UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

ELABORACIÓN DE GUÍAS METODOLÓGICAS PARA ENSAYOS DE LABORATORIO DE LA ASIGNATURA DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN DE LA UNIVERSIDAD DEL AZUAY

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

INGENIERO CIVIL CON ÉNFASIS EN GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Autores:

PAÚL RENÉ CHIMBO BACUILIMA

CHRISTIAN ALEJANDRO LEÓN VEGA

Director:

ROLANDO ARMAS NOVOA

CUENCA – ECUADOR

2018

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres, por haber sido pilares fundamentales en este proceso de culminación de mi carrera profesional y siempre contar con su apoyo incondicional en cada una de las etapas de mi vida, siempre depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mis capacidades.

Es por ello que soy lo que soy ahora.

Paúl René Chimbo Bacuilima.

DEDICATORIA

Esta tesis y el trabajo académico realizado durante varios años, primero se lo dedico a Dios, quien por su intermedio supo guiarme, y darme fuerzas para seguir adelante, y luego a mis padres, siendo ellos los principales artífices de mis logros, ofreciéndome un apoyo incondicional en todo momento, dándome valores, principios, carácter, perseverancia y coraje para conseguir mis objetivos.

Las personas no se miden por el título que poseen, sino por la calidad de ser humanos que son.

Christian Alejandro León Vega.

AGRADECIMIENTO

Este proyecto es el resultado del esfuerzo conjunto de todos los que formamos el grupo de trabajo.

Por esto agradecemos a nuestro director de tesis Ing. Rolando Armas Novoa, por haber dedicado su valioso tiempo al presente proyecto, por lo que siempre le estaremos agradecidos.

Un agradecimiento muy especial a los miembros del tribunal asignado Ing. José Fernando Vázquez Calero e Ing. Juan Carlos Malo.

A la Universidad del Azuay y a los catedráticos a quienes les debemos gran parte de nuestros conocimientos, gracias a su paciencia y enseñanza.

De igual manera este trabajo está dedicado a nuestros compañeros y amigos, personas que, de alguna forma, entraron a formar parte de nuestras vidas, y son parte de la culminación de esta etapa.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA ii

DEDICATORIA iii

AGRADECIMIENTO iv

ÍNDICE DE CONTENIDOS v

ÍNDICE DE FIGURAS ix

ÍNDICE DE TABLAS xi

ÍNDICE DE ANEXOS xii

RESUMEN xiii

ABSTRACT xiv

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO I 2

1 GENERALIDADES 2

1.1 Antecedentes 2

1.2 Objetivos 2

1.2.1 Objetivo general 2

1.2.2 Objetivos específicos 2

1.3 Metodología 3

1.4 Estado del arte 5

CAPÍTULO II 9

2 MARCO TEÓRICO 9

2.1 Materiales de Construcción 9

2.1.1 Definición de los materiales de construcción 9

2.1.2 Propiedades de los materiales de la construcción 9

2.1.2.1 Propiedades físicas 9

2.1.3 Especificaciones y normas de los materiales de construcción 11

2.2 Agregados 12

2.2.1 Introducción 12

2.2.3 Tipos de agregados 12
2.2.4 Granulometría 14
2.2.5 Peso volumétrico 17
2.2.6 Gravedad específica ‘‘Gs’’ 18
2.2.7 Densidad de los áridos 19
2.3 Cemento 20
2.3.1 Introducción 20
2.3.2 Definición 20
2.3.3 Proceso de fabricación del cemento 20
2.3.4 Composición química del cemento 23
2.3.4 Tipos de cemento 24
2.3.5 Propiedades del cemento 26
2.3.6 Densidad específica del cemento 28
2.3.7 Finura del cemento 28
2.4 Hormigón 29
2.4.1 Definición 29
2.4.2 Estructura del hormigón 29
2.4.3 Conceptos básicos de uso inmediato 30
2.4.4 Dosificación del hormigón. 32
2.4.5 Conceptos teóricos sobre el curado del hormigón 33
2.4.6 Resistencia a la compresión simple 34
CAPÍTULO III 38
3 ENSAYOS DE LABORATORIO 38
3.1 Granulometría de los áridos para hormigones y determinación del porcentaje de material menor que 75 µm 38
3.2 Densidades y absorción de los áridos fino y grueso 43
3.2.1 Procedimiento de ensayo para el árido grueso 43

3.2.2 Procedimiento de ensayo para el árido fino 46

Ensayo para determinar la humedad superficial: 47

Procedimiento gravimétrico (Matraz) 47

3.3 Determinación de la densidad del cemento 51

3.4 Determinación de la consistencia normal y el tiempo de fraguado inicial y final del cemento. Método de Vicat 55

3.4.1 Consistencia Normal 55

3.4.2 Tiempo de fraguado 59

3.5 Elaboración de una dosificación de hormigón hidráulico por volumen: medición del asentamiento y resistencia a la compresión. 63

CAPÍTULO IV 69

4 METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTO DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO 69

4.1 Granulometría de los áridos para hormigones y determinación del porcentaje de material menor que 75 µm 69

4.1.1 Método de ensayo 69

4.1.2 Terminología 69

4.1.3 Procedimiento de ensayo 69

4.2 Densidades y absorción de los áridos fino y grueso 71

4.2.1 Método de ensayo 71

4.2.2 Terminología 72

4.2.3 Procedimiento de ensayo del árido grueso 73

4.2.3.1 Cálculos. 74

4.2.4 Procedimiento de ensayo del árido fino 74

4.2.4.1 Ensayo para determinar la humedad superficial 74

4.2.4.2 Procedimiento gravimétrico (matraz) 75

4.2.4.3 Cálculos 75

4.3 Determinación de la densidad del cemento 76

4.3.1 Método de ensayo 76

4.3.2 Terminología 76

4.3.3 Procedimiento de ensayo 76

4.4 Determinación de la consistencia normal y el tiempo de fraguado inicial y final del cemento. Método de Vicat. 77

4.4.1 Método de ensayo 77

4.4.2 Procedimiento de ensayo 78
4.4.2.1 Consistencia normal 78
4.4.2.2 Tiempo de fraguado 79
4.5 Elaboración de una dosificación de hormigón hidráulico por volumen: medición del asentamiento y resistencia a la compresión 80
4.5.1 Método de ensayo 80
4.5.2 Procedimiento de ensayo 81

CONCLUSIONES 84

BIBLIOGRAFIA 85

ANEXOS 88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1: Esquematización del peso volumétrico. 18
Figura 2. 2: Proceso de fabricación del cemento Portland mediante vía seca. 22
Figura 2. 3: Estructura del hormigón hidráulico. 30
Figura 2. 4: Curva de resistencia del cilindro. 35
Figura 2. 5: Influencia del curado húmedo en la resistencia a compresión del hormigón. 36
Figura 2. 6: Esquema de los modelos típicos de ruptura..... 37
Figura 3. 1: Muestra de árido secado en el horno por 24 horas. 38
Figura 3. 2: Muestra necesaria del árido para la realización del ensayo. 39
Figura 3. 3: Separación de las partículas para llevarlas a la suspensión en el agua… 39
Figura 3. 4: Vertido del agua con las partículas en suspensión. 40
Figura 3. 5: Masa seca después del lavado. 41
Figura 3. 6: Tamices necesarios para la realización del ensayo. 41
Figura 3. 7: Tamizado mecánico de la muestra de árido..... 42
Figura 3. 8: Determinación de las masas retenidas en cada tamiz. 42
Figura 3. 9: Muestra de áridos previamente secados. 43
Figura 3. 10: Muestra de árido grueso sumergido en agua. 43
Figura 3. 11: Procedimiento para eliminar la humedad superficial. 44
Figura 3. 12: Masa de la muestra en condición SSS (B)..... 44
Figura 3. 13: Colocación del árido grueso saturado superficialmente seco (SSS) en el recipiente (canasta) y determinación de la masa SSS en agua. 45
Figura 3. 14: Muestra de árido grueso colocada en el horno para secado 46
Figura 3. 15: Masa de la muestra de árido grueso seca al horno. 46
Figura 3. 16: Muestra de árido fino sumergido en agua. 47
Figura 3. 17: Muestra de árido fino en estado saturado superficialmente seco. 47
Figura 3. 18: Matraz lleno con agua hasta la marca de calibración. 48
Figura 3. 19: Masa utilizada en el proceso gravimétrico. 48
Figura 3. 20: Llenado de matraz con agua. 49
Figura 3. 21: Eliminación de burbujas visibles de aire. 49
Figura 3. 22: Inmersión parcial (baño María). 50
Figura 3. 23: Masa total del matraz, muestra y agua. 50
Figura 3. 24: Masa constante del matraz. 51

Figura 3. 25: Determinación de la masa de cemento en la balanza (64g). 51
Figura 3. 26: Llenado del frasco de Le Chatelier con gasolina, aproximadamente hasta la marca de 0 cm³. 52
Figura 3. 27: Registro de la marca inicial (Lectura A) de llenado en el frasco de Le Chatelier. 52
Figura 3. 28: Colocación del cemento en el frasco de Le Chatelier. 53
Figura 3. 29: Extracción del aire, mediante baño maría. 54
Figura 3. 30: Lectura final del líquido desplazado luego del baño maría. 54
Figura 3. 31: Muestras de cemento con su respectiva cantidad de agua. 56
Figura 3. 32: Amasado de la pasta de cemento. 56
Figura 3. 33: Colocación de la pasta de cemento y retirado del material excedente. 57
Figura 3. 34: Determinación de la penetración en el aparato de Vicat con la aguja de 10 mm. 57
Figura 3. 35: Registro de las penetraciones con la aguja de 10 mm. 58
Figura 3. 36: Determinación de la relación A/C en 10 mm de penetración. 58
Figura 3. 37: Muestra de cemento y cantidad de agua a ser utilizados para ensayo de fraguado 59
Figura 3. 38: Reposo del molde durante 30 minutos. Para que el cemento fragüe. ... 60
Figura 3. 39: Determinación de la penetración con la aguja de 1 mm de diámetro. .. 60
Figura 3. 40: Penetración mayor a 25 mm (C). 61
Figura 3. 41: Penetración menor a 25 mm (D). 61
Figura 3. 42: Comprobación que no exista penetración en la muestra. 62
Figura 3. 43: Medición de cada uno de los materiales para la dosificación. 64
Figura 3. 44: Muestra de hormigón de cemento hidráulico. 64
Figura 3. 45: Vertido, compactado y enrasado de la muestra de hormigón en el cono de Abrams. 65
Figura 3. 46: Determinación del asentamiento de la muestra de hormigón. 65
Figura 3. 47: Conformación de las muestras cilíndricas de hormigón. 66
Figura 3. 48: Retiro de las muestras de hormigón de los cilindros metálicos. 66
Figura 3. 49: Curado de las muestras por los dos métodos. 67
Figura 3. 50: Masa de las muestras de 15 x 30 cm y 10 x 20 cm. 67
Figura 3. 51: Resistencia a la compresión de las muestras cilíndricas de hormigón. 68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 1: Familia de rocas. 6
Tabla 2. 1: Clasificación de los agregados según su tamaño. 13
Tabla 2. 2: Abertura de los tamices normados por la serie ASTM, utilizados en Ecuador. 14
Tabla 2. 3: Composición típica de los cementos Portland. 24
Tabla 2. 4: Asentamientos recomendados en diversas obras de hormigón. 31

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.

Guía metodológica Nº 1. Granulometría de los áridos para hormigones y determinación del porcentaje menor que 75 µm.

Anexo 2.

Guía metodológica Nº 2. Densidades y absorción de los áridos fino y grueso.

Anexo 3.

Guía metodológica Nº 3 Densidad específica del cemento.

Anexo 4.

Guía metodológica Nº 4. Determinación de la consistencia normal y el tiempo de fraguado inicial y final del cemento. Método de Vicat.

Anexo 5.

Guía metodológica Nº 5. Elaboración de una dosificación de hormigón hidráulico por volumen: medición del asentamiento y resistencia a la compresión.

Elaboración de guías metodológicas para ensayos de laboratorio de la asignatura de Materiales de Construcción de la Universidad del Azuay

RESUMEN

En el presente trabajo se realizaron las guías metodológicas propias, para los ensayos de la cátedra de Materiales de Construcción, en el laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay; éstas ofrecen facilidades a los estudiantes en la realización de las prácticas de la materia. Se realizaron los diferentes ensayos, los cuales se documentaron mediante fotos y empleando las normas NTE INEN correspondientes. Además se elaboraron las fichas o formatos de laboratorio correspondientes a cada ensayo para los estudiantes de la Universidad del Azuay.

Palabras clave: ensayos, fichas, guías, NTE INEN, propias

Rolando Armas Novoa

Director del Trabajo de Titulación

José Fernando Vázquez Calero

Director de Escuela

Paúl René Chimbo Bacuilima

Christian Alejandro León Vega

Autores

Preparation of methodological procedures for the Construction Materials laboratory tests at the University of Azuay

ABSTRACT

This study presents methodological guides proper to the tests carried out in the Construction Materials course, in the Soil and Materials laboratory of the University of Azuay. The guides offer advantages to the students when conducting experiments of this course. Different tests were carried out and were documented by means of photos with the corresponding NTE INEN standards. In addition, the tabs or laboratory formats corresponding to each trial were produced for the students at the University of Azuay.

Keywords: essays, cards, guides, NTE INEN, proprietary.

Rolando Armas Novoa

Thesis Director

José Fernando Vázquez Calero

Faculty Director

Paúl René Chimbo Bacuilima

Christian Alejandro León Vega

Authors

UNIVERSIDAD DEL AZUAY
Dpto. Idiomas

Translated by

Ing. Paul Arpi

Chimbo Bacuilima Paúl René
León Vega Christian Alejandro
Trabajo de Titulación
Ing. Rolando Armas Novoa M.Sc.
Mayo, 2018

Elaboración de guías metodológicas para ensayos de laboratorio de la asignatura de Materiales de Construcción de la Universidad del Azuay

INTRODUCCION

El presente trabajo se realizó para ofrecer a los estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad del Azuay, las guías metodologías de la cátedra de Materiales de Construcción, debido a la inexistencia de las mismas, razón por la cual se realizaron los ensayos en las instalaciones del Laboratorio de la Universidad y con el uso de los diferentes equipos, según corresponda para cada ensayo. Además se utilizó las normativas de la NTE INEN vigentes en nuestro país y además se buscó información en textos relacionados a la materia, conjuntamente con el profesor.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

Debido a la inexistencia de guías metodológicas propias para realizar ensayos de laboratorio de la asignatura Materiales de Construcción, de la Escuela de Ingeniería Civil y Gerencia en Construcciones de la Universidad del Azuay, se da la necesidad de realizar dichas guías, que pueden ser empleadas por los estudiantes como instructivos para cada uno de los ensayos, buscando enriquecer el conocimiento, prestar facilidades y un correcto entendimiento del cómo desarrollar los ensayos en laboratorio de los materiales de construcción.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Elaborar la guía metodológica de cada uno de los ensayos de laboratorio de la asignatura de Materiales de Construcción.

1.2.2 Objetivos específicos

1.- Realizar y describir el ensayo para determinar la granulometría de los áridos para hormigones y determinación del porcentaje de material menor que 75 µm.

2.- Realizar y describir el ensayo para determinar las densidades y absorción de los áridos fino y grueso.

3.- Realizar y describir el ensayo para determinar la densidad específica del cemento.

4.- Realizar y describir el ensayo para determinar la consistencia normal y el tiempo de fraguado inicial y final del cemento. Método de Vicat.

5.- Realizar y describir la metodología de dosificación de hormigón hidráulico por volumen: medición del asentamiento y resistencia a la compresión.

1.3 Metodología

Las guías metodológicas para cada uno de las prácticas que se realizarán para la asignatura Materiales de Construcción dentro del laboratorio de la Universidad serán documentadas paso a paso mediante fotos, que permitan un fácil entendimiento de los procesos para los estudiantes.

La primera guía metodológica se realizará para determinar la granulometría de los áridos para hormigones y el porcentaje menor que 75 µm de acuerdo a norma NTE INEN 696, 2011. Esta práctica de laboratorio consiste en pasar una muestra de agregado, lavada y secada hasta alcanzar una masa constante, a través de un conjunto de tamices normalizados, pesando posteriormente la cantidad retenida en cada uno de ellos y así obtener el porcentaje de áridos retenidos en cada tamiz, lo cual nos permitirá determinar la distribución del tamaño de partículas. Para realizar este ensayo debemos tener los siguientes equipos: balanzas, tamices, agitador de tamices mecánico, horno.

La segunda guía metodológica se realizará para determinar las densidades y absorción de los áridos fino y grueso. Esta práctica de laboratorio consiste en determinar la densidad promedio en una muestra de árido (sin incluir el volumen de vacíos entre partículas), la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del árido. Sumergimos los áridos previamente secados en agua por un período de 24 horas para que todos sus poros se llenen de agua, luego para el caso del árido fino se coloca la muestra (o parte de esta) en un recipiente graduado y se determina el volumen de la muestra por el método gravimétrico de acuerdo a la norma NTE INEN 856, 2010. Para el árido grueso, se determina el volumen de la muestra por el método del desplazamiento de agua como lo indica la norma NTE INEN 857, 2010, luego la muestra se seca al horno y se determina su masa; finalmente con los resultados obtenidos es posible calcular la densidad, la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción.

La tercera guía metodológica se realizará para determinar la densidad específica del cemento. Esta práctica de laboratorio tiene como fin establecer la relación entre masa de cemento y volumen de líquido (gasolina), para esto se utlizará el frasco de Le Chatelier, en el cual observaremos la masa desplazada como se indica en la norma NTE INEN 156, 2009 y por lo tanto se obtendrá los datos necesarios para el cálculo de la densidad.

La cuarta guía metodológica se realizará para determinar la consistencia normal y el tiempo de fraguado inicial y final del cemento. Método de Vicat.

En esta práctica de laboratorio como primer paso se determinará la consistencia normal del cemento hidráulico, que se basa en la resistencia de la pasta de cemento a la penetracion de la varilla de 10 mm de diámetro en un tiempo específico dado por la norma NTE INEN 157, 2009. Posteriormente los tiempos de fraguado del cemento se determinarán a partir de la consistencia normal, donde se realizarán penetraciones periódicas con la aguja de vicat de 1 mm de diámetro como nos indica la norma NTE INEN 158, 2009. El tiempo de fraguado inicial, es el tiempo transcurrido entre el contacto inicial del cemento con el agua y el instante en el cual la penetración medida o calculada es de 25 mm. El tiempo de fraguado final, es el tiempo transcurrido entre el contacto inicial del cemento con el agua y el instante en el cual la aguja no penetra la muestra.

La quinta guía metodológica se realizará para describir la metodología de dosificación de hormigón hidráulico por volumen: medición del asentamiento y resistencia a la compresión. En esta práctica de laboratorio se analizara la dosificación de hormigón para vigas, losas y columnas propuesta por la empresa Holcim S.A.

Primeramente se obtendrá el hormigón en base a la dosificación antes mencionada para posteriormente someterla al ensayo de asentamiento mediante el cono de Abrams, proceso que se realizará de acuerdo a la norma INEN 1578, 2010 y al ensayo de resistencia a la compresión mediante muestras cilíndricas en base a la norma INEN 1573, 2010 con dos tipos de curado, al ambiente y sumergidos en agua.

La resistencia se calcula dividiendo la carga máxima aplicada en el ensayo para el área de sección transversal del cilindro, ensayo que se realizará a los 14, 21 y 28 dias de curado.

1.4 Estado del arte

Influencia de los agregados pétreos en las características del concreto

El concreto es un material pétreo artificial que se obtiene de la mezcla, en determinadas proporciones, de pasta y agregados minerales. La pasta se compone de cemento y agua, que al endurecerse une a los agregados formando un conglomerado semejante a una roca, debido a la reacción química entre estos componentes. Para lograr las mejores propiedades mecánicas, el concreto debe contar con un esqueleto pétreo empacado lo más densamente posible, y con la cantidad de pasta de cemento necesaria para llenar los huecos que este deje (Palbol, 1996).

El esfuerzo que el concreto puede resistir como material compuesto está determinado principalmente, por las características del mortero (mezcla de cemento, arena y agua), de los agregados gruesos y de la interfase entre éstos dos componentes.

Debido a lo anterior, morteros con diferentes calidades y agregados gruesos con diferentes características (forma, textura, mineralogía, resistencia, etc.), pueden producir concretos de distintas resistencias (Özturan y Çeçen, 1997).

La necesidad de contar con un concreto de calidad hace indispensable conocer a detalle sus componentes, ya que tanto la resistencia como la durabilidad dependen de las propiedades físicas y químicas de ellos, especialmente de los agregados.

Sin embargo, uno de los problemas que generalmente encuentran los ingenieros y los constructores al emplear el concreto, es la poca verificación de las características de los agregados pétreos que utilizan, lo que propicia con cierta frecuencia resultados diferentes a los esperados (Cerón, Duarte y Castillo, 1996).

Propiedades físicas de los agregados

Los agregados pueden ser obtenidos de dos fuentes: en depósitos de origen natural (ríos, playas, etc.) y como productos de trituración de roca. En la tabla 1.1 se presenta información sobre el origen, características físicas distintivas y su influencia en el concreto (cuando se utilizan como agregados), de las 3 familias de rocas conocidas, que son: ígneas, sedimentarias y metamórficas (Uribe, 1991).

Tabla 1 1: Familia de rocas.

