 \text{ min}$  para proceder a ensayar la muestra.

*Fotografías 3.11 Ensayo de curado acelerado.*



FUENTE: JUAN CARLOS SONO, ANDRES ANDRADE

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 Conclusiones:

- Luego de concluidos los trabajos de laboratorio, y realizados los cálculos respectivos, se llegó a las siguientes conclusiones:
- Si se observa la tabla 4.1, se concluye que en el caso del agregado fino, este cumple con todas las normas de calidad, excepto con el de material orgánico y terrones de arcilla; sin embargo, el material puede ser utilizado en la fabricación del hormigón.

**TABLA 4.1 RESUMEN ENSAYOS AGREGADO FINO**

AGREGADO FINO						
ENSAYO	NORMA	RESULTADO ENSAYO		LIMITES NORMA		OBSERVACION
GRANULOMETRÍA	ASTM C 33	TAMIZ N°	%P	TAMIZ N°	%P	
		3/8"	100	3/8"	100	SI CUMPLE
		N°4	96	N°4	95 A 100	SI CUMPLE
		N°8	81	N°8	80 A 100	SI CUMPLE
		N°16	62	N°16	50 A 85	SI CUMPLE
		N°30	47	N°30	25 A 60	SI CUMPLE
		N°50	29	N°50	5 A 30	SI CUMPLE
N°100	13	N°100	0 A 10	NO CUMPLE		
VER GRAFICO 3.2					SI CUMPLE	
MÓDULO DE FINURA	ASTM C 33	M = 2.7		2.3 < M > 3.1		SI CUMPLE
MATERIAL ORGANICO Y TERRONES DE ARCILLA	ASTM C 33	7.80%		< 3 %		NO CUMPLE
RESISTENCIA A SULFATOS	ASTM C 33	5%		< 10 %		SI CUMPLE

FUENTE: JUAN CARLOS SONO, ANDRES ANDRADE

- En cuanto al agregado grueso, cumple con todas las condiciones de calidad, ver tabla 4.2, por lo que es apto para la elaboración del concreto.

**TABLA 4.2 RESUMEN ENSAYOS AGREGADO GRUESO**

AGREGADO GRUESO						
ENSAYO	NORMA	RESULTADO ENSAYO		LIMITES NORMA		OBSERVACION
GRANULOMETRÍA	ASTM C 33	TAMIZ N°	%P	TAMIZ N°	%P	
		2"	100	2"	100	SI CUMPLE
		1"	100	1"	95 - 100	SI CUMPLE
		3/4"	83	3/4"		
		1/2"	12	1/2"	25 - 60	NO CUMPLE
		3/8"	4	3/8"		
		N°4	1	N°4	0 - 10	SI CUMPLE
VER GRAFICO 3.1					SI CUMPLE	
PESO UNITARIO	ASTM C 33	Ms Suelto = 1352 kg/m <sup>3</sup>		> 1120 kg / m <sup>3</sup>	SI CUMPLE	
		Ms Compacto = 1408 kg/m <sup>3</sup>			SI CUMPLE	
ABRASION	ASTM C 33	35%		< 50 %		SI CUMPLE
MATERIAL ORGANICO Y TERRONES DE ARCILLA	ASTM C 33	0.20%		< 3 %		SI CUMPLE
RESISTENCIA A SULFATOS	ASTM C 33	3%		< 12 %		SI CUMPLE

FUENTE: JUAN CARLOS SONO, ANDRES ANDRADE

- La constante para el cálculo del módulo de elasticidad del hormigón según el reglamento ACI 318-08, es de 15100, en esta investigación se obtuvo un valor promedio de 12774 (Tabla 4.1); esta diferencia se puede atribuir a la dureza del material pétreo.