	Tipo de roca y origen	Nombre	Componentes mineralógicos	Textura	Estructura	Observaciones relativas a su uso en el concreto
Ígneas	Plutónicas	Granito	Cuarzo, feldespatos, mica y plagioclase	Fanerítica	Batolitos cuerpos intrusivos	Fácilmente intemperisable en clima tropical, intemperismo esferoidal
		Diorita	Plagioclase y mica	Fanerítica	Cuerpos intrusivos	
		Gabro	Plagioclase y mica	Fanerítica	Cuerpos intrusivos	Alto peso específico
	Volcánicas piroclásticas	Riolita	Cuarzo, feldespato, plagioclase, vidrio y mica	Afanítica porfídica	Domos flujos de lava	Altamente reactiva con los álcalis del cemento
		Andesita	Plagioclase, vidrio y mica	Afanítica porfídica	Derrames de lava	

Fuente: (Chan Yam J. L. Influencia de los agregados pétreos en las características del concreto. Artículo de divulgación. Página 40).

Algunas otras importantes propiedades físicas de los agregados son: la forma y textura de las partículas, la porosidad, la absorción, la densidad, la adherencia, la resistencia, etc. También es de suma importancia la granulometría de los agregados, y el tamaño máximo del agregado (para la grava), tanto en el comportamiento del concreto en estado plástico, como en su estado endurecido.

Influencia de los agregados pétreos en las propiedades del concreto fresco

La absorción es quizás la propiedad del agregado que más influye en la consistencia del concreto, puesto que las partículas absorben agua directamente en la mezcladora, disminuyendo la manejabilidad de la mezcla. Si dos tipos de agregados tienen absorción similar, otros factores secundarios serán de importancia en la consistencia de la mezcla, tales como forma, tamaño y graduación; ya que mientras mayor superficie del agregado sea necesario cubrir con pasta, se tendrá menos fluidez. Una buena consistencia y manejabilidad de la mezcla se obtiene con la combinación de índices bajos de absorción y un coeficiente bueno de forma, en donde las partículas son aproximadamente redondas (Alaejos y Fernández, 1996).

Por otro lado, la granulometría y el tamaño máximo del agregado (TMA) para las gravas, afectan las porciones relativas de los agregados, así como los requisitos de agua y cemento, la trabajabilidad, la economía y la durabilidad del concreto. Cuando los agregados son muy gruesos, pueden producir mezclas rígidas; mientras que aquellos agregados que no poseen una gran deficiencia o exceso de algún tamaño y

tienen una curva granulométrica suave, producirán resultados más satisfactorios en las propiedades del concreto fresco (Kosmatka y Panarese , 1992).

En el agregado fino hay dos elementos que deben ser considerados, por un lado el módulo de finura (MF), y por el otro la continuidad en los tamaños, ya que algunas arenas pueden tener módulos de finuras aceptables (entre 2.2 y 3.1) y carecer de alguna clase granulométrica. Si consideramos únicamente el módulo de finura, pueden obtenerse dos condiciones desfavorables: una de ellas existe cuando el módulo de finura es mayor a 3.1 (arena gruesa), en donde puede ocurrir que las mezclas sean poco trabajables, faltando cohesión entre sus componentes y requiriendo mayores consumos de cemento para mejorar su trabajabilidad; la otra condición es cuando el módulo de finura es menor a 2.2 (arena fina), en este caso puede ocurrir que los concretos sean pastosos y que haya mayores consumos de cemento y agua para una resistencia determinada, y también una mayor probabilidad que ocurran agrietamientos de tipo contracción por secado (Uribe, 1991).

Por último, en el agregado grueso un contenido excesivo de materiales finos puede provocar problemas similares en el concreto a los que suele causar una arena con un módulo de finura menor a 2.2. Por medio de la prueba de pérdida por lavado se puede determinar este contenido, cuyo resultado se expresa como un porcentaje de la muestra.

Influencia de los agregados pétreos en las propiedades del concreto endurecido

Frecuentemente la variación de la resistencia del concreto puede explicarse con el cambio de la relación a/c, no obstante existe evidencia en la literatura que este no siempre es el caso. Además por consideraciones teóricas, independientemente de la relación a/c, las características de las partículas del agregado tales como el tamaño, la forma, la textura de la superficie y el tipo de mineral, influyen en las características de la zona de transición, y por lo tanto, afectan la resistencia del concreto (Mehta y Monteiro, 1998)

El efecto del tamaño máximo del agregado en la resistencia también es conocido. La tendencia observada indica que mientras el TMA disminuye, la resistencia decrece. Este fenómeno se ha observado para gravas de 75.0, 37.5, 19.0 y 9.5 mm. En contraste, no sucede lo mismo para el concreto hecho usando un TMA de 4.75 mm. (No. 4), esto es atribuido al tamaño pequeño del agregado y al factor de que esta mezcla representa, básicamente, mortero o micro concreto (Sleiman, 2000).

Se ha observado que concretos con bajos contenidos de agregados resisten altos esfuerzos a la edad de un día, excepto los hechos con grava triturada. En contraparte, los concretos con altos contenidos de agregados presentan bajas resistencias de compresión a edades tempranas, fallando probablemente por la concentración de esfuerzos alrededor de los agregados, ya que en éstos sus propiedades físicas no varían con el tiempo, mientras que la resistencia y el módulo de elasticidad de la pasta de cemento están todavía por debajo de su valor final (Cetin y Carrasquillo , 1998)

Una propiedad de los agregados que resulta ser de vital importancia es la densidad, ya que si se emplea un material con una buena densidad ($\geq$ 2.25) el concreto resultante podría ser mayor o igualmente denso, lo cual tendrá una influencia directa sobre el peso volumétrico y la resistencia a la compresión del mismo. El volumen que ocupa un agregado según su peso es un indicador de las características del mismo en cuanto a ligereza, porosidad y permeabilidad, propiedades que pueden afectar al concreto en un mayor requerimiento de cemento para una resistencia específica y con esto una influencia directa sobre la economía de la mezcla.

La presencia de un porcentaje importante de materia orgánica en los agregados puede provocar problemas en la fabricación de concreto, ya que trae consigo efectos como inhibir la adecuada hidratación del cemento y por lo tanto causar un retraso en el endurecimiento del mismo.

La demanda de agua de los agregados determina el contenido de cemento y pasta para una determinada resistencia del concreto. Debido a que la pasta es la principal fuente de acortamiento y alargamiento en el concreto, agregados con bajas demandas de agua producirían concretos menos propensos a la deformación (acortamiento y alargamiento). Por esto, los agregados que mejor se acomodan en una mezcla producen concretos con menor inestabilidad volumétrica (Alexander, 1996).

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Materiales de construcción

2.1.1 Definición de los materiales de construcción

Los materiales de construcción son de vital importancia para la construcción; existen diversas obras civiles, que necesitan de conocimientos básicos firmemente consolidados, y que le permitan, con la práctica profesional ahondar en la tecnología de los materiales empleados en la industria de la construcción. Para obtener un rendimiento aceptable se necesita darle un buen uso, tanto de los materiales baratos, como de los materiales caros. ´´Es necesario dejar a un lado la búsqueda de la economía, el ingeniero tiene la obligación de construir obras, que además de ser seguras reflejen la mejor calidad de vida de sus ocupantes o usuarios, apegándose siempre a las especificaciones y reglamentos de construcción vigentes.´´ (Gomez, 2016)

2.1.2 Propiedades de los materiales de la construcción

Las propiedades de los materiales de construcción generalmente se clasifican en: físicas, mecánicas y químicas.

2.1.2.1 Propiedades físicas

Son las características visibles de los materiales que pueden ser medidas y que estas a su vez no produzcan nuevas sustancias químicas; esta propiedad está relacionada con las características del peso y el volumen del material de construcción, o con su permeabilidad a líquidos y gases, calor y rayos radiactivos, etc.

Densidad específica real

Es la masa por una unidad de volumen del material homogéneo, y se determina según la relación:

$$\rho\ (g/cm^3) = \frac{\text{masa (g)}}{\text{volumen } (cm^3)} \qquad \text{Ecuación 2.1}$$

Porosidad

Es el grado en el que el volumen de un material está ocupado por poros y se expresa como la relación entre el volumen ocupado por los poros y el volumen del material. Podemos decir que las partículas de los áridos tienen poros permeables e impermeables y que los poros permeables pueden estar vacíos, parcialmente saturados o completamente saturados de agua, generando así una serie de estados de humedad y densidad.

Higroscopicidad

Es la propiedad del material de absorber vapor de agua del aire. La superficie de los materiales de construcción llamados hidrofílicos, atraen el agua mientras que otras superficies llamadas hidrófobos la repulsan.

Absorción del agua

Es la capacidad del material de absorber y retener el agua. Está definida por la cantidad de agua absorbida por un material, que inicialmente estaba seco y posteriormente se lo ha sumergido en agua:

$$\% \text{ Absorción} = \frac{\text{masa saturada} - \text{masa seca}}{\text{masa seca}} \text{ x } 100 \qquad \text{Ecuación 2.2}$$

Dónde: masa saturada: masa del material saturada en gramos

masa seca: masa del material seca en gramos

Resistencia al intemperismo

Es la capacidad del material de soportar repetidos ciclos de humedecimiento y secado por un período largo, sin sufrir considerables deformaciones ni pérdidas de resistencias mecánicas.

Permeabilidad al agua

Es la capacidad del material de dejarse atravesar por el agua a presión y se define como la cantidad de agua que pasa a través de un espesor determinado en una hora a una presión constante y por cm^2 del material ensayado.

Conductividad térmica

Capacidad de material de conducir calor. Todos los materiales conducen calor pero varían la cantidad de grados. Su conductibilidad térmica depende de la naturaleza del material, su estructura, su porosidad, humedad y temperatura media a la que se produce el intercambio de calor.

Los materiales con poros cerrados y finos tienen una conductibilidad térmica menor que aquellos que tienen los poros abiertos y grandes.

Capacidad térmica

Es la capacidad del material de absorber el calor. Esta propiedad es de vital importancia cuando hay que considerar las acumulaciones de calor en el cálculo. El calor específico de los materiales pétreos varía de 0.18 a 0.22; en la madera de 0.57 a 0.65, el promedio del acero es 0.11 kcal/kg°C, del cemento 0.21 y del agua 1.00.

Resistencia al fuego

Es la capacidad de un material de resistir la acción de altas temperaturas sin pérdida de su capacidad soportante. Los materiales de construcción de acuerdo a su resistencia al fuego pueden dividirse como: no combustibles, resistentes al fuego y combustibles.

Los materiales no combustibles no arden ni se carbonizan bajo la acción de altas temperaturas.

Los materiales resistentes al fuego son aquellos que se carbonizan, arden e inflaman con dificultad cuando son expuestos a una llama o a una alta temperatura, pero solo continúan quemándose o ardiendo en presencia de la llama.

Los materiales combustibles son aquellos que arden o se queman bajo la acción del fuego o altas temperaturas y continúan quemándose después de la eliminación de las llamas.

2.1.3 Especificaciones y normas de los materiales de construcción

La American Association for Testing and Materials (ASTM), es quizás la organización mundial, que se dedica a desarrollar normas técnicas para una gran variedad de materiales, incluyendo aquellos materiales que se emplean normalmente

en la industria de la construcción. Otras asociaciones no menos importantes son: el American Concrete Institute (ACI), el American Institute of Steel Construction (AISC), la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) y las Normas Técnicas Ecuatorianas, proporcionadas por el Instituto Ecuatoriano de Normalización Quito- Ecuador, estas últimas serán la base teórica para la elaboración de las guías metodológicas. (Gomez, 2016)

2.2 Agregados

2.2.1 Introducción

Los agregados pétreos constituyen un factor determinante en la economía, durabilidad y estabilidad en las obras civiles, pues ocupan allí un volumen muy importante.

2.2.3 Tipos de agregados

Los materiales pétreos utilizados en la construcción se clasifican en naturales y artificiales. Los materiales pétreos naturales son los que se extraen directamente de la naturaleza, que para ser utilizados solo se necesita darle la forma adecuada. Los materiales pétreos artificiales son los que se preparan con diversos productos en estado de polvo o pastoso, para comunicarles fácilmente la forma, las cuales se endurecen por procesos físicos-químicos.

Clasificación según su procedencia

En primera instancia los agregados pétreos según su procedencia se clasifican en naturales y artificiales.

Agregados naturales

Provienen de la explotación de canteras o son producto del arrastre de los ríos. Según la forma de obtenerse los podemos clasificar como material de cantera y material de río. Conviene hacer la distinción porque el material de río al sufrir los efectos de arrastre, adquiere una textura lisa y una forma redondeada que lo diferencian del material de cantera, que por el proceso de explotación tiene superficie rugosa y forma angulosa. Como veremos más adelante, la forma y la textura les dan ventajas y desventajas al emplearse como agregados del concreto hidráulico o asfáltico.

El material que se obtiene como producto de la trituración de los sobre tamaños del material de río, adquiere las características físicas del material de cantera por el proceso de trituración pero conserva las cualidades mecánicas propias, como resistencia al desgaste y al intemperismo, que tenía el material de río que le dio origen.

Agregados artificiales

Estos agregados se obtienen a partir de productos y procesos industriales, tales como arcillas expansivas, escorias de altos hornos, limaduras de hierro, etc. En algunos casos para ciertos tipos de hormigón de baja resistencia, se suelen utilizar algunos residuos orgánicos como cascarilla de arroz, de palma, café, etc., mezclados con los agregados naturales para abaratar los costos del concreto y del mortero.

Tabla 2. 1: Clasificación de los agregados según su tamaño.

TAMANO DE LA PARTICULA EN mm	DENOMINACION CORRIENTE	CLASIFICACION
Pasante del tamiz Nº 4 y retenido en el tamiz Nº 200 Es decir entre 4.76 mm y 0.074 mm	Arena	Agregado fino
Retenido en el tamiz Nº 4 Entre 4.76 mm y 19.1 mm (Nº 4 y ¾") Entre 19.1 y 50.8 mm (3/4" y 2") Entre 50.8 mm y 152.4 mm (2" y 6") Superior a 152.4 mm (6")	 Gravilla Grava Piedra Rajón, Piedra bola	 Agregado grueso

Fuente: (Gutiérrez Libia, El concreto y otros materiales de construcción. Capítulo 1. Página 15)

Clasificación según su densidad

Otra forma de clasificar los agregados es según su densidad, es decir la masa por unidad de volumen, incluyendo el volumen de sus vacíos; la importancia de esta clasificación radica en el peso final del producto cuando se emplean estos agregados, por ejemplo, el concreto ligero. Según su densidad los agregados se clasifican en:

Ligeros: su densidad está entre 480-1040 kg/m^3, por ejemplo: piedra pómez.

Normal: entre 1300 y 1600 kg/m^3, por ejemplo material de río.

Materiales pétreos naturales

Los agregados naturales provienen de las rocas y se obtienen por un proceso de fragmentación natural como el intemperismo y la abrasión o mediante un proceso físico mecánico hecho por el hombre; en ambos casos conservan las propiedades

físicas: densidad, porosidad, textura, resistencia al intemperismo y composición mineralógica de la roca madre.

Obtención y clasificación de los agregados naturales

Los agregados empleados en la construcción pueden obtenerse por la explotación de bancos de material, depósitos de rocas que afloran en la superficie terrestre, o por extracción y clasificación del material que arrastran los ríos.

Nos referiremos en primera instancia a los bancos de material, sin olvidar que las características y condiciones de calidad se aplican por igual a ambos materiales.

La procedencia, el tamaño y la densidad son entre otras muchas, algunas de las formas de clasificar los agregados (López, 2003).

2.2.4 Granulometría

La granulometría o gradación se refiere al tamaño de las partículas y al porcentaje o distribución de las mismas en una masa de agregado. Se determina mediante el análisis granulométrico, que consiste en hacer pasar una determinada cantidad del agregado a través de una serie de tamices standard, dispuestos de mayor a menor. Los tamices se disponen de acuerdo a la utilización. Así por ejemplo la serie de tamices que se usa para los agregados del concreto se ha escogido de tal forma que la abertura del tamiz esté en relación de 1 a 2 con la abertura del siguiente tamiz.

Los tamices normalizados son aquellos cuya abertura de tamices consecutivos están dadas por una relación constante; por ejemplo, cada tamiz tiene doble abertura que el siguiente de abertura menor como se muestra en la tabla 2.2.

Tabla 2. 2: Abertura de los tamices normados por la serie ASTM, utilizados en Ecuador.

Tamiz	3¨	1½¨	¾¨	⅜¨	N°4	N°8	N°16	N°30	N°50	N°100
Abertura de la malla en mm	76.2	38.1	19.1	9.52	4.76	2.38	1.19	0.59	0.297	0.149

Fuente: (Gómez Domínguez J. Materiales de construcción Capitulo 7.Página 64)

Además de estos tamices normados se utilizan para la granulometría de los agregados, los tamices de ½¨ (17.2mm); 1¨ (25.4mm); 2¨ (50.8mm); 2½¨ (65.5mm) y 3½¨ (88.0mm).

La operación de tamizado debe realizarse según la norma NTE INEN 696-2011. ÁRIDOS. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN LOS ÁRIDOS, FINO Y GRUESO, en la cual se describe el tamaño de la muestra a ensayar y los procedimientos adecuados para realizar un análisis granulométrico. Los resultados se consignan en una tabla en la que deben aparecer: peso de la muestra ensayada, peso del material retenido en cada tamiz, % del material retenido, % retenido acumulado y % que pasa.

Determinación del material más fino que pasa el tamiz con aberturas de 75 µm (Nº200), mediante lavado

El material más fino que 75 µm, puede ser separado de las partículas más grandes, completamente y con mayor eficiencia, mediante tamizado húmedo, antes que con la utilización del tamizado en seco; por lo tanto, cuando se desea determinar con precisión el material más fino que 75 µm en una muestra de árido fino o grueso, se debe utilizar este método de ensayo previo al tamizado en seco descrito en la NTE INEN 696. El resultado de este método de ensayo está incluido en los cálculos e informe de dicha norma en el que se debe reportar la cantidad total del material más fino que 75 µm por lavado, además de la que se obtiene por tamizado en seco con la misma muestra. Por lo general, la cantidad adicional de material más fino que 75 µm, que se obtiene en el proceso de tamizado en seco, es pequeña. Si esta diferencia es grande, se debe revisar la eficiencia de la operación de lavado, esto puede ser un indicio de la degradación de los áridos.

En la mayoría de los áridos, el agua potable es adecuada para separar el material más fino que 75 µm del material más grueso. En algunos casos, el material más fino está adherido a las partículas más grandes, ya sea, como un recubrimiento de arcilla o recubrimientos en los áridos que se han extraído de las mezclas bituminosas. En estos casos, el material fino puede ser separado más fácilmente con un agente dispersor en el agua (NTE INEN 697, 2010).

Curvas granulométricas

Para una mejor visualización de la distribución del agregado, los resultados de un análisis granulométrico se grafican mediante una curva granulométrica, en la cual aparece sobre las ordenadas, en escala aritmética, el porcentaje que pasa a través de

los tamices y sobre las abscisas, en escala logarítmica o en escala aritmética, la abertura de los tamices.

Una curva tendida indica un material bien graduado o con todos los tamaños y corresponde a una graduación densa o cerrada, es decir, los espacios entre partículas son mínimos, no existe ni exceso ni defecto de un tamaño determinado.

En cambio una curva casi vertical indica un material mal graduado, en el que predominan solo unos pocos tamaños y corresponde a una graduación abierta donde aumentan los espacios vacíos.

Parámetros que se obtienen del análisis granulométrico

Además de determinar la distribución de los tamaños y la ausencia o exceso de los mismos dentro de una masa de agregados, de un análisis granulométrico se pueden sacar valores que luego son usados como parámetros en los diseños o como factores de calidad, ellos son:

Tamaño máximo

Se define como la menor abertura del tamiz que permite el paso de la totalidad de la muestra, índica la dimensión de la partícula más grande que hay en la muestra.

Tamaño máximo nominal

Se define como la abertura del tamiz inmediatamente superior a aquél cuyo porcentaje retenido acumulado es del 15% o más. Indica el tamaño promedio de partículas más grandes que hay dentro de una masa de agregado.

Por lo general, un análisis granulométrico, el tamaño máximo y el máximo nominal no coinciden.

Por lo tanto, en las especificaciones debe indicarse claramente de cuál de los dos se trata. Los términos tamaño máximo y tamaño máximo nominal se aplican exclusivamente al agregado grueso.

Módulo de finura

Es un valor que permite estimar el grosor o finura de un material; se define como la centésima parte del número obtenido al sumar los porcentajes retenidos acumulados en los siguientes tamices normados como se indica en la tabla 2.2.

El uso del módulo de finura se ha restringido al agregado fino y según este módulo las arenas se clasifican en:

Arenas finas Módulo de finura entre 0.5-1.5

Arenas medias Módulo de finura entre 1.5-2.5

Arenas gruesas Módulo de finura entre 2.5 - 3.5

Cuando la arena está mezclada con grava se obtienen módulos de finura mayor y a mayor proporción de grava en la arena, mayor es el módulo de finura, en este caso la clasificación se hace así:

Arenas finas Módulo de finura entre 2.2 - 2.6

Arenas medias Módulo de finura entre 2.6-2.9

Arenas gruesas Módulo de finura entre >2.9

2.2.5 Peso volumétrico

Se define como la relación entre el peso de una muestra de agregado compuesta de varias partículas y el volumen que ocupan estas partículas agrupadas dentro de un recipiente de volumen conocido. Es decir, el material dentro del recipiente sufre un acomodo de las partículas dejando el menor espacio entre ellas; el mayor peso unitario se tendrá cuando quepa más material dentro del mismo volumen, lo que depende naturalmente de la granulometría, tamaño, forma y textura del agregado.

Existen dos tipos de masa unitaria a saber:

Peso unitario o compactado

Se define como el peso compactado del material dividido entre el volumen que ocupa.

El valor de la masa unitaria compactada se utiliza para determinar el volumen absoluto de agregado grueso en las mezclas de concreto.

Peso unitario suelto

Es la relación que existe entre el peso del agregado suelto o en estado normal de reposo y el volumen que ocupa.

El peso unitario suelto es menor que el peso unitario compactado porque el material en estado suelto ocupa un volumen mayor.

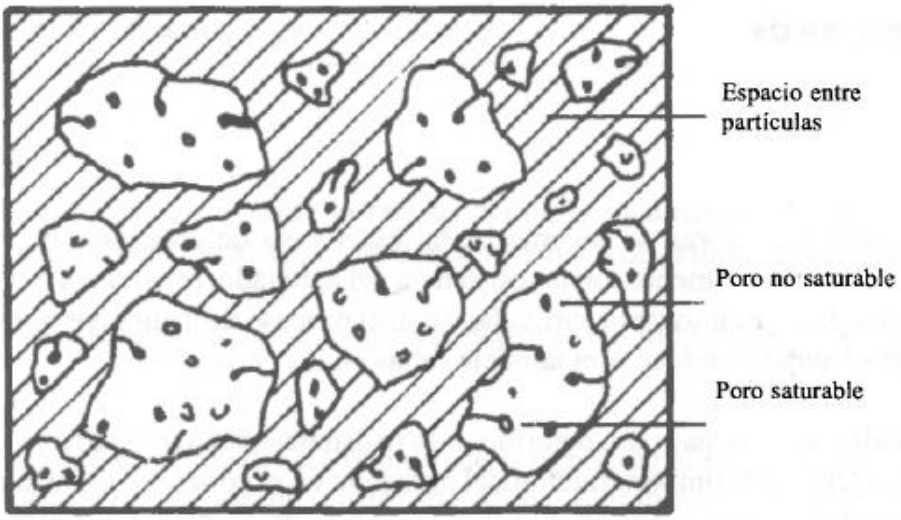


Figura 2. 1: Esquematización del peso volumétrico.

Fuente: (Gutiérrez L. El concreto y otros materiales de construcción. Capítulo 1.Página 22)

En el manejo del material se debe tener en cuenta el peso unitario suelto por cuanto el transporte se hace en volumen y en estado suelto, y por lo tanto el volumen del agregado para transportar y almacenar siempre es mayor que el volumen del material colocado y compactado en la obra.

2.2.6 Gravedad específica ‘‘Gs’’

Es la relación entre la densidad de un material y la densidad del agua destilada a una temperatura determinada; los valores son adimensionales.

Absorción. Incremento de la masa del árido debido a la penetración de agua en los poros permeables de las partículas durante un determinado período de tiempo, sin incluir el agua adherida a la superficie externa de las partículas, se expresa como un porcentaje de la masa seca.

Seco al horno (SH), relacionado a las partículas del árido. Condición en la cual los áridos han sido secados por calentamiento en un horno a 110 ºC ± 5 ºC por el tiempo necesario para conseguir una masa constante.

Saturado superficialmente seco (SSS), relacionado a las partículas del árido. Condición en la cual los poros permeables de las partículas del árido se llenan con

agua al sumergirlos por un determinado período de tiempo, pero sin agua libre en la superficie de las partículas.

Densidad relativa (gravedad específica). Relación entre la densidad de un material y la densidad del agua destilada a una temperatura determinada; los valores son adimensionales.

Densidad relativa (gravedad específica) (SH). Relación entre la densidad (SH) de los áridos y la densidad del agua destilada a una temperatura determinada.

Densidad relativa (gravedad específica) (SSS). Relación entre la densidad (SSS) de los áridos y la densidad del agua destilada a una temperatura determinada.

Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente). Relación entre la densidad aparente del árido y la densidad del agua destilada a una temperatura determinada.

(NTE INEN 856, 2010)

(NTE INEN 857, 2010)

2.2.7 Densidad de los áridos

La densidad de un material se define como su masa dividida por su volumen. El peso específico por otro lado se define como la relación entre la densidad del sólido con respecto a la del agua, este parámetro no tiene unidades.

En algunos materiales como son los metales, la densidad es constante, es decir la relación de masa a la unidad de volumen prácticamente no cambia, esto no es lo mismo cuando se trata de agregados ya que estas partículas invariablemente presentan vacíos o porosidad interna, de manera que la relación masa-volumen variará de partícula a partícula.

Densidad. Masa por unidad de volumen de un material, expresada en kilogramos por metro cúbico.

Densidad (SH). Masa de las partículas del árido, seco al horno, por unidad de volumen, incluyendo el volumen de los poros permeables e impermeables, sin incluir los vacíos entre partículas.

Densidad (SSS). Masa de las partículas del árido, saturado superficialmente seco, por unidad de volumen, incluyendo el volumen de poros impermeables y poros permeables llenos de agua, sin incluir los vacíos entre partículas.

Densidad aparente. Masa por unidad de volumen, de la porción impermeable de las partículas del árido.

2.3 Cemento

2.3.1 Introducción

El cemento Portland es el aglomerante más utilizado a nivel mundial en la construcción.

El cemento Portland fue patentado en 1824, por Joseph Aspdin y James Parker, y se lo denominó con ese nombre por que presentaba el mismo color de las piedras de la localidad de Portland, Inglaterra.

Su fabricación consiste en dosificar la materia prima (calizas y arcillas), que una vez trituradas y mezcladas se la someten a altas temperaturas, obteniéndose el denominado Clinker, que a su vez se muele con yeso y aditivos para obtener finalmente el cemento.

La fabricación se la puede resumir en los siguientes procesos: preparación, cocción, enfriamiento y finalmente molienda.

2.3.2 Definición

El cemento Portland es un material producto de la fusión química a altas temperaturas de materiales calcáreos y arcillosos, este nuevo producto reacciona cuando hace contacto con el agua endureciéndose con el tiempo hasta convertirse en una piedra artificial, por lo que recibe también el nombre de cemento hidráulico. Desde su descubrimiento el cemento Portland se ha constituido en el material de construcción por excelencia, contándose a la fecha con una gran variedad de aplicaciones de productos derivados del cemento.

2.3.3 Proceso de fabricación del cemento

Materias primas

Los ingredientes básicos para elaborar el cemento Portland son la cal, la sílice y la alúmina, estos ingredientes se pueden encontrar en la naturaleza en diversas formas y por lo general de manera abundante. Por ejemplo la cal se extrae del carbonato de

calcio que se encuentra en la roca caliza (recuérdese el proceso de producción de la cal), la sílice proviene de la arcilla (la arcilla puede ser el mismo suelo arcilloso o alguna roca sedimentaria constituida básicamente de arcilla como la lutita arcillosa), al igual que la alúmina, por estas razones generalmente las plantas productoras de cemento se encuentran muy cerca de los bancos de materiales que proveen estos ingredientes básicos. En la elaboración de los cementos también se requiere de otros minerales secundarios entre los que se encuentran el hierro, el magnesio, el sodio y el potasio, la mayoría de ellos se pueden encontrar en los bancos de arcilla, de no ser así, la planta debe abastecerse del mineral que adolecen sus bancos propios. Otro material básico en la elaboración de los cementos es el yeso, el cual generalmente se trae de fuera pues es muy difícil que la planta haya sido ubicada donde todos los insumos estén a la mano.

Fabricación

El proceso básico de fabricación del cemento es relativamente simple, existen dos métodos para la elaboración del cemento, ellos son el método vía húmeda y el método vía seca.

En el método vía húmeda se forma una suspensión con los materiales calcáreo-arcillosos previamente molidos, la suspensión es transportada por todo el sistema como un fluido por medio de tuberías.

En el método por vía seca la mezcla íntima de los materiales calcáreo-arcillosos se transporta por corrientes de aire, para algunos productores de cemento la diferencia más notable entre los dos métodos se encuentra en que en el método vía húmeda se consume más energía en el proceso de cocción debido a que primero se debe evaporar el exceso de agua antes de iniciar la fusión de los materiales con las altas temperaturas. La figura 2.2, ilustra el método vía seca para el caso en que la arcilla proviene de una roca, de acuerdo con esta figura las etapas más importantes en la producción del cemento Portland son las siguientes: explotación de las canteras de arcilla y caliza, triturado, molienda y obtención de la harina cruda, calcinación, adición del yeso y molienda del clinker, finalmente almacenamiento y envasado.

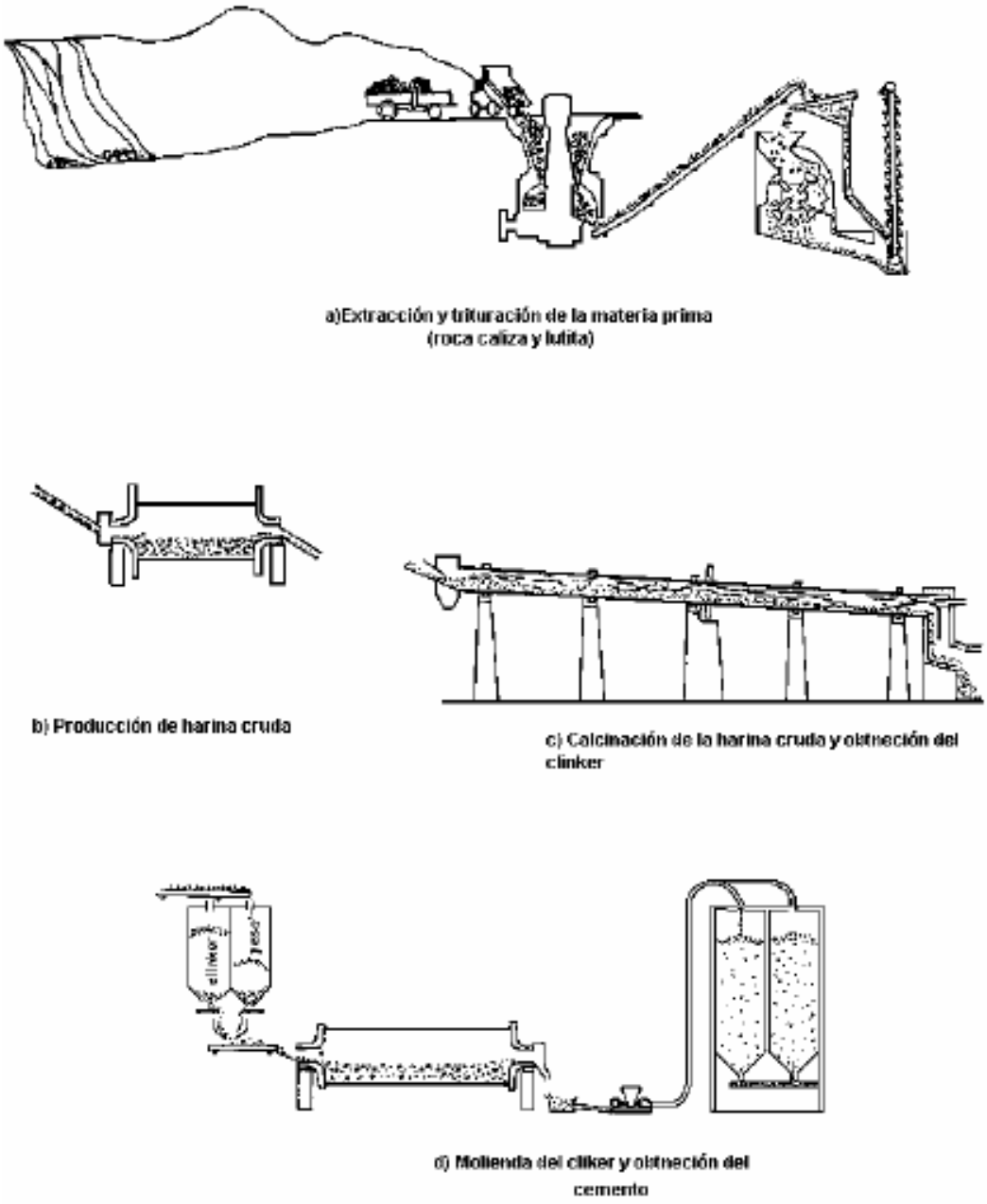


Figura 2. 2: Proceso de fabricación del cemento Portland mediante vía seca.

Fuente: (Gómez Domínguez J. Materiales de construcción Capitulo 6, página 50.)

Una etapa muy importante en el proceso de fabricación del cemento es la calcinación y obtención del clinker. La harina cruda obtenida en la etapa de molienda de los ingredientes en bruto es transportada hacia el horno giratorio, el cual se calienta hasta 1500°C por medio de una flama localizada en la parte baja del horno, el horno presenta una ligera inclinación para que el material alimentado por la parte superior (harina cruda) se deslice lentamente durante la cocción hacia la parte inferior.

La harina cruda al entrar en el horno sufre una serie de cambios importantes, inicialmente se seca y al llegar a unos 600°C el carbonato de calcio (CaCO3) proveniente de la roca caliza pierde el bióxido de carbono, convirtiéndose en cal viva (CaO).

Posteriormente cerca de los 1200°C se produce una fusión de ingredientes que da como resultados la formación de silicatos de calcio y aluminatos de calcio, así como otros compuestos secundarios. Debido al movimiento de los ingredientes durante la calcinación se van formando unas pequeñas bolas en el horno, estas bolas de material cocido se llaman clinker. El clinker es ya el cemento Portland, con el único defecto de que requiere de la adición del yeso y de la molienda, sin la presencia del yeso el clinker molido fraguaría muy rápidamente entorpeciendo el proceso normal de fraguado.

2.3.4 Composición química del cemento

Los componentes principales del cemento Portland lo constituyen los silicatos y los aluminatos de calcio, estos compuestos se forman por la asociación química de diferentes óxidos como el óxido de calcio (CaO), que se representa químicamente en forma abreviada por la letra C, la sílica (Si O2), que se representa por S, la alúmina (Al2O3) que se representa por A y el óxido de fierro (Fe2 O3) representado por F. Los compuestos principales resultado del proceso de fusión química en el horno son cuatro, sus nombres, formulas químicas abreviadas y abreviaciones comunes se citan a continuación:

Silicato tricálcico 3CaO· SiO2 C3S

Silicato dicálcico 2CaO· SiO2 C2S

Aluminato tricálcico 3CaO· Al2O3 C3A

Aluminoferrito tetracálcico 4CaO· Al2O3· Fe2O3 C4AF

2.3.4 Tipos de cemento

Tabla 2. 3: Composición típica de los cementos Portland.

Tipo de Cemento	Compuesto en %			
	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
I. Normal	50	24	11	8
II. Moderado	42	33	5	13
III. Resistencia Rápida	60	13	9	8
IV. Bajo Calor	26	50	5	12
V. Resistente a Sulfatos	40	40	4	9

Fuente: (Gómez Domínguez J. Materiales de construcción. Capítulo 6, página 52)

Los usos de los diferentes tipos de cementos mostrados en la Tabla 2.3, obedecen a las propiedades físicas y químicas derivadas de sus procesos de hidratación, así como a la protección que pueden ofrecer al concreto elaborado con dichos cementos. Se acostumbra a que las comparaciones de los diferentes tipos de cementos se hagan con respecto al cemento tipo I.

Cemento Portland tipo I.- Se conoce como el cemento normal de uso común. Se emplea en todas aquellas obras para las cuales no se desea una protección especial, o las condiciones de trabajo de la obra no involucran condiciones climáticas severas ni el contacto con sustancias perjudiciales como los sulfatos. En este tipo de cemento el silicato tricálcico (C3S) se encarga de generar una notable resistencia a edades cortas, como consecuencia, genera también la mayor cantidad de calor de hidratación. Por su parte el silicato dicálcico (C2S) se encarga de generar resistencia a edades tardías. En este cemento los aluminatos se hidratan también de una forma rápida pero coadyuvan de una manera menos significativa en la resistencia final, sin embargo son compuestos potencialmente reactivos, pues en caso de la presencia de sulfatos en solución forman sulfoaluminatos, los cuales producen expansiones que llegan a desintegrar totalmente al concreto o a cualquier otro producto a base de cemento.

Cemento Portland tipo II.- Se conoce como cemento Portland de moderado calor de hidratación y de moderada resistencia a los sulfatos, esto se explica por la

disminución del silicato tricálcico y del aluminato tricálcico con respecto al cemento normal. El cemento Portland tipo II se emplea en estructuras moderadamente masivas como grandes columnas o muros de concreto muy anchos, el objetivo es el de evitar que el concreto se agriete debido a los cambios térmicos que sufre durante la hidratación. También se aconseja usar este tipo de cemento en estructuras donde se requiere una protección moderada contra la acción de los sulfatos, como en cimentaciones y muros bajo tierra, donde las concentraciones de sulfatos no sean muy elevadas.

Cemento Portland tipo III.- Se conoce como de resistencia rápida, este tipo de cemento se usa cuando hay la necesidad de descimbrar rápido con el objeto de acelerar otros trabajos y poner en servicio la obra lo más pronto posible. La resistencia que desarrolla durante los primeros siete días es notable debido principalmente a la presencia de altos contenidos de silicato tricálcico y bajos contenidos del silicato dicálcico. Además de la composición química, los cementos adquieren la propiedad de ganar resistencia rápidamente cuando la finura a la que se muele el clinker es mayor que la del cemento normal.

Cemento Portland tipo IV o de bajo calor de hidratación.- Se desarrolla su resistencia más lentamente que el cemento normal debido a los bajos contenidos de silicato tricálcico, por esta misma razón el calor que desarrolla durante la etapa de fraguado es mucho menor que el del cemento normal. El cemento tipo IV se emplea en la construcción de estructuras masivas como las presas de concreto, donde se requiere controlar el calor de hidratación a un mínimo con el objeto de evitar el agrietamiento.

Cemento Portland tipo V o resistente a los sulfatos.- Se emplea en todo tipo de construcciones que estarán expuestas al ataque severo de sulfatos en solución o que se construirán en ambientes industriales agresivos. Estos cementos se consideran resistentes a los sulfatos debido a su bajo contenido de aluminato tricálcico, se caracterizan por su ganancia moderada de resistencia a edades tempranas, pero al igual que el cemento de bajo calor desarrolla buena resistencia a edades tardías gracias a sus altos contenidos de silicato dicálcico.

2.3.5 Propiedades del cemento

Hidratación y fraguado

El proceso de hidratación del cemento Portland se inicia cuando el agua de mezcla entra en contacto con los granos de cemento, en este momento el grano de cemento se moja del exterior al interior y los principales compuestos químicos al igual que los compuestos secundarios reaccionan colaborando en diferente forma en la ganancia de resistencia y en la consecución de otras propiedades que caracterizan el cemento endurecido. Al principio la consistencia de la mezcla es aguada pero con el tiempo la pasta se va rigidizando, a este proceso se le llama fraguado del cemento. Se destacan dos tipos de fraguado en el cemento:

El tiempo de fraguado inicial es cuando la aguja de VICAT de 1mm de diámetro penetra en una masa de cemento y agua con consistencia normal, la cantidad de 25mm en 30 segundos, el cual se produce aproximadamente a las 3 horas.
El tiempo de fraguado final es cuando la aguja de VICAT de 1mm de diámetro no penetra en la masa de cemento ni deja señal alguna, el cual se produce aproximadamente a las 7 horas,
Para determinar el tiempo de fraguado inicial y final se utiliza la aguja de VICAT de 1mm de diámetro.
Los tiempos de fraguado del cemento son importantes para el constructor, debido a que estos sirven para poder programar el transporte, colocación y compactación de las mezclas de cemento en las obras.
El resultado del proceso de hidratación está ligado a la generación de productos sólidos que son como agujas o cristales que nacen de la combinación química progresiva del grano de cemento con el agua que lo rodea, esta actividad continúa siempre y cuando haya agua disponible.

La cantidad de agua necesaria para la hidratación del cemento depende mucho de las condiciones climáticas bajo las cuales se desarrolla esta reacción, bajo condiciones de laboratorio controladas, se ha llegado a determinar que se requiere aproximadamente un 23% del peso del cemento (relación agua cemento = 0.23), esta cantidad es bastante baja si se considera que en un concreto convencional se usa un poco más del doble. El exceso de agua en un concreto convencional obedece principalmente a la necesidad de obtener una mezcla fluida para poderla depositar y

compactar sin problemas dentro de la cimbra. Por esta razón los cuidados de curado del concreto se pueden limitar a evitar que se evapore el agua del concreto fresco.

Contracción durante el fraguado

Todo producto elaborado con cemento Portland sufre una contracción por fraguado, a menos que se haya integrado a la mezcla algún agente expansor (aditivos), que contrarreste el fenómeno. El fenómeno de contracción en cementos aún no está bien determinado, puesto que muchos de los cambios que ocurren son a nivel microscópico e influenciado por las condiciones ambientales de hidratación y curado. Las contracciones que ocurren en la pasta de cemento hidratada son de dos tipos, contracción por carbonatación y contracción por secado, los dos fenómenos ocurren simultáneamente pero el de mayor magnitud es el que involucra la contracción por secado.

La contracción por carbonatación ocurre debido a que el hidróxido de calcio [Ca (OH)2] liberado durante la hidratación reacciona con el bióxido de carbono (CO2) de la atmósfera para formar un carbonato de calcio (CaCO3), el cual se deposita en algún lugar de la pasta, la disolución del hidróxido de calcio y las tensiones producidas por el agua de gel ocasionan una reducción de espacio al desaparecer el hidróxido de calcio, como el fenómeno de contracción se da a nivel superficial, se considera que no es dañino para el resto de la masa.

Por otro lado, la contracción por secado depende de la cantidad de agua en la mezcla, el fenómeno se provoca por la contracción de la pasta de silicato de calcio en la estructura de la pasta de cemento en el momento en que se pierde la humedad contenida en la pasta, las mezclas aguadas sufrirán mayores contracciones que las mezclas secas. Una pasta de cemento se contrae mucho más que un hormigón, debido a que en el hormigón los agregados restringen el fenómeno de contracción. Se ha encontrado que una pasta de cemento se puede contraer de 5 a 15 veces más que un hormigón, y con referencia a las propias pastas, se ha encontrado que variaciones no muy grandes en la relación agua-cemento ocasionan grandes diferencias en la contracción, por ejemplo una pasta con relación agua-cemento de 0.56 por peso, se contrae un 50% más que una con relación de 0.40.