**Tabla 4.3 Valores del módulo de elasticidad en función de la relación agua cemento.**

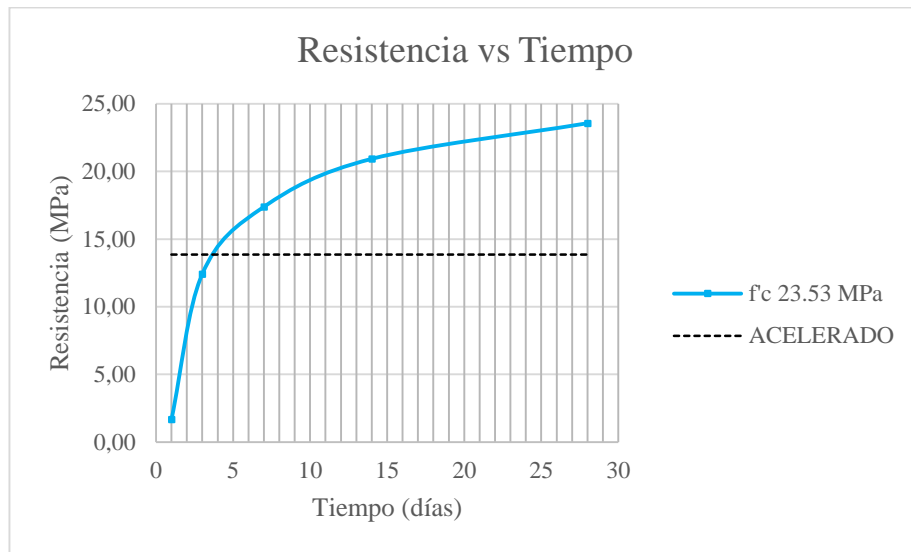
<b>RESISTENCIA f'c (28 días) REAL</b>	<b>RELACION A/C</b>	<b>PROMEDIO (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>k</b>
325	0.419	226707	12575
318	0.427	211930	11884
313	0.438	206960	11698
282	0.457	223948	13335
292	0.495	210830	12337
240	0.508	229541	14816

**FUENTE: JUAN CARLOS SONO, ANDRES ANDRADE**

$$k = \frac{Ec}{(F'c)^{0,5}} \qquad \bar{k} = 12774$$

- Realizados los ensayos de rotura del hormigón con curado acelerado, los datos llegaron a valores que varían entre el 59 y el 72% de la resistencia final del hormigón, siendo este un indicador de que el ensayo puede ser de gran ayuda; por cuanto, se puede establecer la resistencia aproximada que puede llegar a obtener el hormigón a los 28 días.
  - Para la resistencia de 240 kg/cm<sup>2</sup> (A/C =0.508), se puede observar en la gráfica 4.1 que con el método de curado acelerado se obtuvo un porcentaje de 59.9% de la resistencia final del hormigón.

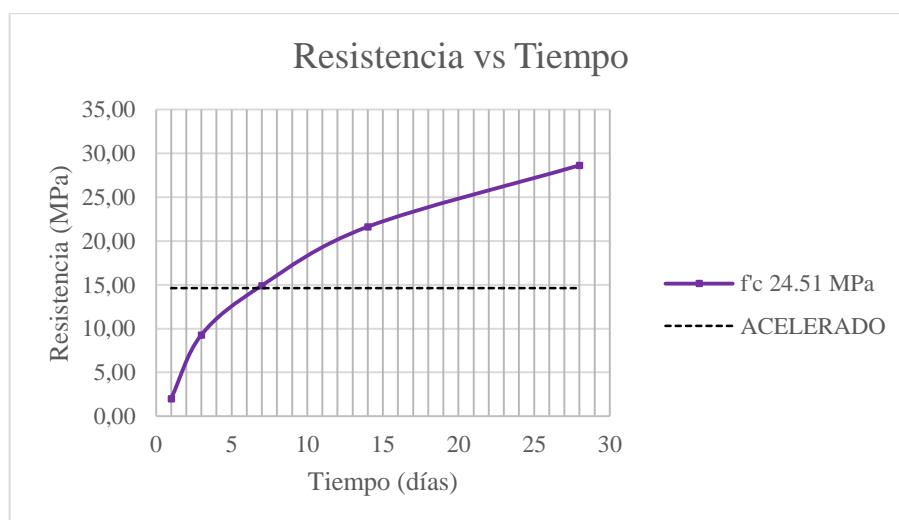
**Gráfico 4.1 Resistencia vs tiempo usando curado normal y acelerado para un f'c = 240 kg/cm<sup>2</sup>.**



**FUENTE: JUAN CARLOS SONO, ANDRES ANDRADE**

- En la resistencia de 292 kg/cm<sup>2</sup> ( $A/C=0.495$ ), en la gráfica 4.2 se observa, que usando el curado acelerado, se llega a una resistencia equivalente al 60.7% de la referencial.