Calor de hidratación

Se llama calor de hidratación al calor que se desprende durante la reacción que se produce entre el agua y el cemento al estar en contacto, el contacto se puede llevar a cabo aún si el agua está en forma de vapor, por lo que es muy importante que el cemento esté protegido del medio ambiente ya sea en sacos o en silos, hasta el momento en que se le mezcle con el agua. El calor de hidratación que se produce en un cemento normal es del orden de 85 a 100 cal/g.

2.3.6 Densidad específica del cemento

La densidad relativa del cemento varía entre 3.10 y 3.15 (un volumen de cemento pesa 3.15 veces más que un volumen igual de agua), esto hace del cemento el ingrediente más pesado de los empleados en la elaboración del hormigón o de otros productos derivados del cemento. Sin embargo una vez que el cemento entra en contacto con el agua, los productos de hidratación presentan densidades muy variables, por ejemplo, según experimentos realizados por T. C. Powers, la densidad relativa de los sólidos es igual a 2.43, y la densidad relativa del gel incluyendo los poros es de 1.76, para este último caso T. C. Powers señala que el gel incluyendo los poros ocupa 1.8 veces más espacio que el cemento sin hidratar (3.15 ÷1.76 = 1.8).

2.3.7 Finura del cemento

La finura del cemento depende del tiempo de molido del clinker, la finura del cemento se mide en metros cuadrados por kilogramo (m^2/kg), como se ha mencionado, en un cemento normal la superficie específica puede estar alrededor de 200 m^2/kg. Una finura alta favorece la hidratación rápida del cemento y al mismo tiempo favorece también una generación rápida de calor. Para la industria cementera una finura alta representa invariablemente un mayor costo de molienda, por lo que el tratamiento sólo se justifica en el caso de que se pretenda producir un cemento especial de resistencia rápida, por ejemplo, la finura en cementos de ultra rápida resistencia se deben alcanzar finuras del orden de 700-900 m^2/kg. En un cemento tipo III la finura se encuentra alrededor de los 300 m^2/kg. Las cifras anteriores corresponden a resultados obtenidos con el método Blaine, ya que las cifras varían dependiendo del método empleado en su determinación. La finura del cemento también puede ser estimada por cribado, detectando el porcentaje de material que

pasa el tamiz N° 200, esto sin embargo, no es suficiente para tener una idea de la superficie específica que tiene dicho cemento.

2.4 Hormigón

2.4.1 Definición

El hormigón de cemento Portland se ha convertido en el material de construcción por excelencia, su elaboración consiste en una mezcla de cemento Portland, agua, arena, y grava (los dos últimos llamados también agregados fino y grueso). El hormigón de cemento Portland también se conoce como hormigón hidráulico, por la propiedad que tiene el cemento Portland de reaccionar con el agua de la mezcla convirtiéndose con el tiempo en una piedra artificial. El beneficio obvio de mezclar el cemento y el agua con los agregados pétreos, consiste en que la pasta (cemento + agua) se encargará de unir o pegar a los agregados pétreos para constituir todos juntos una roca artificial.

2.4.2 Estructura del hormigón

El hormigón se constituye aproximadamente de entre 70-80% de agregados (grava y arena) en volumen, el resto es pasta de cemento. La pasta de cemento a su vez se compone de un 30-50% de cemento en volumen y el resto es agua. La Figura 2.3, muestra esquemáticamente la estructura del hormigón. Como se puede observar el agregado ocupa el mayor volumen del hormigón, este ingrediente es uno de los más abundantes en la corteza terrestre, aunque no necesariamente él más barato, especialmente cuando se requiere someterlo a un proceso de trituración, cribado y/o lavado. El cemento, es sin lugar a dudas el ingrediente más caro con el que se elabora el hormigón, gran parte de los conocimientos que contiene la tecnología del hormigón van encaminados hacia el uso racional de este ingrediente. El cemento se debe emplear solo en las cantidades adecuadas para cumplir con la resistencia y durabilidad concebidas para la aplicación en particular, los excesos generalmente acarrean efectos colaterales, ya sea en el estado fresco o en el estado endurecido, además de que encarece las obras.

Por otro lado, el agua, la cual también tiene un precio que no hay que subestimar, es un recurso natural cada vez más escaso y difícil de conseguir. El agua potable que poseemos en nuestro medio es más que suficiente para elaborar el hormigón.

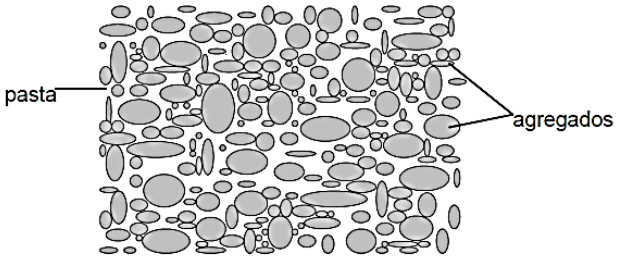


Figura 2. 3: Estructura del hormigón hidráulico.

Fuente: (Gómez Domínguez J. Materiales de construcción. Capítulo 9, página 90)

Como parte de la estructura del hormigón se debe incluir el aire que se encuentre en la masa. El aire puede ser aquel que se produce en forma natural durante el mezclado y colocación del hormigón, en cuyo caso se llama aire atrapado, este aire constituye hasta un 2% en volumen, pero puede ser más, especialmente si la colocación ha sido defectuosa. La forma de las burbujas de aire atrapadas es irregular. Por otro lado cuando se introduce intencionalmente aire en el hormigón, generalmente por medio de un aditivo, la forma de las burbujas es esférica. El aire introducido se genera durante el mezclado, este tipo de aire se introduce intencionalmente en el hormigón para protegerlo contra los efectos del intemperismo, la cantidad de aire varía entre 4 y 6 %.

2.4.3 Conceptos básicos de uso inmediato

En la gran mayoría de los casos el ingeniero civil requiere de conocimientos básicos para supervisar los trabajos que se realicen con el hormigón hidráulico.

Consistencia de la mezcla

Una vez elaborada la mezcla de hormigón, se debe evaluar la consistencia de la misma, esta evaluación consiste en medir que tan aguada es la mezcla, si esta consistencia es aceptable para el trabajo por realizar se prosigue, de otra manera se deben hacer correcciones antes de emplear la mezcla en la obra. La consistencia del hormigón se mide con la prueba del cono de Abrams, o según la norma NTE INEN 1578, 2010. La prueba consiste en llenar de hormigón un cono truncado, de 30 cm de altura, el llenado se hace en 3 capas, varillando cada capa con 25 golpes de una varilla recta, lisa, de acero, de 16 mm de diámetro y aproximadamente 600 mm de longitud, teniendo el extremo de compactación redondeado con punta semiesférica, una vez que se enrasa el cono con la misma varilla, se levanta verticalmente el

molde, y se mide la diferencia de altura entre el cono de hormigón abatido y la altura del molde, esta diferencia en cm se llama asentamiento.

Algunos asentamientos considerados como normales en hormigón de tipo estructural pueden variar entre 5 y 10 cm, asentamientos altos podría ser de 10-15 cm, y asentamientos bajos podrían ser menores a 5 cm. El asentamiento, o lo aguado del hormigón está en relación directa con el tipo de aplicación y la energía de compactación que se empleará en consolidar el hormigón. Por ejemplo en la fabricación de durmientes de concreto para ferrocarriles se acostumbra emplear hormigones con revenimiento cero, en este caso se emplea la vibro-compresión para dar forma a las piezas. Algunas instituciones como el ACI recomiendan los asentamientos mostrados en la tabla 2.4, para un buen número de aplicaciones con la siguiente consideración: el asentamiento máximo se puede aumentar en 2 cm, si el hormigón no se consolida con vibrador.

Tabla 2. 4: Asentamientos recomendados en diversas obras de hormigón.

Tipo de Construcción	Asentamientos en cm.	
	Máximo	Mínimo
Hormigón reforzado en muros y zapatas	8	2
Hormigón en zapatas simples, corazas y muros de cimentación	8	2
Muros y vigas de hormigón reforzado	10	2
Columnas para edificios	10	2
Losas y pavimentos	8	2
Hormigón masivo	5	2

Fuente: (Gómez Domínguez J. Materiales de construcción Capitulo 9, página 92)

El asentamiento del hormigón se fija dependiendo del tipo de elemento a realizarse y de la trabajabilidad que se requiere.

El ingeniero debe preocuparse por entender la correlación que tiene la prueba del asentamiento con otras propiedades del hormigón, ya que en muchas ocasiones tal prueba será el único recurso inmediato que se tenga para aceptar o rechazar un hormigón. El criterio de calificar un hormigón con base exclusivamente en la resistencia a compresión puede ocasionar problemas sin solución, ya que

generalmente la verificación de la resistencia se lleva a cabo hasta los 28 días, para entonces la obra ya estará muy avanzada.

2.4.4 Dosificación del hormigón.

La dosificación del hormigón o diseño de mezclas se considera en forma general e independientemente del método elegido, los siguientes aspectos: la relación agua-cemento (a/c), la resistencia requerida, el asentamiento, el tamaño máximo del agregado, el contenido de aire en caso de ser necesario, las condiciones de exposición del hormigón y las condiciones de colocación. El método utilizado para la dosificación de hormigón es el proporcionado por la empresa cementera de Holcim S.A. "Elaboración del hormigón con cemento holcim fuerte."

Los equipos utilizados para elaboración de las dosificaciones que ofrece Holcim S.A. son: máquina concretera de saco, parihuelas de 40 cm x 40 cm x 20 cm, palas, balde con escala numérica en litros.

La dosificación que Holcim S.A, ofrece de acuerdo al uso que se le dará a la mezcla de hormigón es la siguiente:

Hormigón para contra pisos:

- 1 saco de 50 kg de cemento holcim fuerte
- 35 litros de agua potable
- 3 parihuelas al ras de arena
- 3,5 parihuelas al ras de piedra

Para hacer 1 m^3 de hormigón se necesitan seis sacos de cemento.

Hormigón para plintos, muros y riostras:

- 1 saco de 50 kg de cemento holcim fuerte
- 28 litros de agua potable
- 2,5 parihuelas al ras de arena
- 3 parihuelas al ras de piedra

Para hacer 1 m^3 de hormigón se necesitan siete sacos de cemento.

Hormigón para losas, vigas y columnas:

- 1 saco de 50 kg de cemento holcim fuerte
- 25 litros de agua potable
- 2 parihuelas al ras de arena
- 2,5 parihuelas al ras de piedra.

Para hacer 1 m³ de hormigón se necesitan ocho sacos de cemento.

Para la realización de nuestro ensayo utilizamos la dosificación de ¨Hormigón para losas, vigas y columnas¨, utilizando la cuarta parte de la dosificación, debido a que la capacidad de la máquina concretera del laboratorio es reducida.

El procedimiento para elaborar la mezcla del hormigón según el documento de Holcim S.A. es la siguiente:

1.- Revise que la máquina concretera esté limpia y sin residuos de material, caso contrario límpiela.

2.- Encienda la concretera y revise su operatividad.

3.- Coloque la piedra en la máquina concretera.

4.- Posteriormente, agregue todo el cemento fuerte.

5.- Agregue la arena y el resto de agua paulatinamente, deje mezclar por 3 minutos, pero no menos de 90 segundos. La cantidad de agua puede disminuir si la piedra y la arena están húmedas. La resistencia y la durabilidad serán mayores si se coloca la menor cantidad de agua posible en la mezcla.

6.- Para descargar el hormigón es importante sacar el seguro de la máquina concretera y darle la vuelta al timón. Es importante realizarlo con mucho cuidado.

(Holcim Ecuador S.A., 2014)

2.4.5 Conceptos teóricos sobre el curado del hormigón

Curado natural

Generalmente se acepta que si las condiciones del medio ambiente proporcionan suficiente humedad y una temperatura favorable, en forma constante, no se requiere realizar acción alguna para curar al hormigón (Neville, 1999).

En donde la humedad ambiental es alta en gran parte del año, los ingenieros con experiencia en construcción, generalmente, se acogen al curado natural y es poco usual que en forma espontánea ejecuten acción alguna de curado para promover que el hormigón se mantenga húmedo.

Lo anterior pudiera ser resultado de un convencimiento con bases empíricas, de que invertir recursos en el curado no les redundará muchos beneficios técnicos.

Frecuentemente se especifica que se debe seguir un procedimiento de curado. Por lo general, por criterios administrativos, el procedimiento más utilizado en estos casos es la aplicación de una membrana de sello, ya que este trabajo se ejecuta una única vez y se puede controlar sin mucha dificultad; en tanto que el curado húmedo requiere de acciones repetidas durante cierto intervalo de tiempo, lo que hace más difícil su supervisión (Carcaño y Moreno, 2005).

Powers (1947) encontró que la hidratación del cemento se reduce en forma importante cuando la humedad dentro de los poros capilares de la pasta de cemento cae por debajo del 80%; de esto concluyó que para que se den las condiciones de humedad que permitan el curado natural, la humedad del aire debe ser al menos de un 80% para evitar que haya un flujo de humedad del hormigón hacia el aire. Lo anterior únicamente sería válido si la evaporación no se diera por otras condiciones meteorológicas desfavorables como: alta velocidad del viento y diferencias significativas entre la temperatura del hormigón y del aire.

2.4.6 Resistencia a la compresión simple

Como se ha mencionado la resistencia a compresión del hormigón se obtiene por medio de ensayos de cilindros de 15 x 30 cm (cilindro estándar) o de 10 x 20 cm, el tamaño del cilindro corresponde a hormigones estructurales con tamaños máximos de agregado pétreos que pueden variar de 6.4 mm (1/4 de pulgada) hasta 19.1 mm (3/4 de pulgada), aunque en pavimentos se llegan a emplear agregados pétreos hasta de 38.1 mm (1 1/2 pulgadas). En otros tipos de hormigones, por ejemplo en los hormigones masivos, los agregados pétreos pueden tener tamaños máximos mayores, entre 52.4 y 228.6 mm (6 y 9 pulgadas), por lo que los tamaños de los cilindros son mayores también. Otro ejemplo real se presenta cuando es necesario extraer un corazón o núcleo de hormigón de un elemento estructural para averiguar la resistencia que tiene el elemento (esto se tiene que hacer frecuentemente cuando no se cumple con la f’c de proyecto), en este caso por lo general se extraen núcleos con

diámetros menores al del cilindro estándar. En cada caso, cuando se prueba un cilindro de hormigón se debe especificar el tamaño del cilindro y la relación que guardan la altura y el diámetro de la muestra, ya que esto afecta la resistencia reportada. En los cilindros de hormigón se debe cumplir una relación de altura-diámetro igual a 2, de no ser así el resultado de la prueba se debe corregir por esbeltez (sí la relación es menor a 2 el resultado de la prueba se debe multiplicar por un factor menor a la unidad). Aún en el caso de que la relación altura-diámetro sea 2, el tamaño del diámetro afecta el resultado con respecto al cilindro estándar.

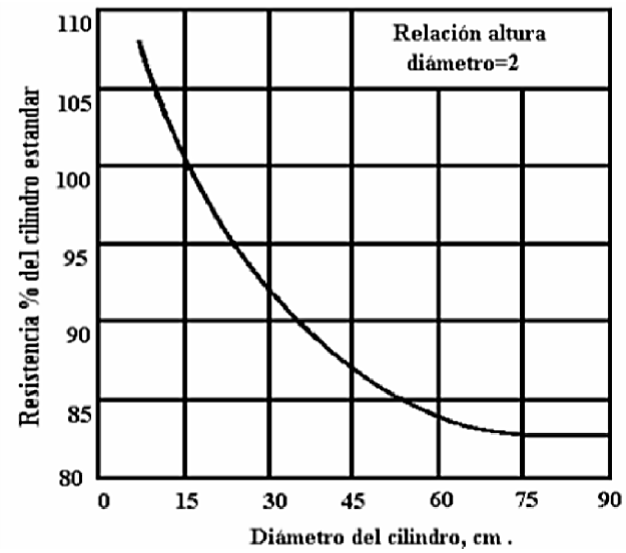


Figura 2. 4: Curva de resistencia del cilindro.

Fuente: (Gómez Domínguez J. Materiales de construcción. Capítulo 9, página 111.)

La velocidad de ensayo de los cilindros también afecta los resultados de resistencia, la norma NTE INEN 1573 (4.4.5. Velocidad de carga), nos indica que se debe aplicar la carga continuamente y sin impacto.

La carga debe ser aplicada a una velocidad de movimiento correspondiente a una velocidad de esfuerzo sobre la muestra cilíndrica de 0,25 ± 0,05 MPa/s. Para una máquina de ensayo milimétrica o de desplazamiento controlado, será necesario un ensayo preliminar para establecer la velocidad de movimiento requerida para lograr la velocidad de esfuerzo especificada. La velocidad de movimiento requerida dependerá del tamaño del cilindro de ensayo, del módulo elástico del hormigón y de la rigidez de la máquina de ensayo.

Según la norma se permite una velocidad de carga mayor durante la aplicación de la primera mitad de la fase de carga esperada. La velocidad de carga mayor debe ser aplicada de manera controlada de modo tal que el cilindro no esté sometido a una carga de impacto.

Influencia del curado húmedo en la resistencia de hormigón

El experimento reportado por Gonnerman y Shuman en 1928 ha sido citado como referencia. Los resultados de su trabajo sobre la influencia del curado húmedo en la resistencia a la compresión del hormigón se han presentado tradicionalmente en forma gráfica (Figura 2.4). Las pruebas fueron realizadas utilizando hormigón con una relación agua/cemento (a/c) de 0,50 y especímenes cilíndricos de 15cm de diámetro y 30cm de altura. En esta gráfica se muestran hormigones que tuvieron como factor variable el tiempo que pasaron en condiciones de saturación antes de ser expuestos al aire (e iniciar su proceso de secado); con fines didácticos esta gráfica es impactante, ya que muestra un contraste notable entre las resistencias que se obtuvieron al variar el tiempo del curado húmedo. Por ejemplo, entre los hormigones que pasaron 28 días expuestos al aire y los que pasaron 28 en estado de saturación se aprecia una ganancia de aproximadamente 100% de resistencia, en pruebas destructivas realizadas a la edad de 28 días.

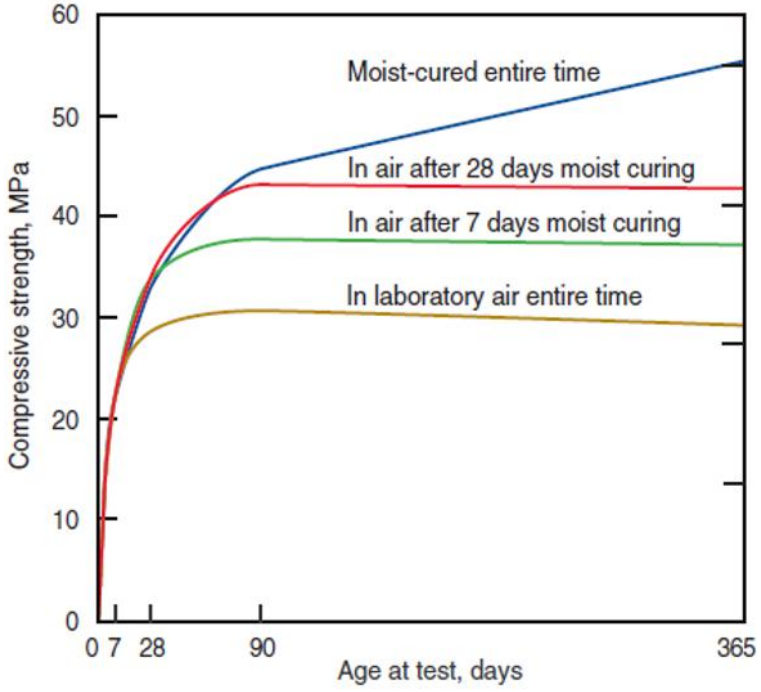


Figura 2. 5: Influencia del curado húmedo en la resistencia a compresión del hormigón.

Fuente: (Gonnerman y Shuman. Design and Control of Concrete Mixtures 16th edition. Chapter 18. Curing Concrete.)

Tipos de fracturas de las muestras cilíndricas de hormigón

La muestra cilíndrica mostrará un patrón de fractura bien definido. Cuando se ensaya con cabezales con almohadillas no adherentes (neoprenos), puede ocurrir una fractura en la esquina, similar a los modelos tipo 5 o 6 mostrados en la figura 2.6, antes que se haya alcanzado la capacidad última de la muestra cilíndrica, en estos casos se debe continuar comprimiendo la muestra hasta que el laboratorista esté seguro de que se ha alcanzado la capacidad última. Si el modelo de fractura no es uno de los modelos típicos mostrados en la figura 2.6, dibujar y describir brevemente el modelo de fractura. Si la resistencia obtenida es menor de lo esperado, examinar el hormigón fracturado y anotar la presencia de grandes cavidades de aire, evidencia de segregación, comprobar si las fracturas pasan predominantemente alrededor o a través de las partículas de árido grueso y verificar si la preparación de los extremos del cilindro fue realizada de acuerdo con las normas ASTM C 617 o ASTM C 1 231.