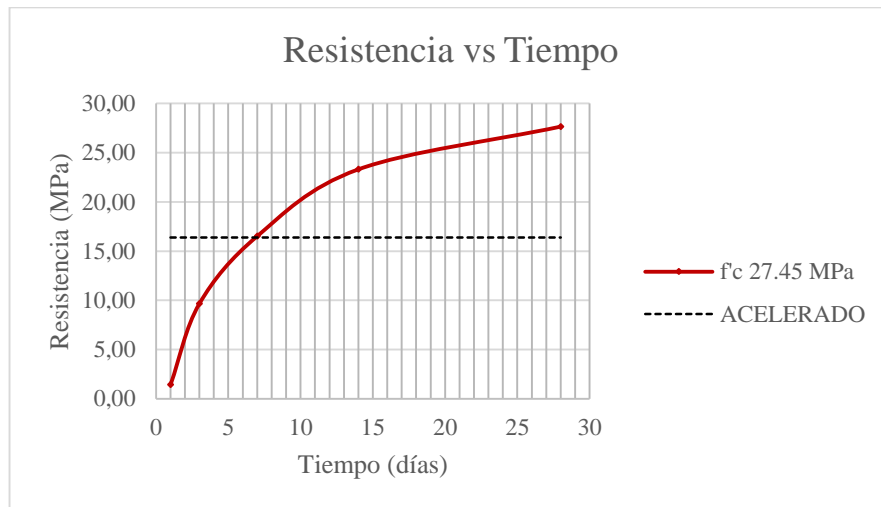
**Gráfico 4.2 Resistencia vs tiempo usando curado normal y acelerado para un  $f'_c = 250$  kg/cm<sup>2</sup>.**



FUENTE: JUAN CARLOS SONO, ANDRES ANDRADE

- En lo que se refiere al hormigón de 282 kg/cm<sup>2</sup> (A/C=0.457), de la gráfica 4.3, se establece que la resistencia con curado acelerado es del 60,5 % de la obtenida en condiciones normales.

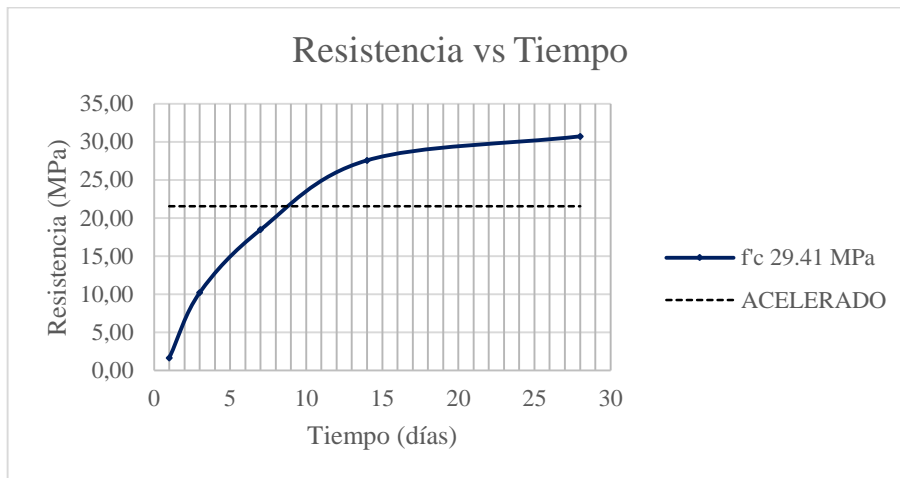
**Gráfico 4.3 Resistencia vs tiempo usando curado normal y acelerado para un  $f'c = 280$  kg/cm<sup>2</sup>.**



FUENTE: JUAN CARLOS SONO, ANDRES ANDRADE

- Para la resistencia de 313 kg/cm<sup>2</sup> (A/C=0.438), de acuerdo a la gráfica 4.4, se observa que con el curado acelerado se obtiene un valor equivalente al 75,5 % del logrado a los 28 días.