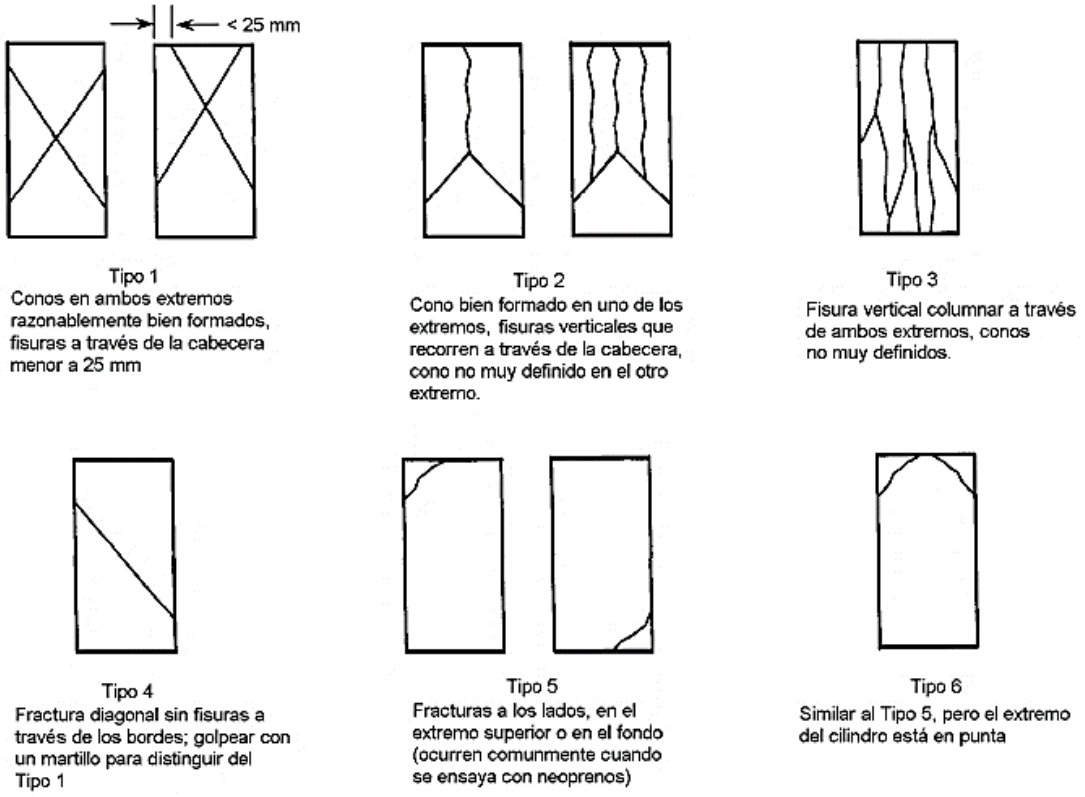


Figura 2. 6: Esquema de los modelos típicos de ruptura.

Fuente: (NTE INEN 1573:2010. HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRAULICO. Página 11).

CAPÍTULO III

ENSAYOS DE LABORATORIO

3.1 Granulometría de los áridos para hormigones y determinación del porcentaje de material menor que 75 µm

1. Tomar la muestra húmeda de aproximadamente 5000g, constituido por árido grueso [retenido en el tamiz Nº4 (4.75mm)] y árido fino [pasante en el tamiz Nº4 (4.75mm) y retenido en el tamiz Nº200 (0.075mm)], que se va a ser ensayada, y secarla en el horno a 110°C ± 5°C como se indica en la figura 3.1, durante 24 horas.

Figura 3. 1: Muestra de árido secado en el horno por 24 horas.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

2. Después del secado de la muestra, se procede a determinar la cantidad de aproximadamente 5000 g para el ensayo. Determinar la masa seca antes de lavado **(B).** (Ver figura 3.2)

Figura 3. 2: Muestra necesaria del árido para la realización del ensayo.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

3. Colocar la muestra seca en el recipiente y agregar suficiente cantidad de agua hasta cubrirla. Agitar la muestra vigorosamente, para dar lugar a la separación completa de todas las partículas más finas que 75 μm adheridas a las partículas más gruesas y para llevar el material fino a suspensión en el agua como se indica en la figura 3.3.

Figura 3. 3: Separación de las partículas para llevarlas a la suspensión en el agua.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

4. Verter el agua de lavado que contiene los sólidos suspendidos y disueltos sobre el arreglo de tamices, organizado con el tamiz más grueso en la parte superior, para proteger a los tamices más finos y el tamiz Nº200 en la parte inferior. (Ver figura 3.4)

Figura 3. 4: Vertido del agua con las partículas en suspensión.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

5. Añadir una segunda carga de agua a la muestra en el recipiente, agitar y decantar como se indicó anteriormente. Repetir esta operación hasta que el agua de lavado no esté turbia.

6. Regresar al recipiente todo el material retenido en cada tamiz de la muestra lavada y secar en el horno a 110°C ± 5°C, hasta conseguir una masa constante.

7. Se determina la masa seca después del lavado (C) y se procede a realizar el ensayo de granulometría**.** (Ver figura 3.5)

Figura 3. 5: Masa seca después del lavado.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

8. Seleccionar los tamices necesarios y adecuados que cubran los tamaños de las partículas del material a ensayarse. Ordenar los tamices en forma descendente según el tamaño de su abertura como se indica en la figura 3.6.

Figura 3. 6: Tamices necesarios para la realización del ensayo.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

9. Agitar los tamices manualmente o por medio de aparatos mecánicos durante un período suficiente (Aproximadamente 5 minutos). Girar las partículas, si es necesario, a fin de determinar si van a pasar a través de una abertura particular. (Ver figura 3.7)

Figura 3. 7: Tamizado mecánico de la muestra de árido.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

10. Luego del tamizado se procede a determinar las masas retenidas en cada tamiz como se indica en la figura 3.8. La masa total del material después del tamizado debe ser similar a la masa seca después del lavado. No se debe forzar a las partículas para pasar a través de una abertura.

Figura 3. 8: Determinación de las masas retenidas en cada tamiz.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

Nota: Los resultados de un ensayo de granulometría en árido para hormigones (curva granulométrica) y la determinación del porcentaje de partículas inferiores a 75 µm, se muestra en Anexo 1 (Guía metodológica Nº 1).

3.2 Densidades y absorción de los áridos fino y grueso

Muestra de árido grueso de 3000 g [retenido en el tamiz Nº4 (4.75 mm)] y 1000 g de árido fino [pasante en el tamiz Nº4 (4.75mm) y retenido en el tamiz Nº200 (0.075 mm)], previamente secados al horno a temperatura de $110°C \pm 5°C$, hasta conseguir una masa constante. Masas aproximadas a estos valores. (Ver figura 3.9).

Figura 3. 9: Muestra de áridos previamente secados.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

3.2.1 Procedimiento de ensayo para el árido grueso

1. Enfriar la muestra al aire, a una temperatura que sea confortable para su manipulación (aproximadamente 50 ºC); seguidamente sumergir el árido en agua a temperatura ambiente por un período de 24 horas. (Ver figura 3.10).

Figura 3. 10: Muestra de árido grueso sumergido en agua.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

2. Retirar la muestra de ensayo del agua, colocarla sobre un paño absorbente y con el mismo frotarla hasta que sea eliminada toda lámina visible de agua. Secar las partículas grandes individualmente. Se puede utilizar una corriente de aire para ayudar a la operación de secado. Determinar la masa de la muestra de ensayo en condición saturada superficialmente seca, g. **(B).** Como se indica en las figuras 3.11 y 3.12.

Figura 3. 11: Procedimiento para eliminar la humedad superficial

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

Figura 3. 12: Masa de la muestra en condición SSS (B).

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

3. Después de determinar la masa en aire, inmediatamente colocar la muestra de ensayo saturada superficialmente seca en el recipiente para la muestra y determinar su masa aparente en agua. Remover todo el aire atrapado antes de determinar la masa mediante la agitación del recipiente mientras se lo sumerge, g. **(C)** (Ver figura 3.13).

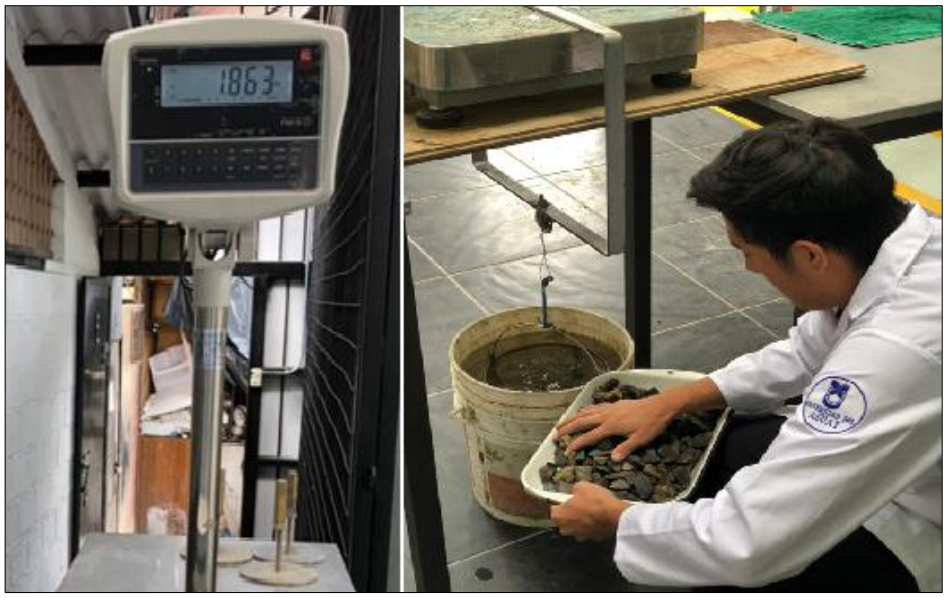


Figura 3. 13: Colocación del árido grueso saturado superficialmente seco (SSS) en el recipiente (canasta) y determinación de la masa SSS en agua.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

Nota: La diferencia entre la masa en aire y la masa en agua, es igual a la masa de agua desplazada por la muestra.

4. Secar la muestra en el horno a una temperatura de 110 ºC ± 5 ºC, hasta conseguir una masa constante. Enfriar la muestra al aire, a una temperatura que sea confortable para el manejo (aproximadamente 50ºC) y determinar su masa, g. **(A)**
(Ver figura 3.14 y 3.15).

Figura 3. 14: Muestra de árido grueso colocada en el horno para secado.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

Figura 3. 15: Masa de la muestra de árido grueso seca al horno.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

3.2.2 Procedimiento de ensayo para el árido fino

1. Enfriar la muestra al aire, a una temperatura que sea confortable para su manipulación (aproximadamente 50 ºC); seguidamente sumergir el árido en agua a temperatura ambiente por un período de 24 horas; lograr la saturación.

Decantar el exceso de agua, evitando la pérdida de finos. (Ver figura 3.16).

Figura 3. 16: Muestra de árido fino sumergido en agua.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

Ensayo para determinar la humedad superficial

2. Extraer la muestra de la bandeja y proceder a secar el agua adherida a las partículas. Lograr que el árido fino este saturado superficialmente seco (SSS). Mediante el cono truncado, con el diámetro mayor hacia abajo, colocamos en el molde en forma suelta, una porción del árido fino parcialmente seco, hasta llenarlo y compactamos el árido fino con 25 golpes ligeros del compactador. (Ver figura 3.17).

Figura 3. 17: Muestra de árido fino en estado saturado superficialmente seco.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

Procedimiento gravimétrico (Matraz)

3. Determinar la masa del matraz lleno hasta la marca de calibración, con agua a 23,0 °C ± 2,0 °C, g. **(B)** (Ver figura 3.18).

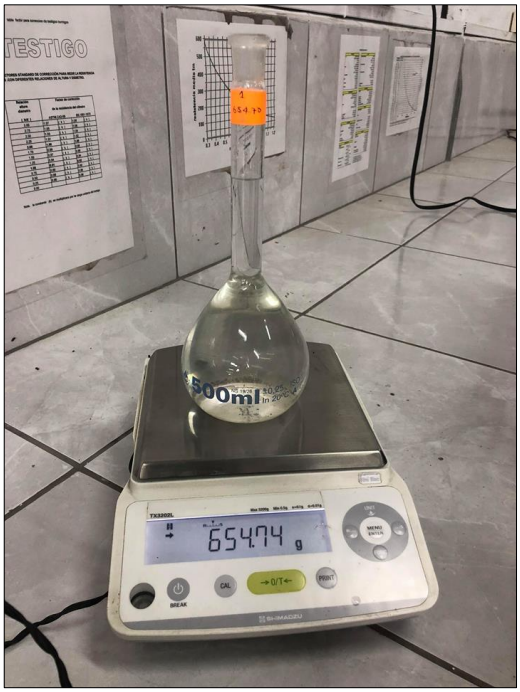


Figura 3. 18: Matraz lleno con agua hasta la marca de calibración.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

4. Llenar parcialmente el matraz con agua. Introducir en el matraz 500 g de árido fino saturado superficialmente seco **(S)** y llenar con agua adicional hasta aproximadamente el 90% de su capacidad. Agitar el matraz de forma manual para eliminar las burbujas de aire. (Ver figura 3.19, 3.20 y 3.21).

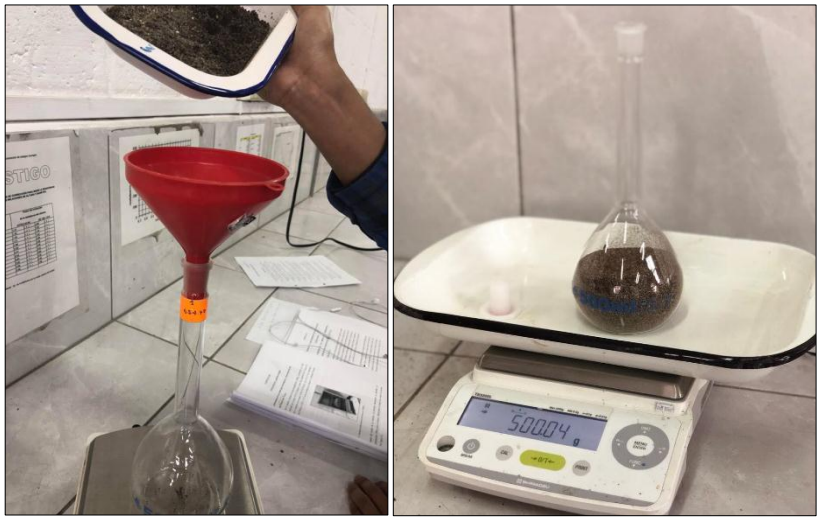


Figura 3. 19: Masa utilizada en el proceso gravimétrico.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

Figura 3. 20: Llenado de matraz con agua.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

Figura 3. 21: Eliminación de burbujas visibles de aire.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

5. Luego de eliminar todas las burbujas de aire, ajustar la temperatura del matraz y su contenido a 23,0 °C ± 2,0 °C, si es necesario mediante inmersión parcial; y llevar el nivel de agua en el matraz hasta la marca de calibración. Determinar la masa total del matraz, muestra y agua, g. **(C)** (Ver figura 3.22 y 3.23).

Figura 3. 22: Inmersión parcial (baño María).

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

Figura 3. 23: Masa total del matraz, muestra y agua.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

6. Retirar el árido fino del matraz, secarlo en el horno a una temperatura de 110 °C ± 5 °C, hasta conseguir una masa constante y enfriarlo a temperatura ambiente por 1 h ± ½ h, determinar su masa, g. **(A)** (Ver figura 3.24).

Figura 3. 24: Masa constante del matraz.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

Nota: En el Anexo 2 (Guía metodológica Nº 2) se muestran los cálculos a partir de los resultados obtenidos.

3.3 Determinación de la densidad del cemento

1. Pesar 64 gramos (muestra seca), con una precisión de 0.01 gramos.

Figura 3. 25: Determinación de la masa de cemento en la balanza (64g).

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

2. Llenar el frasco como se indica en la Figura 3.26, con gasolina, aproximadamente hasta la marca de 0 cm^3, que se encuentra en la parte baja del cuello del frasco de Le Chatelier.

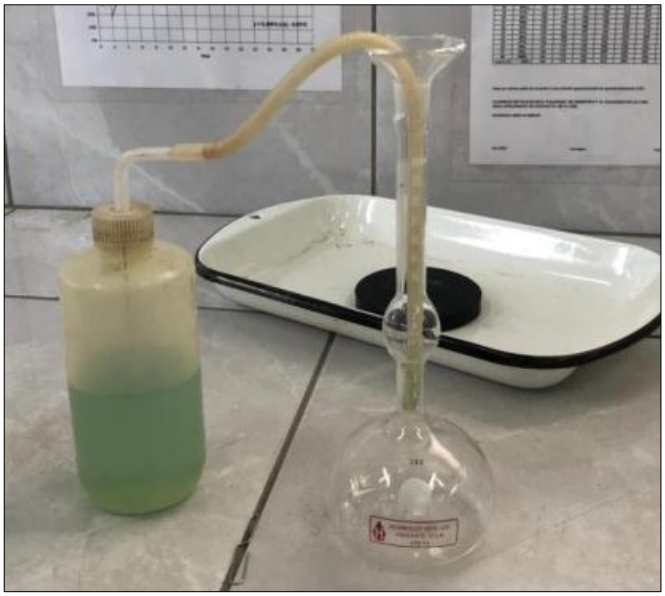


Figura 3. 26: Llenado del frasco de Le Chatelier con gasolina, aproximadamente hasta la marca de 0 cm^3.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

3. Registrar la primera lectura del líquido (Lectura **A**) que se ha colocado en el frasco de le Chatelier, teniendo en cuenta que la temperatura debe ser a 23°C ± 2°C.

Figura 3. 27: Registro de la marca inicial (Lectura A) de llenado en el frasco de Le Chatelier.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

4. Introducir toda la muestra de cemento pesada previamente, como se indica en la figura 3.28, en pequeñas porciones, evitando salpicaduras y observando que el cemento no se adhiera a las paredes del frasco.

Figura 3. 28: Colocación del cemento en el frasco de Le Chatelier.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

5. Colocar el tapón y suavemente girarlo en círculos horizontales para liberar el aire, hasta que ya no suban más burbujas a la superficie del líquido.

Este procedimiento de extracción de aire se lo realiza mediante baño maría, como se indica en la figura 3.29, que consiste en sumergir el frasco en un baño de agua a temperatura constante por períodos de tiempo suficientes, con el fin de evitar variaciones de temperatura en el frasco mayores a 0,2°C entre las lecturas inicial y final.

Figura 3. 29: Extracción del aire, mediante baño maría.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

6. Registrar la lectura final del nivel del líquido que se ha desplazado (Lectura **B**).

Figura 3. 30: Lectura final del líquido desplazado luego del baño maría.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

7. Determinación del volumen del líquido desplazado por la masa del cemento utilizado en el ensayo (Lectura A – Lectura B).

8. Como el volumen de líquido desplazado por las partículas de cemento es igual al volumen de dichas partículas, calcular la densidad del cemento por la relación:

$$\rho\ (g/cm^3) = \frac{\text{masa del cemento (g)}}{\text{volumen desplazado } (cm^3)} \qquad \text{Ecuación 3.1}$$

9. Para la dosificación y control de mezclas de hormigón la densidad puede ser más útil, cuando se expresa como gravedad específica, que es un número adimensional. Para calcular la gravedad específica Gs, se utiliza la siguiente expresión:

$$\text{Gravedad específica (Gs)} = \frac{\text{densidad del cemento}}{\text{densidad del agua a 23°C}} \qquad \text{Ecuación 3.2}$$

La densidad del agua a 23°C es de 0.99762 g/cm³.

Nota: En el Anexo 3 (Guía metodológica Nº3) se muestran los cálculos a partir de los resultados obtenidos.

3.4 Determinación de la consistencia normal y el tiempo de fraguado inicial y final del cemento. Método de Vicat.

3.4.1 Consistencia normal

1. Imponerse una relación agua-cemento, como por ejemplo: A/C=30%; A/C=33%; A/C=35%, y calcular la cantidad de agua necesaria en cada relación A/C utilizando la Ecuación 1.

$$\text{C}\ (a/c) = \frac{Ma}{\text{Mc}}x\ 100 \qquad \text{Ecuación 3.3}$$

Mc =	**650**	**g**			
a/c =	30%	=>	**Ma =**	**195**	**ml**
a/c =	33%	=>	**Ma =**	**214.5**	**ml**
a/c =	35%	=>	**Ma =**	**227.5**	**ml**

2. Pesar 3 muestras de cemento de 650g, y medir la cantidad de agua que se calculó en el paso anterior con una probeta graduada, para cada una de las muestras.

Figura 3. 31: Muestras de cemento con su respectiva cantidad de agua.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

3. Mezclar la primera muestra de cemento de A/C=30%, durante unos 5 minutos, hasta formar una bola como se indica en la figura 3.32, la cual debe ser lanzada 6 veces de una mano a otra a una distancia de 150mm.

Figura 3. 32: Amasado de la pasta de cemento.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

4. Colocar la pasta de cemento en el cono truncado por su extremo más ancho sobre el vidrio, y retirar el exceso de pasta que sobresale del extremo menor como se indica en la Figura 3.33, y enrasar utilizando la espátula. Durante este paso de cortado y alisado, tener cuidado de no comprimir la pasta.

Figura 3. 33: Colocación de la pasta de cemento y retirado del material excedente.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

5. Colocar el anillo en el aparato de Vicat y dejar caer la aguja de 10 mm durante 30 segundos. Registrar la penetración que marco el aparato de Vicat.

Figura 3. 34: Determinación de la penetración en el aparato de Vicat con la aguja de 10 mm.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

6. Repetir el procedimiento desde el paso 2 con las diferentes relaciones de agua-cemento. Y registrar las diferentes penetraciones para cada relación A/C.

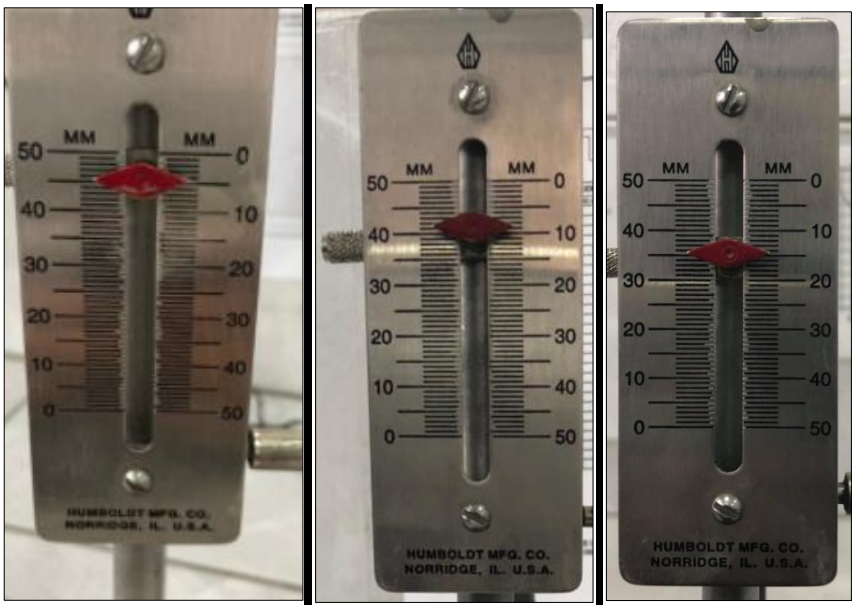


Figura 3. 35: Registro de las penetraciones con la aguja de 10 mm.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

7. Determinar la relación A/C, mediante una gráfica y un análisis numérico (interpolación), con los datos obtenidos del ensayo.

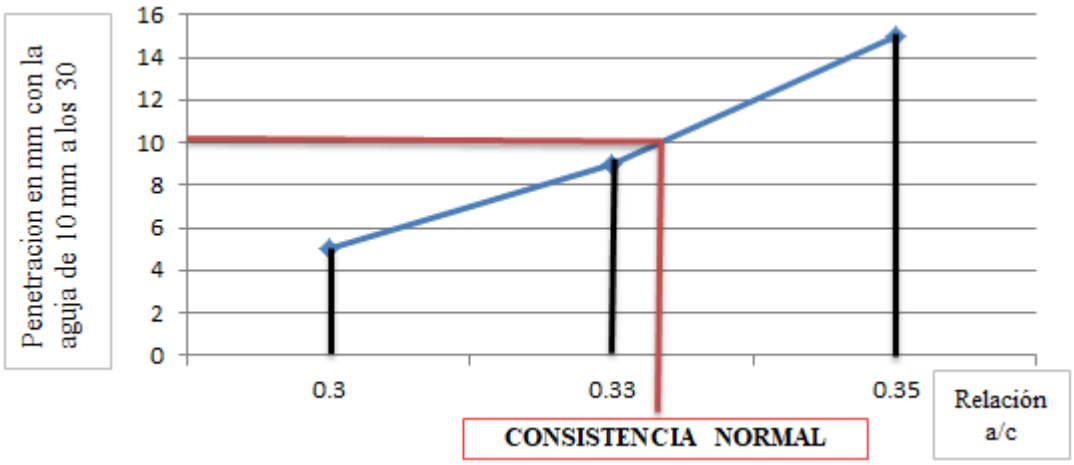


Figura 3. 36: Determinación de la relación A/C en 10 mm de penetración.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

$$\frac{a/c - 0.33}{10 - 9} = \frac{0.35 - 0.33}{15 - 9}$$

$$a/c = 0.3333 = 33.33\%$$

Ma = 216.7 ml.

3.4.2 Tiempo de fraguado

8. Pesar una masa de cemento de aproximadamente 650g y medir 216.7 ml de agua en una probeta graduada.

Figura 3. 37: Muestra de cemento y cantidad de agua a ser utilizados para ensayo de fraguado.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

9. Mezclar hasta conseguir una pasta de cemento y amasar como en el paso 3 para conseguir una masa aproximadamente esférica, que pueda ser fácilmente insertada en el anillo de Vicat.

10. Repetir el paso 4.

11. Colocar el molde con la pasta de cemento, en la cámara de fraguado y esperar 30 minutos.

Figura 3. 38: Reposo del molde durante 30 minutos. Para que el cemento fragüe.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

12. Colocar el molde bajo la aguja de 1 mm de diámetro del aparato de Vicat, y luego nivelar, centrar, soltar y observar cuanto se hunde la aguja de Vicat durante 30 segundos.

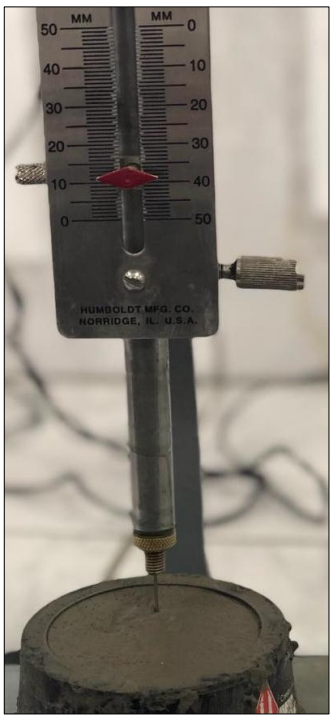


Figura 3. 39: Determinación de la penetración con la aguja de 1 mm de diámetro.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

13. Repetir el paso 6, cada 15 minutos y registrar las lecturas de penetración mayor que 25 mm (C), y menor que 25 mm (D). Además registrar el tiempo transcurrido

desde el inicio del ensayo hasta que la penetración sea mayor a 25 mm (E), y el tiempo transcurrido cuando la penetración sea menor a 25 mm (H).

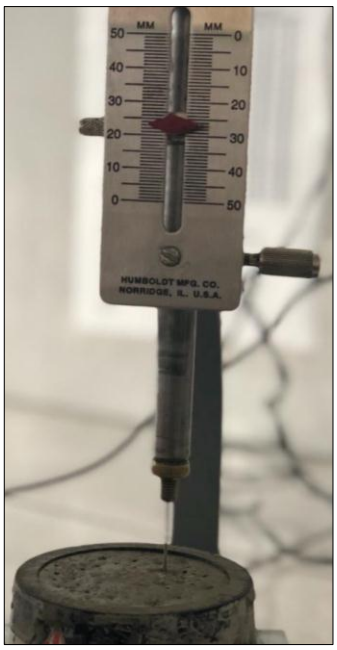


Figura 3. 40: Penetración mayor a 25 mm (C).

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

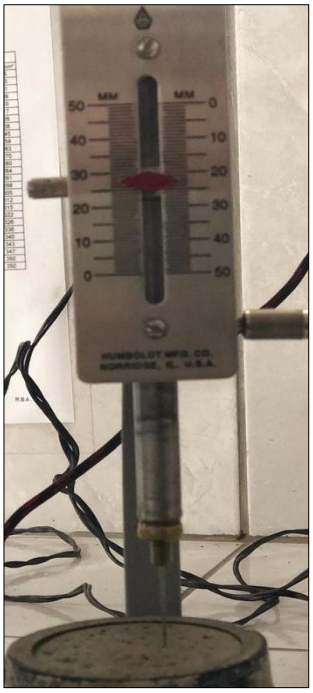


Figura 3. 41: Penetración menor a 25 mm (D).

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

14. Finalmente registrar el tiempo cuando la aguja de Vicat ya no penetre la mezcla y tampoco existan marcas. (Tiempo final de fraguado).

Figura 3. 42: Comprobación que no exista penetración en la muestra.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

15. Calcular el tiempo de fraguado inicial con los datos recopilados en la ficha de laboratorio.

Datos:

Tiempo de inicio del ensayo = 7H40 am

Tiempo en minutos de la última penetración mayor que 25mm (E) = 270 minutos

Tiempo en minutos de la última penetración menor que 25mm (H) = 285 minutos

Lectura de penetración al tiempo E (C) = 27mm

Lectura de penetración al tiempo H (D) = 23mm

Fraguado inicial = $\left\{\frac{(H-E)}{(C-D)}X(\mathrm{C}-25)\right\}+E$ Ecuación 3.4

Fraguado inicial = $\left\{\frac{(285-270)}{(27-23)}X(27-25)\right\}+270$

Fraguado inicial = 277,5 mm

Nota: En el Anexo 4 (Guía metodológica Nº 4) se muestran los cálculos a partir de los resultados obtenidos.

3.5 Elaboración de una dosificación de hormigón hidráulico por volumen: medición del asentamiento y resistencia a la compresión.

Dosificación dada por Holcim Ecuador S.A.

- Cemento holcim fuerte: 1 saco de 50 kg.
- Agua potable: 25 litros.
- Árido fino seco: 2 parihuelas al ras.
- Árido grueso seco: 2.5 parihuelas al ras.

Se planteo realizar 18 muestras cilíndricas de 15 x 30 cm, con la diferencia en el tipo de curado; es decir 9 de ellas tendrán un curado sumergido en agua, mientras que las 9 restantes únicamente tendrán un curado al ambiente, también se realizó 3 muestas de 10 x 20 cm, sometidas al curado sumergido en agua. Posteriormente se comparará los valores obtenidos de resistencia a la compresión que se obtenga al los 14, 21 y 28 días de curado.

1.Verificar que la máquina concretera se encuentre limpia y en condiciones de operabilidad. Posteriormete se prodece a medir las cantidades para la dosificacion establecida de acuerdo a la capacidad de la concretera del laboratorio.

(Ver figura 3.43).

- Cemento holcim fuerte: 12.50 kg.
- Agua potable: 6.25 litros.
- Árido fino seco y limpio: 16 dm^3.
- Árido grueso: 20 dm^3.

Figura 3. 43: Medición de cada uno de los materiales para la dosificación.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

2. Colocación de cada uno materiales en la concretera, iniciando con una pequeña cantidad de agua con el árido grueso, seguido del cemento y finalmente se agrega la arena y el resto del agua paulatinamente. Inclinar la concretera para obtener una mejor mezcla del hormigón por un período de 3 minutos. Ver figura 3.44.

Figura 3. 44: Muestra de hormigón de cemento hidráulico.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

3. Vertido, compactado y enrasado de la muestra de hormigón en el cono de Abrams para determinar el asentamiento. (Ver figura 3.45).

Figura 3. 45: Vertido, compactado y enrasado de la muestra de hormigón en el cono de Abrams.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

4. Retirar el molde con un movimiento ascendente uniforme y determinar la diferencia vertical entre la parte superior del molde y el centro original desplazado de la superficie superior de la muestra. (Ver figura 3.46).

Figura 3. 46: Determinación del asentamiento de la muestra de hormigón.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

5. A continuacion se procede al llenado de los cilindros metálicos con la muestra de hormigón en tres capas cada una de estas con 25 golpes de la varilla para su compactación y así obtener las muestras que serán sometidos al ensayo de resistencia a la compresión. (Ver figura 3.47).

Figura 3. 47: Conformación de las muestras cilíndricas de hormigón.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

6. Dejar que el hormigón fragüe por un período de 24 horas y proceder a retirar las muestras de los cilindros metálicos como se en indica la figura 3.48.

Figura 3. 48: Retiro de las muestras de hormigón de los cilindros metálicos.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

7. Curado de las muestras cilíndricas de hormigón, curado sumergido en el lado derecho y curado al ambiente en el lado izquierdo como se indica en la figura 3.49.

Figura 3. 49: Curado de las muestras por los dos métodos.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

8. Determinación de la masa en kg de las muestras para obtener su densidad, kg/m³ . En este paso se determinó la masa de tres muestars de 15 x 30 cm y tres muestras de 10 x 20 cm. Ver figura 3.50

Figura 3. 50: Masa de las muestras de 15 x 30 cm y 10 x 20 cm.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

9. Finalmente se determinó la resistencia a la compresión de las muestras de hormigón a los 14, 21 y 28 días de curado. Ensayando en cada uno de estos días tres muestras de cada método de curado. Ver figura 3.51.

Figura 3. 51: Resistencia a la compresión de las muestras cilíndricas de hormigón.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

Nota: En el Anexo 5 (Guía metodológica Nº 5) se muestran los cálculos a partir de los resultados obtenidos.

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTO DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO

4.1 Granulometría de los áridos para hormigones y determinación del porcentaje de material menor que 75 µm

4.1.1 Método de ensayo

Las partículas componentes de una muestra de agregados finos y gruesos, necesaria para la elaboración de un elemento de hormigón, debe estar en condiciones secas y de masa conocida. La muestra es separada por tamaños, haciéndola pasar a través de una serie de tamices de aberturas ordenadas de forma descendente. Las masas de las partículas mayores a las aberturas de la serie de tamices utilizados, expresado en porcentaje de la masa seca inicial, permite determinar la distribución del tamaño de las partículas.

Para el caso del lavado utilizaremos agua potable. El agua de lavado decantada, que contiene material en suspensión y materia disuelta, se pasa a través de un tamiz de 75µm (No. 200). Se seca el material lavado y se calcula la pérdida de masa seca resultante del tratamiento de lavado, como un porcentaje de la masa de la muestra original y se informa como el porcentaje de material más fino que 75µm (Nº. 200) mediante lavado.

4.1.2 Terminología

Tamaño máximo de la partícula. Abertura del tamiz inmediato superior a aquel tamiz en el cual el porcentaje retenido acumulado es igual o mayor a 15% (tamices normados y no normados).

4.1.3 Procedimiento de ensayo

1. Teniendo en cuenta que en Cuenca el tamaño máximo del árido grueso es de ¾¨ (19.1mm), tomaremos para este ensayo de granulometría, una muestra en la que todos los áridos pasen el tamiz de 1¨ (25.4mm).

2. El tamaño de la muestra que utilizaremos es de 5000g, constituido por árido grueso [retenido en el tamiz Nº4 (4.75mm)] y árido fino [pasante en el tamiz Nº4 (4.75mm) y retenido en el tamiz Nº200 (0.075mm)], en diferentes proporciones.

3. Secar la muestra húmeda, de aproximadamente 5000 g, en el horno hasta conseguir una masa constante, a una temperatura de 110 °C ± 5°C. Determinar la masa seca de la muestra con una aproximación de 1g (masa seca original de la muestra, B).

4. Después del secado y de la determinación de la masa, colocar la muestra en el recipiente y agregar suficiente cantidad de agua hasta cubrirla. Agitar la muestra vigorosamente para dar lugar a la separación completa de todas las partículas más finas que 75 μm adheridas a las partículas más gruesas, para llevar el material fino a suspensión. Inmediatamente verter el agua de lavado, que contiene los sólidos suspendidos y disueltos, sobre el arreglo de tamices, organizado con el tamiz más grueso en la parte superior. Evitar en la medida de lo posible, la decantación (método físico para la separación de mezclas) de las partículas gruesas de la muestra.

5. Añadir una segunda carga de agua a la muestra en el recipiente, agitar y decantar como se indicó anteriormente. Repetir esta operación hasta que el agua de lavado no esté turbia.

6. Colocar en un recipiente todo el material de la muestra lavada, retenida en el arreglo de tamices. Secar en el horno el árido lavado hasta conseguir una masa constante, a temperatura de 110 °C ± 5 °C y determinar la masa con una aproximación de 1g (masa seca de la muestra lavada, C).

7. Seleccionar los tamices necesarios y adecuados que cubran los tamaños de las partículas del material a ensayarse, colocados de mayor a menor abertura.

8. Verter el material que constituye la muestra seca después de lavado (C), a través del juego de tamices seleccionados, moviendo los mismos manualmente a fin de lograr que las partículas desciendan y no se acumulen en un tamiz.

9. Colocar el juego de tamices en el agitador mecánico durante 5 minutos.

10. Determinar las masas de la muestra seca retenida en cada tamiz, con una precisión de 1 g. Girar las partículas retenidas en los tamices, si es necesario a fin de determinar si van a pasar a través de una abertura particular. No se debe forzar a las partículas a pasar a través de una abertura.

11. La masa seca total del material después del tamizado debe ser similar a la masa de la muestra seca colocada sobre los tamices (C). Si las cantidades difieren en más del 0.3%, respecto a la masa de la muestra seca colocada sobre los tamices (C), los resultados no deben ser utilizados con fines de aceptación.

12. Con los valores del paso 8 hay que calcular la masa seca de la muestra retenida acumulada en cada tamiz, el porcentaje retenido acumulado en cada tamiz con relación a la masa seca original de la muestra. Después restándole de 100 el porcentaje retenido acumulado en cada tamiz se obtiene el porcentaje que pasa por cada tamiz, que permite obtener la curva granulométrica en una representación semilogarítmica (porcentaje que pasa vs tamaño de la partícula mm).
Para calcular el porcentaje de material que pasa el tamiz de 75 μm (No. 200), se lo realiza de la siguiente manera:

$$A = \frac{B - C}{B} \times 100 \qquad \text{Ecuación 4.1}$$

Dónde:
A = porcentaje de partículas menores de 75 μm.
B = masa seca original de la muestra, g
C = masa seca de la muestra luego del lavado, g

4.2 Densidades y absorción de los áridos fino y grueso

4.2.1 Método de ensayo

Se sumerge en agua por 24 horas, una muestra de árido previamente secada, hasta conseguir una masa constante, con el propósito de llenar con agua sus poros. Luego, para el caso del árido fino se coloca la muestra (o parte de esta) en un recipiente

graduado y se determina el volumen de la muestra por el método gravimétrico; finalmente la muestra se seca al horno y se determina nuevamente su masa. Para el árido grueso, de determina el volumen de la muestra por el método del desplazamiento de agua; finalmente la muestra se seca al horno y se determina su masa. Utilizando los valores de masa obtenidos y mediante las fórmulas de este método de ensayo, es posible calcular la densidad, la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción.

4.2.2 Terminología

Absorción. Incremento de la masa del árido debido a la penetración de agua en los poros permeables de las partículas durante un determinado período de tiempo, sin incluir el agua adherida a la superficie externa de las partículas, se expresa como un porcentaje de la masa seca.

Seco al horno (SH), relacionado a las partículas del árido. Condición en la cual los áridos han sido secados por calentamiento en un horno a 110 ºC ± 5 ºC por el tiempo necesario para conseguir una masa constante.

Saturado superficialmente seco (SSS), relacionado a las partículas del árido. Condición en la cual los poros permeables de las partículas del árido se llenan con agua al sumergirlos por un determinado período de tiempo, pero sin agua libre en la superficie de las partículas.

Densidad. Masa por unidad de volumen de un material, expresada en kilogramos por metro cúbico o gramos por centímetro cúbico.

Densidad (SH). Masa de las partículas del árido, seco al horno, por unidad de volumen, incluyendo el volumen de los poros permeables e impermeables, sin incluir los vacíos entre partículas.

Densidad (SSS). Masa de las partículas del árido, saturado superficialmente seco, por unidad de volumen, incluyendo el volumen de poros impermeables y poros permeables llenos de agua, sin incluir los vacíos entre partículas.

Densidad aparente. Masa por unidad de volumen, de la porción impermeable de las partículas del árido.

Densidad relativa (gravedad específica). Relación entre la densidad de un material y la densidad del agua destilada a una temperatura determinada; los valores son adimensionales.

Densidad relativa (gravedad específica) (SH). Relación entre la densidad (SH) de los áridos y la densidad del agua destilada a una temperatura determinada.

Densidad relativa (gravedad específica) (SSS). Relación entre la densidad (SSS) de los áridos y la densidad del agua destilada una temperatura determinada.

Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente). Relación entre la densidad aparente del árido y la densidad del agua destilada a una temperatura determinada.

4.2.3 Procedimiento de ensayo del árido grueso

1. Secar la muestra en el horno a una temperatura de 110 ºC ± 5 ºC, hasta conseguir una masa constante. Enfriar la muestra al aire, a temperatura ambiente, entre 1 hora a 3 horas, hasta que el árido se haya enfriado a una temperatura que sea confortable para su manipulación (aproximadamente 50 ºC); seguidamente sumergir el árido en agua a temperatura ambiente por un período de 24 horas.

2. Retirar la muestra de ensayo del agua, colocarla sobre un paño absorbente y con el mismo frotarla hasta que sea eliminada toda lámina visible de agua. Secar las partículas grandes individualmente. Se puede utilizar una corriente de aire para ayudar a la operación de secado. Evitar la evaporación de agua desde los poros del árido durante la operación de secado superficial. Determinar la masa de la muestra de ensayo en condición saturada superficialmente seca **(B)**, registrarla con una precisión de 1 g.

3. Después de determinar la masa en aire, inmediatamente colocar la muestra de ensayo saturada superficialmente seca en el recipiente para la muestra y determinar su masa aparente en agua a 23 ºC ± 2 ºC **(C)**. Remover todo el aire atrapado antes de determinar la masa, mediante la agitación del recipiente mientras se lo sumerge.

4. Secar la muestra en el horno a una temperatura de 110 ºC ± 5 ºC, hasta conseguir una masa constante. Enfriar la muestra al aire, a temperatura ambiente, entre 1 hora a 3 horas o hasta que el árido se haya enfriado a una temperatura que sea confortable para el manejo (aproximadamente 50 ºC) y determinar su masa **(A).**

4.2.3.1 Cálculos

Densidad relativa (gravedad específica):

$$\text{Densidad relativa (gravedad específica)(SH)} = \frac{A}{B-C} \quad \text{Ecuación 4.2}$$

$$\text{Densidad relativa (gravedad específica)(SSS)} = \frac{B}{B-C} \quad \text{Ecuación 4.3}$$

$$\text{Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)} = \frac{A}{A-C} \quad \text{Ecuación 4.4}$$

Densidad:

$$\text{Densidad (SH)}, \frac{kg}{m^3} = \frac{997.5\ A}{B-C} \quad \text{Ecuación 4.5}$$

$$\text{Densidad (SSS)}, \frac{kg}{m^3} = \frac{997.5\ B}{B-C} \quad \text{Ecuación 4.6}$$

$$\text{Densidad aparente}, \frac{kg}{m^3} = \frac{997.5\ A}{A-C} \quad \text{Ecuación 4.7}$$

$$\text{Absorción}, \% = \frac{B-A}{A} * 100 \quad \text{Ecuación 4.8}$$

4.2.4 Procedimiento de ensayo del árido fino

1. Colocar la muestra en una bandeja o en otro recipiente apropiado y secarla en el horno a una temperatura de 110 ºC ± 5 ºC, hasta conseguir una masa constante, dejarla que se enfríe hasta una temperatura que sea confortable para su manipulación (aproximadamente 50 ºC), luego cubrirla con agua y dejar que repose por 24 horas.