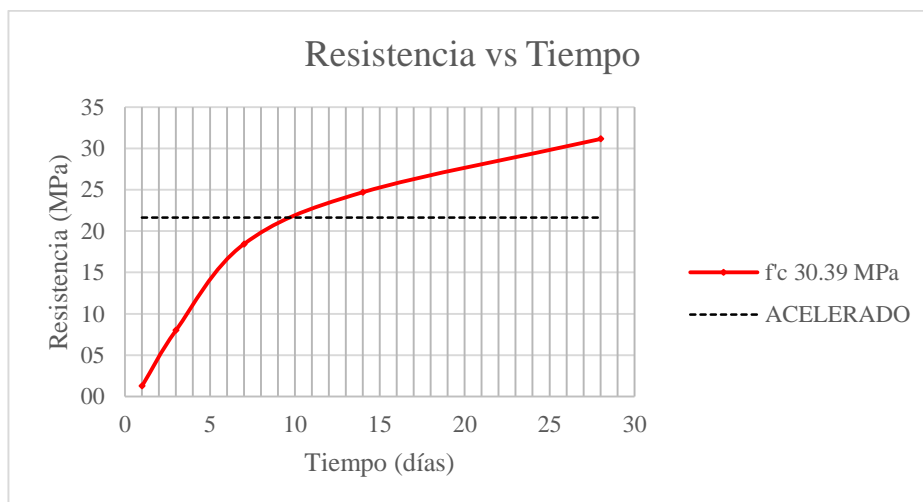
**Gráfico 4.4 Resistencia vs tiempo usando curado normal y acelerado para un  $f'c = 300$  kg/cm<sup>2</sup>.**



**FUENTE: JUAN CARLOS SONO, ANDRES ANDRADE**

- En condiciones normales, con una relación A/C de 0,427, se obtuvo una resistencia de 318 kg/cm<sup>2</sup>, y si se observa con el método de curado acelerado se llegó a un 73,7 % de la resistencia referencial.

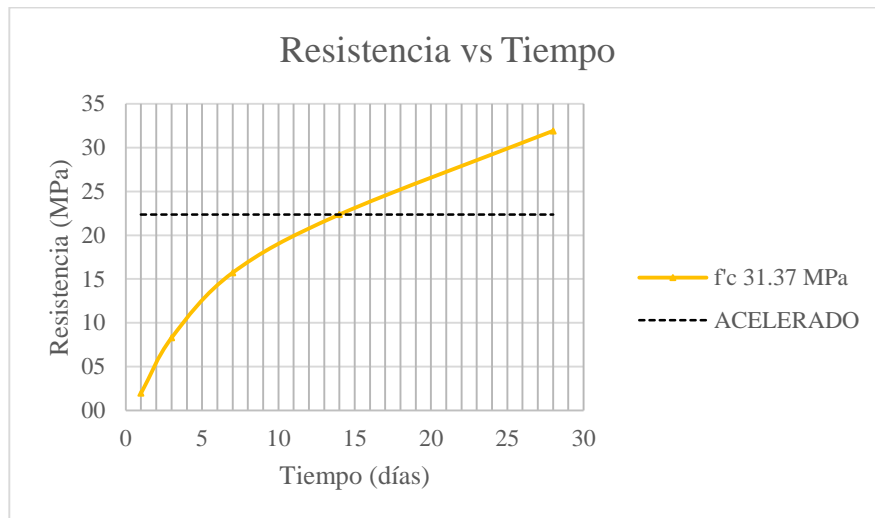
**Gráfico 4.5 Resistencia vs tiempo usando curado normal y acelerado para un  $f'c = 310 \text{ kg/cm}^2$ .**



**FUENTE: JUAN CARLOS SONO, ANDRES ANDRADE**

- En lo referente al hormigón, fabricado con relación A/C 0,419, la resistencia obtenida a los 28 días fue de 325 kg/cm<sup>2</sup>, y con curado acelerado, si se ve la gráfica 4.6, se alcanzó el 71,7 % de la normal.