2. Decantar el exceso de agua, evitando la pérdida de finos, extender la muestra sobre una superficie plana, no absorbente, expuesta a una corriente suave de aire caliente y moverla frecuentemente para asegurar un secado homogéneo y así alcanzar la condición saturada superficialmente seca (SSS).

4.2.4.1 Ensayo para determinar la humedad superficial

3. Mantener firmemente el molde sobre una superficie lisa no absorbente, con el diámetro mayor hacia abajo. Colocar en el molde en forma suelta, una porción del árido fino parcialmente seco, hasta llenarlo colocando material adicional en la parte superior manteniendo firme el molde con la mano, compactar el árido fino con 25 golpes ligeros del compactador. Cada caída debe iniciar aproximadamente a 5 mm sobre la superficie del árido. Permitir que el compactador caiga libremente.

Remover el árido fino que ha caído alrededor de la base y levantar el molde verticalmente. Si la humedad superficial todavía está presente, el árido fino mantendrá la forma del molde. Cuando el árido fino se desmorona ligeramente, ello indica que se ha alcanzado la condición de superficie seca.

4.2.4.2 Procedimiento gravimétrico (matraz)

4. Determinar la masa del matraz lleno hasta la marca de calibración, con agua a 23,0 °C ± 2,0 °C **(B).**

5. Llenar parcialmente el matraz con agua. Introducir en el matraz 500 g de árido fino saturado superficialmente seco **(S)** y llenar con agua adicional hasta aproximadamente el 90% de su capacidad.
Agitar el matraz manualmente: rodar, invertir y agitar el matraz para eliminar las burbujas de aire.

6. Luego de eliminar todas las burbujas de aire, ajustar la temperatura del matraz y su contenido a 23,0 °C ± 2,0 °C, si es necesario mediante inmersión parcial en agua circulante; y llevar el nivel de agua en el matraz hasta la marca de calibración. Determinar la masa total del matraz, muestra y agua **(C)**.

7. Retirar el árido fino del matraz, secarlo en el horno a una temperatura de 110 °C ± 5 °C, hasta conseguir una masa constante y enfriarlo a temperatura ambiente por 1 hora, determinar su masa **(A).**

4.2.4.3 Cálculos

Procedimiento gravimétrico:

$$\text{Densidad relativa (gravedad específica)(SH)} = \frac{\text{A}}{\text{B+S−C}} \quad \text{Ecuación 4.9}$$

$$\text{Densidad relativa (gravedad específica)(SSS)} = \frac{\text{S}}{\text{B+S−C}} \quad \text{Ecuación 4.10}$$

$$\text{Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)} = \frac{\text{A}}{\text{B+A−C}} \quad \text{Ecuación 4.11}$$

$$\text{Densidad (SH)}, \frac{kg}{m^3} = \frac{997.5\ \text{A}}{\text{B+S−C}} \quad \text{Ecuación 4.12}$$

$$\text{Densidad (SSS)}, \frac{kg}{m^3} = \frac{997.5\ \text{S}}{\text{B+S−C}} \quad \text{Ecuación 4.13}$$

$$\text{Densidad aparente}, \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = \frac{997.5\ \text{A}}{\text{B}+\text{A}-\text{C}}$$ Ecuación 4.14

$$\text{Absorción}, \% = \frac{\text{S}-\text{A}}{\text{A}} * 100$$ Ecuación 4.15

4.3 Determinación de la densidad del cemento

4.3.1 Método de ensayo

La determinación de la densidad del cemento hidráulico consiste en establecer la relación entre una masa de cemento y el volumen del líquido no reactivo, que esta masa desplaza en el frasco de Le Chatelier.

4.3.2 Terminología

Densidad del cemento hidráulico. La densidad del cemento hidráulico está definida como la masa por unidad de volumen de los sólidos. Su unidad está dada en g/cm³.

4.3.3 Procedimiento de ensayo

1. Pesar 64 gramos (muestra seca), con una aproximación de 0.01 gramos.

2. Llenar el frasco de Le Chatelier, con gasolina, aproximadamente hasta la marca de 0 cm³, que se encuentra en la parte baja del cuello del frasco de Le Chatelier.

3. Registrar la primera lectura del líquido (Lectura **A**) que se ha colocado en el frasco de Le Chatelier, teniendo en cuenta que la temperatura debe ser a 23°C ± 2°C.

4. Introducir toda la muestra de cemento pesada previamente, con mucho cuidado, en pequeñas porciones, evitando salpicaduras y observando que el cemento no se adhiera a las paredes del frasco.

5. Colocar el tapón y suavemente girarlo en círculos horizontales para liberar el aire, hasta que ya no suban más burbujas a la superficie del líquido.
Este procedimiento de extracción de aire se lo realiza mediante baño maría, que consiste en sumergir el frasco en un baño de agua a temperatura constante por

períodos de tiempo suficientes, con el fin de evitar variaciones de temperatura en el frasco mayores a 0,2°C entre las lecturas inicial y final.

6. Registrar la lectura final del nivel del líquido que se ha desplazado (Lectura **B**).

7. Para determinar el volumen del líquido desplazado por la masa del cemento se utiliza la siguiente ecuación: (Lectura A – Lectura B).

8. Como el volumen de líquido desplazado por las partículas de cemento es igual al volumen de dichas partículas, calcular la densidad del cemento por la relación:

$$\rho\ (g/cm^3) = \frac{\text{masa del cemento (g)}}{\text{volumen desplazado (cm}^3\text{)}} \qquad \text{Ecuación 4.16}$$

9. Para la dosificación y control de mezclas de hormigón, la densidad puede ser más útil, cuando se expresa como gravedad específica, que es un número adimensional. Para calcular la gravedad específica Gs, se utiliza la siguiente expresión:

$$\text{Gravedad específica (Gs)} = \frac{\text{densidad del cemento}}{\text{densidad del agua a 23°C}} \qquad \text{Ecuación 4.17}$$

La densidad del agua a 23°C es de 0.99762 gr/cm³.

4.4 Determinación de la consistencia normal y el tiempo de fraguado inicial y final del cemento. Método de Vicat

4.4.1 Método de ensayo

La determinación de la consistencia normal del cemento hidráulico, se basa en la resistencia que opone la pasta de cemento a la penetración de la varilla del aparato de Vicat en un tiempo normalizado.

La determinación de los tiempos de fraguado del cemento, se realiza utilizando pastas de cemento hidráulico de consistencia normal, preparadas con anterioridad, las que se mantienen en un cuarto de curado donde inicia el proceso de fraguado. Se

realizan penetraciones periódicas en la pasta utilizando la aguja de Vicat de 1 mm de diámetro. El tiempo de fraguado inicial Vicat, es el tiempo transcurrido entre el contacto inicial del cemento con el agua y el instante en el cual la penetración medida o calculada es de 25 mm. El tiempo de fraguado final Vicat, es el tiempo transcurrido entre el contacto inicial del cemento con el agua y el instante en el cual la aguja no deja una impresión circular completa en la superficie de la pasta.

4.4.2 Procedimiento de ensayo

4.4.2.1 Consistencia normal

1. Imponerse una relación agua-cemento, como por ejemplo A/C=30%; A/C=35%; A/C=40%, y calcular la cantidad de agua necesaria en cada relación A/C utilizando la Ecuación 4.18.

$$\mathrm{C}\ (a/c) = \frac{Ma}{\mathrm{Mc}}\, x\ 100 \qquad \text{Ecuación 4.18}$$

C = Consistencia normal en porcentaje (relación agua-cemento).
Ma = Masa de agua en g.
Mc = Masa de cemento en g.

2. Pesar 3 muestras de cemento de 650g, y medir la cantidad de agua que se calculó en el paso anterior con una probeta graduada, para cada una de las muestras.

3.Mezclar la primera muestra de cemento de A/C=30%, durante unos 5 minutos, hasta formar una bola, la cual debe ser lanzada 6 veces de una mano a otra a una distancia de 150mm.

4. Colocar la pasta de cemento en el anillo por su extremo más ancho sobre el vidrio, y cortar el exceso de pasta que sobresale del extremo menor y enrasar utilizando la espátula. Durante este paso de cortado y alisado, tener cuidado de no comprimir la pasta.

5. Colocar el anillo en el aparato de Vicat y dejar caer la aguja de 10 mm durante 30 segundos. Registrar la penetración que marcó el aparato de Vicat.

6. Repetir el procedimiento desde el paso 2 con las diferentes relaciones de agua-cemento.

7. Determinar la relación A/C, mediante una gráfica con los datos del ensayo. Y procedimientos de cálculo.

4.4.2.2 Tiempo de fraguado

8. Pesar una masa de cemento de aproximadamente 650 g, en una balanza y medir el agua que se calculó con anterioridad en la determinación de la consistencia normal del cemento.

9. Mezclar hasta conseguir una pasta de cemento y amasar como en el paso 3 para conseguir una masa aproximadamente esférica, que pueda ser fácilmente insertada en el anillo de Vicat con una cantidad mínima de manipulación adicional.

10. Repetir el paso 4.

11. Colocar el molde con la pasta de cemento, en la cámara de fraguado y esperar 30 minutos.

12. Colocar el molde bajo la aguja del aparato de Vicat, de modo que esta esté en 0, y luego nivelar, centrar, soltar y observar cuanto se hunde la aguja de Vicat durante 30 segundos.

13. El procedimiento del paso 12, se repite cada 15 minutos hasta tener lecturas de penetración mayor que 25 mm (C), y menor que 25 mm (D), además registrar el tiempo transcurrido desde que el cemento entro en contacto con el agua hasta que la penetración sea mayor a 25 mm (E), y el tiempo transcurrido cuando la penetración sea menor a 25 mm (H).

14. Calcular el tiempo de fraguado inicial Vicat con una aproximación a 1 minuto, con la Ecuación 4.19:

$$\text{Fraguado inicial} = \left\{\frac{(H-E)}{(C-D)} X(C-25)\right\} + E \qquad \text{Ecuación 4.19}$$

Tiempo en minutos de la última penetración mayor que 25 mm (E).

Tiempo en minutos de la última penetración menor que 25 mm (H).

Lectura de penetración al tiempo E (C).

Lectura de penetración al tiempo H (D).

15. Repetir el paso 13, hasta observar que no exista penetración ni marcas de la aguja de Vicat, cuando esto ocurra se debe tomar 3 muestras que deben ser realizadas dentro de 90 segundos, y finalmente registrar el tiempo final de fraguado.

4.5 Elaboración de una dosificación de hormigón hidráulico por volumen: medición del asentamiento y resistencia a la compresión

4.5.1 Método de ensayo

Obtención de la muestra de hormigón

Se procederá a realizar la mezcla de hormigón con cemento hidráulico dada por la empresa Holcim Ecuador S.A.

La dosificación de hormigón por volumen según la Holcim S.A. para losas, vigas y columnas es la siguiente:

- Cemento holcim fuerte: 1 saco de 50 kg.
- Agua potable: 25 litros.
- Árido fino seco: 2 parihuelas al ras.
- Árido grueso seco: 2.5 parihuelas al ras.

Determinación del asentamiento

La muestra de hormigón recién mezclado se coloca dentro de un molde con forma de un cono truncado (cono de Abrams) y se compacta con una varilla en tres capas cada una de estas con 25 golpes. Se levanta el molde permitiendo que el hormigón se asiente. Se mide la distancia vertical entre la altura original y la del centro desplazado de la superficie superior del hormigón, luego de su deformación. Este valor se reporta como el asentamiento del hormigón.

Resistencia a la compresión

Consiste en aplicar una carga axial de compresión a los cilindros moldeados de hormigón de cemento hidráulico a una velocidad que se encuentra definida por la norma NTE INEN 1573:2010 hasta que ocurra la falla de la muestra. La resistencia a la compresión de la muestra se calcula dividiendo la carga máxima aplicada durante el ensayo para el área de la sección transversal de la misma.

4.5.2 Procedimiento de ensayo

Obtención de la muestra de hormigón

1. Dosificación dada por Holcim Ecuador S.A.

- Cemento holcim fuerte: 1 saco de 50 kg.
- Agua potable: 25 litros.
- Árido fino seco: 2 parihuelas al ras.
- Árido grueso seco: 2.5 parihuelas al ras.

Nota: Se considera parihuelas de 40x40x20 cm.

$$\text{Volumen de 1 Parihuela} = 0.032\ \text{m}^3 = 32\ \text{dm}^3$$

- Cemento holcim fuerte: 1 saco de 50 kg.
- Agua potable: 25 litros.
- Árido fino seco: 64 dm^3.
- Árido grueso seco: 80 dm^3.

2. Debido a la capacidad limitada de la concretera con la que cuenta el laboratorio se procedió a realizar la muestra de hormigón en 4 partes obteniendo la siguiente dosificación.

- Cemento holcim fuerte: 12.50 kg.
- Agua potable: 6.25 litros.
- Árido fino seco y limpio: 16 dm^3.
- Árido grueso: 20 dm^3.

3. Verificar que los equipos necesarios se encuentren en condiciones aceptables de limpieza y funcionamiento. Verter una pequeña cantidad de agua de la especificada en la dosificación para humedecer el tambor de la concretera. Después se agrega el árido grueso seco previamente medido en los recipientes graduados en dm^3.

4. Se agrega toda la cantidad de cemento Holcim establecido en la dosificación y a continuación se agrega la arena de igual forma medida en los recipientes (dm^3) y el resto de agua paulatinamente; inclinar la concretera para obtener una mejor mezcla del hormigón, por un período de 3 minutos.

5. Finalmente se procederá a verter el hormigón tanto en el cono de Abrams para determinar el asentamiento de la muestra, como en los cilindros para las muestras del ensayo de resistencia a la compresión.

Determinación del asentamiento

La determinación del asentamiento se debe realizar en un período de 2 ½ minutos, desde el inicio del llenado hasta la remoción del molde.

6. Humedecer el cono de Abrams e inmediatamente llenar el molde en tres capas, cada una de aproximadamente un tercio del volumen del molde.

7. Compactar cada capa con 25 golpes, utilizando la varilla de compactación y distribuir, de manera uniforme, los golpes sobre la sección transversal de cada capa.

8. Compactar la capa inferior en toda su profundidad. Compactar la segunda capa y la capa superior, cada una en toda su profundidad, de tal manera que los golpes apenas penetren en la capa anterior.

9. Después de haber compactado la capa superior, enrasar la superficie del hormigón rodando la varilla de compactación sobre el borde superior del molde. Continuar presionando el molde firmemente hacia abajo y retirar el hormigón del área que rodea la base del molde.

10. De inmediato retirar el molde del hormigón levantándolo cuidadosamente en dirección vertical, con un movimiento ascendente uniforme y sin movimientos laterales.

11. Inmediatamente medir el asentamiento determinando la diferencia vertical entre la parte superior del molde y el centro original desplazado de la superficie superior de la muestra.

Resistencia a la compresión

12. Colocación del espécimen. Limpiar las caras de contacto de los bloques superior e inferior y del espécimen de ensayo y colocar el espécimen de ensayo sobre el bloque de carga inferior. Cuidadosamente alinear el eje del espécimen con el centro de carga del bloque de carga superior.

13. Verificación del ajuste a cero y asentamiento del bloque. Previo al ensayo del espécimen, verificar que el indicador de carga esté ajustado a cero.

14. Velocidad de carga. Aplicar la carga continuamente y sin impacto. La carga debe ser aplicada a una velocidad de movimiento correspondiente a una velocidad de esfuerzo sobre la muestra cilíndrica de 0,25 ± 0,05 MPa/s (150 kgf/cm²/min).

Aplicar la carga de compresión hasta que el indicador de carga muestre que está decreciendo constantemente y la muestra genere un patrón de fractura bien definido.

15. Registrar la carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo y calcular la resistencia a la compresión del espécimen dividiendo la carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo, para el promedio del área de la sección transversal.

$$\text{Resistencia a la Compresíon} = \frac{\text{Carga máxima soportada}}{\text{Seccion transversal}} \qquad \text{Ecuación 4.20}$$

Cuando se ha solicitado, calcular la densidad del espécimen con una aproximación de 10 kg/m³, utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Densidad} = \frac{W}{V} \qquad \text{Ecuación 4.21}$$

Dónde:

W= masa del espécimen en kg.

V= volumen del espécimen, calculado a partir del diámetro y longitud promedio.

CONCLUSIONES

Con la realización de este trabajo de titulación, se elaboraron las guías metodológicas para los ensayos de laboratorio de la asignatura de Materiales de Construcción, utilizando las normas NTE INEN correspondientes a cada ensayo.

Mediante la realización de cada uno de los ensayos de laboratorio se pudo obtener las siguientes guías metodológicas:

Guía metodológica Nº 1. Granulometría de los áridos para hormigones y determinación del porcentaje de material menor que 75 µm.

Guía metodológica Nº 2. Densidades y absorción de los áridos fino y grueso.

Guía metodológica Nº 3. Densidad específica del cemento.

Guía metodológica Nº 4. Determinación de la consistencia normal y el tiempo de fraguado inicial y final del cemento. Método de Vicat.

Guía metodológica Nº 5. Elaboración de una dosificación de hormigón hidráulico por volumen: medición del asentamiento y resistencia a la compresión.

En cada uno de los ensayos se identificaron detalles que pueden provocar errores en los resultados, todo lo cual se consideró al momento de la redacción de las guías metodológicas, a fin de obtener una mejor comprensión por parte de los estudiantes.

Las guías metodológicas obtenidas están acorde a las condiciones y equipos existentes en el laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay, pudiendo en un futuro incrementarse el número de guías si se diera una ampliación del laboratorio e innovación de los equipos.

BIBLIOGRAFÍA

Alaejos P., Fernández M. 1996. High-performance concrete: requirements for constituent materials and mix proportioning. ACI Materials journal,"

Alexander M. 1996. Aggregates and the deformation properties of concrete. ACI Materials journal,"

Chan Yam, J., & Solís Carcaño, R., & Moreno, É. 2003. Influencia de los agregados pétreos en las características del concreto. México.

Cetin A., Carrasquillo R. 1998. High-performance concrete: influence of coarse aggregates on mechanical properties. ACI Materials journal

Dominguez, J. G. 2016. Materiales de Construccion. Monterrey, Mexico: Instituto tecnológico y de estudios superiores de Monterrey.

Gonnerman, H. F. y Shuman, E. C. 1928 Flexure and tension tests of plain concrete. Report to the Chief. Research estudios and Development Laboratories of the Portland Cement Association. Washington.

Holcim Ecuador S.A. 2014. Dosificación de los materiales y rendimiento de acuerdo al uso. Elaboración de un hormigón con cemento holsim fuerte.

Issa S.A., Islam M.S., Issa Ma.A., Yousif A.A., Issa Mo.A. 2000. Specimen and aggregate size effect on concrete compressive strength. Cement, concrete and aggregates.

Kosmatka S., Panarese W. 1992. Diseño y control de mezclas de concreto, and aggregates. IMCYC, México.

Gutiérrez de Lopez, G. 2003. El concreto y otros materiales para la construcción. Colombia: Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.

Mehta K., Monteiro P. 1998. Concreto, estructura, propiedades y materiales. IMCYC, México.

Neville, A. 1999. Tecnología del Concreto. 1ª edición IMCYC, México.

NTE INEN 156. Cemento hidraulico. Determinacion de la densidad. Normalización, I. E. 2009. Norma Técnica Ecuatoriana. Quito, Ecuador.

NTE INEN 157. Cemento hidráulico. Determinación de la consistencia normal. Método de vicat. Normalización, I. d. 2009. Norma Técnica Ecuatoriana. Quito, Ecuador.

NTE INEN 158. Cemento hidráulico. Determinación del tiempo de fraguado. Método de vicat. Normalización, I. E. 2009. Norma Técnica Ecuatoriana. Quito, Ecuador.

NTE INEN 696. Áridos. Análisis granulometrico de los áridos. Fino y grueso. Normalización, I. E. 2011. Norma Técnica Ecuatoriana. Quito, Ecuador.

NTE INEN 697. Áridos. Determinación del material más fino que pasa el tamiz con aberturas de 75µm (n° 200) mediante lavado. Normalización, I. E. 2010. Norma Técni Ecuatoriana. Quito, Ecuador.

NTE INEN 856. Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorcíon del árido fino. Normalización, I. E. 2010. Norma Técnica Ecuatroriana. Quito, Ecuador.

NTE INEN 857. Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorcíon del árido grueso. Normalización, I. E. 2010. Norma Técnica Ecuatoriana. Quito, Ecuador.

NTE INEN 1573. Hormigón de cemento hidráulico. Resistencia a la comprecíon de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico. Normalización., I. E. 2010. Norma Técnica Ecuatoriana. Quito, Ecuador.

NTE INEN 1578. Hormigón de cemento hidráulico. Determinación del asentamiento. Normalización, I. E. 2010. Norma Técnica Ecuatoriana. Quito, Ecuador.

Palbol L. (1996). Optimización de los agregados para concreto. “Construcción y tecnología,”. México.

Powers, T. 1947. A Discussion of Cement Hydration in Relation to the Curing of Concrete. Research and Development Laboratories of the Portland Cement Association, Bulletin. Washington.

Solis Carcaño R., Moreno E. 2005. Influencia del curado húmedo en la resistencia a la compresión del concreto en clima cálido subhúmedo. Artículo de investigaciñon. Universidad autónoma del estado de Mexico.

Uribe R. 1991. El control de calidad en los agregados para concreto 3ª parte. Construcción y tecnología. México.