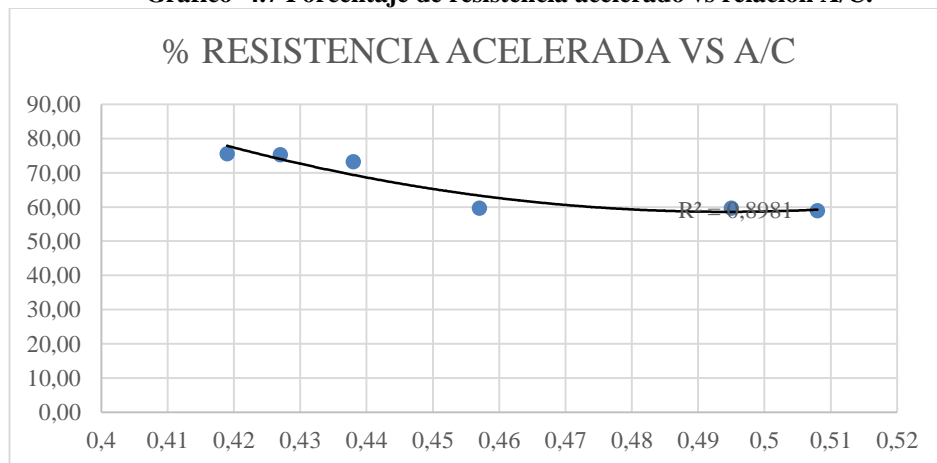
**Gráfico 4.6 Resistencia vs tiempo usando curado normal y acelerado para un  $f'c = 320 \text{ kg/cm}^2$ .**



FUENTE: JUAN CARLOS SONO, ANDRES ANDRADE

- De lo expuesto, se establece que a mayor relación agua-cemento, el porcentaje de resistencia logrado por el método de curado acelerado, disminuyó (Gráfico 4.7); esto es razonable a mayor cantidad de cemento se aumenta el calor de hidratación y por ende, se acelera el fraguado y el endurecimiento, causando mejoras en las características del concreto.

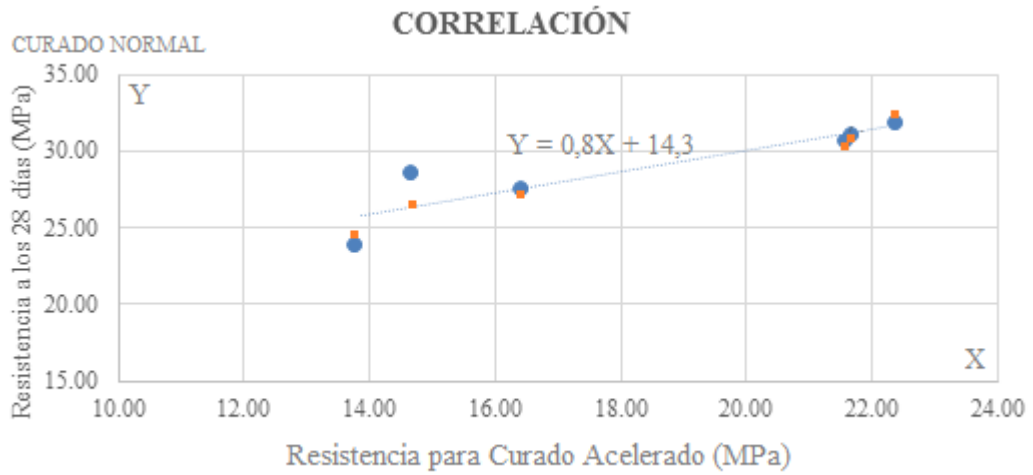
Gráfico 4.7 Porcentaje de resistencia acelerado vs relación A/C.



FUENTE: JUAN CARLOS SONO, ANDRES ANDRADE

- Con los resultados obtenidos, se estableció que la correlación de resistencias entre el curado acelerado y el curado normal (Gráfico 4.8), que se puede ajustar a una recta cuya expresión es:  $Y = 0,8 X + 14,3$ .

**Gráfico 4.8** Correlación entre resistencias del hormigón (curado normal vs curado acelerado).



**FUENTE: JUAN CARLOS SONO, ANDRES ANDRADE**

## 4.2 Recomendaciones:

- Debido a que las propiedades del hormigón mejoran con el método de curado acelerado; para futuras investigaciones, se recomienda que el tiempo de curado de las probetas debería ampliarse a 4 o 5 horas, con lo que se llegará a una resistencia mayor, más cercana a la obtenida a los 28 días.

- Después del análisis realizado, se recomienda, que se debe tener precaución al manipular el cemento durante la elaboración del hormigón, debido a que es una sustancia caustica que puede ocasionar daños en los trabajadores; para esto, se debe contar con los equipos adecuados de seguridad que den protección al personal.
- Durante el trabajo en obra se determinó que es importante realizar ensayos periódicos, para el control de calidad de los materiales, así como también del hormigón, con el propósito de garantizar la calidad del trabajo y economizar costos.
- En futuros trabajos de investigación sobre el tema, se recomienda aumentar el número de probetas por dosificación, de tal manera, que el proceso pueda hacerse varias veces con diferentes tiempos, al utilizado en este trabajo, de tal forma que se llegue a establecer un rango de tiempo de curado acelerado, que permita lograr mayor resistencia y por ende buena calidad
- En este mismo contexto, se recomienda que las dosificaciones a usarse, sean con relaciones A/C que aseguren resistencias más distanciadas y que abarquen un rango más amplio de resistencia (ejemplo de 180 kg/cm<sup>2</sup> a 350 kg/cm<sup>2</sup>).

## **Bibliografía**

- 318, C. (2008). Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural. En A. C. Institute. Farmington Hills: America Concrete Institute.
- Abrams, D. (1920). Efecto de la cal hidratada y de otros aditivos minerales en el concreto. Structural Materials Research Laboratory.

- Abrams, D. (1920). Efecto del Ácido Tánico sobre la Resistencia del Concreto . Chicago: Structural Material Research Laboratory.
- Abrams, D. A. (1918). Portland Cement Association. Obtenido de [http://www2.cement.org/pdf\\_files/LS001.pdf](http://www2.cement.org/pdf_files/LS001.pdf)
- Aldred, J. M. (1988). Concreto Impermeable de Alto Desempeño. Michigan: American Concrete Institute.
- ASOCRETO. (2010). Tecnología del concreto. Bogotá: Asocreto.
- Associaton, P. C. (s.f.). Cenizas volantes.
- DeHayes, S. M. (1990). C 109 vs. Resistencia del Concreto. Texas: Cement Microscopy Associaton.
- Feret, R. (1897). Estudios sobre la Costitución íntima de los Mortero Hidráulicos. Paris: Bulletin de la Societe d'Encouragement Puor Industrie Nationale.
- (2011). Diseño y Control de Mezclas de Hormigón. En S. H. Koshmata, B. Kerkhoff, W. C. Panarese, & J. Tanesi. Skokie: Portland Cement Association.
- Kosmatka, S., Kerkhoff, B., Panarese, W., & Tanesi, J. (2004). Diseño y control de mezclas de concreto. Illinois: Portland Cement Associaton.
- Lerch, W. (1946). Portland Cement Associaton. Obtenido de [http://www.portcemen.or/pdf\\_files/RX012.pdf](http://www.portcemen.or/pdf_files/RX012.pdf)
- Malhora, V. (1996). Pozzolanic and Cementitius Materials. Amsterdam: Gordon and Breach Publishers.
- Powers, T. C. (1948). Portland Cement Association. Obtenido de [http://www2.cement.org/pdf\\_files/RX025.pdf](http://www2.cement.org/pdf_files/RX025.pdf)
- Rüh, H. (1960). Researches Toward a General Flexural Theory for Structural Concrete. J. ACI, 1-28.
- Steinour, H. (1960). Agua de Mezclado de Concreto - ¿cúan impura puede ser? Obtenido de [http://www2.cement.org/pdf\\_files/RX119.pdf](http://www2.cement.org/pdf_files/RX119.pdf)