ANEXO 1
PRÁCTICA DE LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
GUÍA METODOLÓGICA Nº 1
GRANULOMETRÍA DE LOS ÁRIDOS PARA HORMIGONES Y DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE MATERIAL MENOR QUE 75 µm (TAMIZ N° 200)

INTRODUCCIÓN

El término granulometría se refiere a la distribución de los tamaños de partículas del agregado. Este factor tiene una gran influencia sobre el comportamiento del hormigón en cuanto a la facilidad de mezclado, transporte, colocación y compactación. En los agregados utilizados en hormigón, se pueden distinguir dos tipos de granulometría:

Granulometría continua: Cuando aparecen partículas de diferentes tamaños.

Granulometría discontinua: Cuando se omiten ciertos tamaños de partículas.

En el hormigón se emplean partículas de agregado a partir de un tamaño de 0.1mm o menos, hasta un tamaño de agregado grueso compatible con el tipo de elemento a construir (Refuerzo que tenga este elemento, método de colocación, etc). En el hormigón se utilizan por lo general, áridos con un tamaño máximo de que no rebasen los 76mm (3¨). En Cuenca el tamaño máximo del agregado que se utiliza en plantas de premezclado es de ¾¨ (19.1mm).

Convencionalmente los agregados se han clasificado en: áridos finos (arena) son aquellos que están formados fundamentalmente por partículas menores que 4.76mm, es decir pasan el tamiz número 4, y áridos gruesos (piedras) son aquellos formados por partículas fundamentalmente mayores que estos tamaños (se retienen en el tamiz N° 4).

El ensayo granulométrico se lo realiza para determinar la granulometría del agregado y consiste en pasar una muestra del mismo, lavada y secada hasta alcanzar una masa constante, a través de un conjunto de tamices normalizados, pesando posteriormente la cantidad retenida en cada uno de ellos.

Los tamices normalizados son aquellos cuya abertura de tamices consecutivos están dadas por una relación constante; por ejemplo, cada tamiz tiene doble abertura que el siguiente de abertura menor. (Ver tabla 1).

Tabla 1: Abertura de los tamices normados por la serie ASTM, utilizados en Ecuador.

Tamiz	3¨	1½¨	¾¨	⅜¨	N°4	N°8	N°16	N°30	N°50	N°100
Abertura de la malla en mm	76.2	38.1	19.1	9.52	4.76	2.38	1.19	0.59	0.297	0.149

Fuente: (Gómez Domínguez J. Materiales de construcción Capitulo 7.Página 64)

Además de estos tamices normados se utilizan para la granulometría de los agregados, los tamices de ½¨ (12.7mm); 1¨ (25.4mm); 2¨ (50.8mm); 2½¨ (63.5mm) y 3½¨ (88.9mm).

OBJETIVO

Determinar la distribución granulométrica de las partículas de áridos, fino y grueso, por tamizado, así como la cantidad del material que pasa el tamiz N°200, después del lavado del agregado.

DOCUMENTOS DE REFERENCIA

NTE INEN 696-2011. ÁRIDOS. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN LOS ÁRIDOS, FINO Y GRUESO.

NTE INEN 697-2010. ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DEL MATERIAL MÁS FINO QUE PASA EL TAMIZ CON ABERTURAS DE 75µm (N° 200) MEDIANTE LAVADO.

ALCANCE

Este método de ensayo se utiliza para determinar la granulometría de materiales pétreos sueltos, cuyo propósito es utilizarlos como áridos para hormigones.

Esta guía posee instrucciones para el análisis granulométrico de áridos que contienen mezclas de fracciones finas y gruesas.

Se incluye el procedimiento para determinar el material pasante del tamiz N°200, mediante lavado.

MÉTODO DE ENSAYO

Las partículas componentes de una muestra de agregados finos y gruesos, necesaria para la elaboración de un elemento de hormigón, debe estar en condiciones secas y de masa conocida. La muestra es separada por tamaños, haciéndola pasar a través de una serie de tamices de aberturas ordenadas de forma descendente. Las masas de las partículas mayores a las aberturas de la serie de tamices utilizados, expresado en porcentaje de la masa seca inicial, permite determinar la distribución del tamaño de las partículas.

Para el caso del lavado utilizaremos agua potable. El agua de lavado decantada, que contiene material en suspensión y materia disuelta, se pasa a través de un tamiz de 75µm (No. 200). Se seca el material lavado y se calcula la pérdida de masa seca resultante del tratamiento de lavado, como un porcentaje de la masa de la muestra original y se informa como el porcentaje de material más fino que 75µm (Nº. 200) mediante lavado.

TERMINOLOGÍA

Tamaño máximo de la partícula. Abertura del tamiz inmediato superior a aquel tamiz en el cual el porcentaje retenido acumulado es igual o mayor a 15% (tamices normados y no normados).

EQUIPO

Figura1: Equipos necesarios para la realización del ensayo.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

1. Balanzas. La balanza utilizada en el ensayo debe tener una precisión de 1g.

2. Tamices. Los tamices que utilizaremos son los de 8 pulgadas (203.2mm) de diámetro, que se disponen en el laboratorio.

3. Agitador de tamices mecánico. Es un dispositivo de tamizado mecánico. El tiempo a utilizar el agitador mecánico será no mayor a 10 minutos, ya que se puede degradar la muestra.

4. Horno. Un horno de tamaño adecuado, capaz de mantener una temperatura uniforme de 110°C ± 5°C.

5. Recipiente. Con un tamaño suficiente para contener la muestra cubierta con agua.

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

1. Teniendo en cuenta que en Cuenca el tamaño máximo del árido grueso es de ¾¨ (19.1mm), tomaremos para este ensayo de granulometría, una muestra en la que todos los áridos pasen el tamiz de 1¨ (25.4mm).

2. El tamaño de la muestra que utilizaremos es de 5000g, constituido por árido grueso [retenido en el tamiz Nº4 (4.75mm)] y árido fino [pasante en el tamiz Nº4 (4.75mm) y retenido en el tamiz Nº200 (0.075mm)], en diferentes proporciones.

3. Secar la muestra húmeda, de aproximadamente 5000 g, en el horno hasta conseguir una masa constante, a una temperatura de 110 °C ± 5°C. Determinar la masa seca de la muestra con una aproximación de 1g (masa seca original de la muestra, B).

4. Después del secado y de la determinación de la masa, colocar la muestra en el recipiente y agregar suficiente cantidad de agua hasta cubrirla. Agitar la muestra vigorosamente para dar lugar a la separación completa de todas las partículas más finas que 75 μm adheridas a las partículas más gruesas, para llevar el material fino a suspensión. Inmediatamente verter el agua de lavado, que contiene los sólidos suspendidos y disueltos, sobre el arreglo de tamices, organizado con el tamiz más grueso en la parte superior. Evitar en la medida de lo posible, la decantación (método físico para la separación de mezclas) de las partículas gruesas de la muestra.

5. Añadir una segunda carga de agua a la muestra en el recipiente, agitar y decantar como se indicó anteriormente. Repetir esta operación hasta que el agua de lavado no esté turbia.

6. Colocar en un recipiente todo el material de la muestra lavada, retenida en el arreglo de tamices. Secar en el horno el árido lavado hasta conseguir una masa constante, a temperatura de 110 °C ± 5 °C y determinar la masa con una aproximación de 1g (masa seca de la muestra lavada, C).

7. Seleccionar los tamices necesarios y adecuados que cubran los tamaños de las partículas del material a ensayarse, colocados de mayor a menor abertura.

8. Verter el material que constituye la muestra seca después de lavado (C), a través del juego de tamices seleccionados, moviendo los mismos manualmente a fin de lograr que las partículas desciendan y no se acumulen en un tamiz.

9. Colocar el juego de tamices en el agitador mecánico durante 5 minutos.

10. Determinar las masas de la muestra seca retenida en cada tamiz, con una precisión de 1 g. Girar las partículas retenidas en los tamices, si es necesario a fin de determinar si van a pasar a través de una abertura particular. No se debe forzar a las partículas a pasar a través de una abertura.

11. La masa seca total del material después del tamizado debe ser similar a la masa de la muestra seca colocada sobre los tamices (C). Si las cantidades difieren en más del 0.3%, respecto a la masa de la muestra seca colocada sobre los tamices (C), los resultados no deben ser utilizados con fines de aceptación.

12. Con los valores del paso 8 hay que calcular la masa seca de la muestra retenida acumulada en cada tamiz, el porcentaje retenido acumulado en cada tamiz con relación a la masa seca original de la muestra. Después restándole de 100 el porcentaje retenido acumulado en cada tamiz se obtiene el porcentaje que pasa por cada tamiz, que permite obtener la curva granulométrica en una representación semilogarítmica (porcentaje que pasa vs tamaño de la partícula mm).

Para calcular el porcentaje de material que pasa el tamiz de 75 µm (No. 200), se lo realiza de la siguiente manera:

$$A = \frac{B - C}{B} \times 100$$ Ecuación 1.

Dónde:

A = porcentaje de partículas menores de 75 µm.

B = masa seca original de la muestra, g

C = masa seca de la muestra luego del lavado, g

EJEMPLO PRÁCTICO

1. Tomar la muestra húmeda de aproximadamente 5000g, constituido por árido grueso [retenido en el tamiz Nº4 (4.75mm)] y árido fino [pasante en el tamiz Nº4 (4.75mm) y retenido en el tamiz Nº200 (0.075mm)], que va a ser ensayada, y secarla en el horno a 110°C ± 5°C como se indica en la figura 2, durante 24 horas.

Figura 2: Muestra de árido secado en el horno por 24 horas.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

2. Después del secado de la muestra, se procede a determinar la cantidad de aproximadamente 5000 g para el ensayo. Determinar la masa seca antes de lavado **(B).** (Ver figura 3)

Figura 3: Muestra necesaria del árido para la realización del ensayo.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

3. Colocar la muestra seca en el recipiente y agregar suficiente cantidad de agua hasta cubrirla. Agitar la muestra vigorosamente, para dar lugar a la separación completa de todas las partículas más finas que 75 μm adheridas a las partículas más gruesas y para llevar el material fino a suspensión en el agua como se indica en la figura 4.

Figura 4: Separación de las partículas para llevarlas a la suspensión en el agua.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

4. Verter el agua de lavado que contiene los sólidos suspendidos y disueltos sobre el arreglo de tamices, organizado con el tamiz más grueso en la parte superior, para proteger a los tamices más finos y el tamiz Nº200 en la parte inferior. (Ver figura 5)

Figura 5: Vertido del agua con las partículas en suspensión.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

5. Añadir una segunda carga de agua a la muestra en el recipiente, agitar y decantar como se indicó anteriormente. Repetir esta operación hasta que el agua de lavado no esté turbia.

6. Regresar al recipiente todo el material retenido en cada tamiz de la muestra lavada y secar en el horno a 110°C ± 5°C, hasta conseguir una masa constante.

7. Se determina la masa seca después del lavado (C) y se procede a realizar el ensayo de granulometría**.** (Ver figura 6)

Figura 6: Masa seca después del lavado.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

8. Seleccionar los tamices necesarios y adecuados que cubran los tamaños de las partículas del material a ensayarse. Ordenar los tamices en forma descendente según el tamaño de su abertura como se indica en la figura 7.

Figura 7: Tamices necesarios para la realización del ensayo.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

9. Agitar los tamices manualmente o por medio de aparatos mecánicos durante un período suficiente (Aproximadamente 5 minutos). Girar las partículas, si es necesario, a fin de determinar si van a pasar a través de una abertura particular. (Ver figura 8)

Figura 8: Tamizado mecánico de la muestra de árido.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

1**0.** Luego del tamizado se procede a determinar las masas retenidas en cada tamiz como se indica en la figura 9. La masa total del material después del tamizado debe ser similar a la masa seca después del lavado. No se debe forzar a las partículas para pasar a través de una abertura.

Figura 9: Determinación de las masas retenidas en cada tamiz.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

Nota: En la ficha de laboratorio a continuación se muestran los cálculos a partir de los resultados obtenidos.

GUÍA METODOLÓGICA Nº 1. FICHA DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD DEL AZUAY

MATERIA : MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
PRÁCTICA DE LABORATORIO Nº 1
GRANULOMETRÍA DE LOS ÁRIDOS PARA HORMIGONES Y DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE MENOR QUE 75 µm

GRUPO: **FECHA:**

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

TAMIZ (malla cuadrada)		MASA RETENIDA		PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA
		PARCIAL	ACUMULADO		
PULGADAS	mm.	g	g	%	%
3"	76.20	0	0	0.00	100.00
2 ½"	63.50	0	0	0.00	100.00
2"	50.80	0	0	0.00	100.00
1½"	38.10	0	0	0.00	100.00
1"	25.40	0	0	0.00	100.00
3/4"	19.10	1335	1335	26.70	73.30
1/2"	12.70	965	2300	46.00	54.00
3/8"	9.52	79	2379	47.58	52.42
N°4	4.76	67	2446	48.92	51.08
N°8	2.38	165	2611	52.22	47.78
N°16	1.19	381	2992	59.84	40.16
N°30	0.59	851	3843	76.86	23.14
N°50	0.297	758	4601	92.02	7.98
N°100	0.149	258	4859	97.18	2.82
N°200	0.075	80	4939	98.78	1.22

MASA SECA ANTES DE LAVADO (B) 5000 g
MASA SECA DESPUÉS DE LAVADO (C) 4939 g

A = porcentaje de partículas menores de 75 µm.

$$A = \frac{B - C}{B} \times 100$$

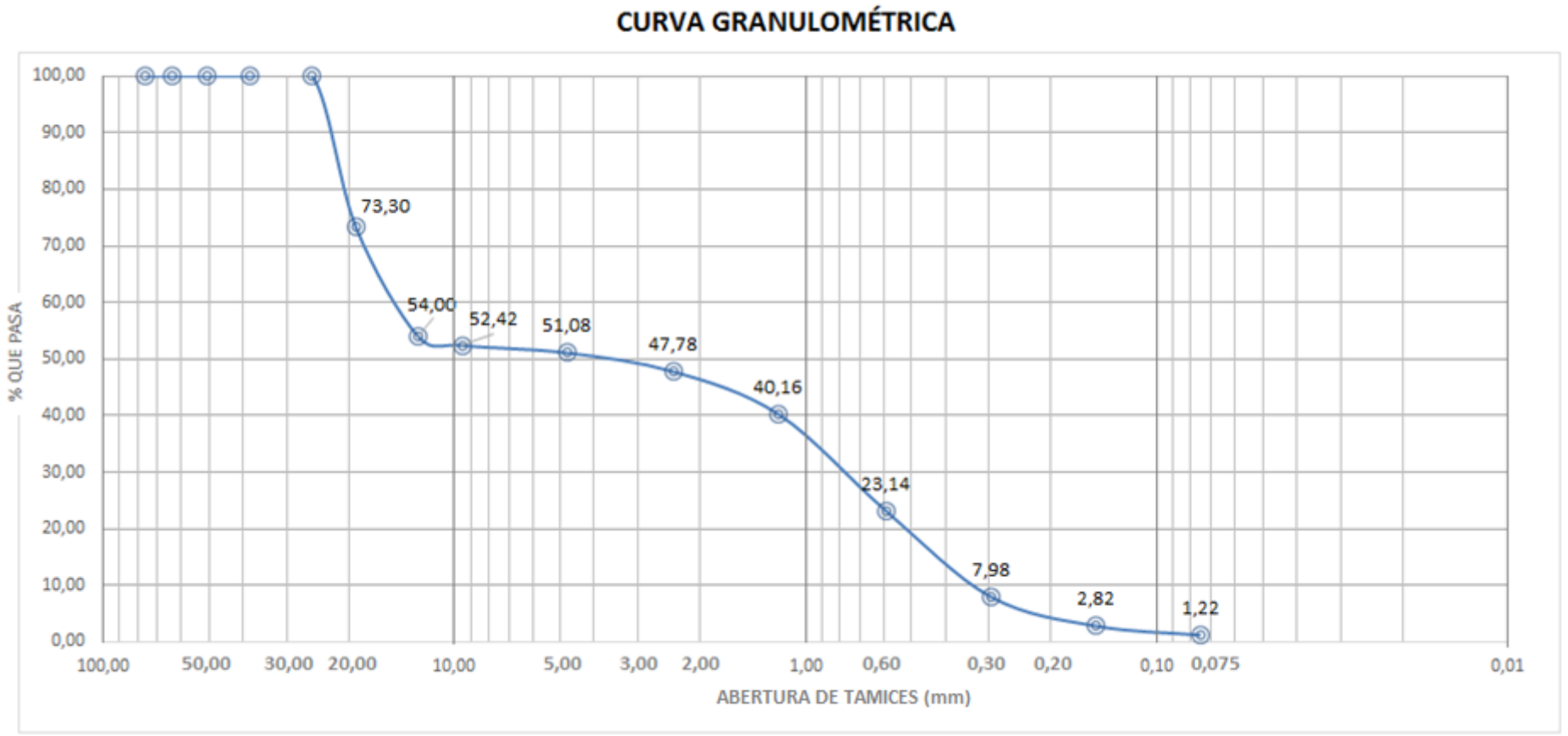
$$A = \frac{5000-4939}{5000}$$

$$A = 1.22\%$$

OBSERVACIONES:

Al realizar el análisis granulométrico se determinó que el porcentaje de material pasante del tamiz Nº200 (0,075 mm) es 1,22%, en relación a la muestra seca antes de lavado.

GUÍA METODOLÓGICA Nº 1



ANEXO 2

PRÁCTICA DE LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

GUÍA METODOLÓGICA Nº 2

DENSIDADES Y ABSORCIÓN DE LOS ÁRIDOS FINO Y GRUESO

INTRODUCCIÓN

En el presente ensayo se procederá a determinar las densidades y absorción para el árido grueso (piedras), partículas que se retienen en el tamiz Nº4 (4.76 mm) y para el árido fino (arena), partículas que pasan el tamiz Nº4 (4.76 mm).

La densidad es una propiedad física de todos los materiales, definida como su masa dividida para su volumen. Podemos decir que las partículas de los áridos tienen poros permeables e impermeables y que los poros permeables pueden estar vacíos, parcialmente saturados o completamente saturados de agua, generando así una serie de estados de humedad y densidad. Este método de ensayo se aplica para la determinación de la densidad promedio en una muestra de árido (sin incluir el volumen de vacíos entre partículas), la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del árido. La absorción de los áridos se define como el incremento en la masa del árido debido al agua que se aloja en los poros permeables de las partículas, sin incluir el agua adherida en la superficie exterior de las partículas, expresado como un porcentaje de la masa seca.

OBJETIVO

Establecer el método de ensayo para determinar: la densidad, la densidad relativa (Gravedad específica) y la absorción del árido fino y grueso.

DOCUMENTOS DE REFERENCIA

NTE INEN 856-2010. ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO FINO.

NTE INEN 857-2010. ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO GRUESO.

ALCANCE

Dependiendo del procedimiento utilizado, la densidad es expresada como: seca al horno (SH), saturada superficialmente seca (SSS) o como densidad aparente. De la misma manera, la densidad relativa (gravedad específica), una cantidad adimensional, es expresada como SH, SSS o como densidad relativa aparente (gravedad específica aparente). La densidad SH y la densidad relativa SH se determinan luego de secar el árido. La densidad SSS, densidad relativa SSS y la absorción se determinan luego de saturar el árido en agua por un período definido.

Este método de ensayo es utilizado para determinar la densidad de la porción sólida de un número grande de partículas de árido y proporcionar un valor promedio, que representa la muestra.

MÉTODO DE ENSAYO

Se sumerge en agua por 24 horas, una muestra de árido previamente secada, hasta conseguir una masa constante, con el propósito de llenar con agua sus poros. Luego, para el caso del árido fino se coloca la muestra (o parte de esta) en un recipiente graduado y se determina el volumen de la muestra por el método gravimétrico; finalmente la muestra se seca al horno y se determina nuevamente su masa. Para el árido grueso, de determina el volumen de la muestra por el método del desplazamiento de agua; finalmente la muestra se seca al horno y se determina su masa. Utilizando los valores de masa obtenidos y mediante las fórmulas de este método de ensayo, es posible calcular la densidad, la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción.

TERMINOLOGÍA

Absorción. Incremento de la masa del árido debido a la penetración de agua en los poros permeables de las partículas durante un determinado período de tiempo, sin incluir el agua adherida a la superficie externa de las partículas, se expresa como un porcentaje de la masa seca.

Seco al horno (SH). Relacionado a las partículas del árido. Condición en la cual los áridos han sido secados por calentamiento en un horno a 110 ºC ± 5 ºC por el tiempo necesario para conseguir una masa constante.

Saturado superficialmente seco (SSS). Relacionado a las partículas del árido. Condición en la cual los poros permeables de las partículas del árido se llenan con agua al sumergirlos por un determinado período de tiempo, pero sin agua libre en la superficie de las partículas.

Densidad. Masa por unidad de volumen de un material, expresada en kilogramos por metro cúbico o gramos por centímetro cúbico.

Densidad (SH). Masa de las partículas del árido, seco al horno, por unidad de volumen, incluyendo el volumen de los poros permeables e impermeables, sin incluir los vacíos entre partículas.

Densidad (SSS). Masa de las partículas del árido, saturado superficialmente seco, por unidad de volumen, incluyendo el volumen de poros impermeables y poros permeables llenos de agua, sin incluir los vacíos entre partículas.

Densidad aparente. Masa por unidad de volumen, de la porción impermeable de las partículas del árido.

Densidad relativa (gravedad específica). Relación entre la densidad de un material y la densidad del agua destilada a una temperatura determinada; los valores son adimensionales.

Densidad relativa (gravedad específica) (SH). Relación entre la densidad (SH) de los áridos y la densidad del agua destilada a una temperatura determinada.

Densidad relativa (gravedad específica) (SSS). Relación entre la densidad (SSS) de los áridos y la densidad del agua destilada a una temperatura determinada.

Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente). Relación entre la densidad aparente del árido y la densidad del agua destilada a una temperatura determinada.

EQUIPO

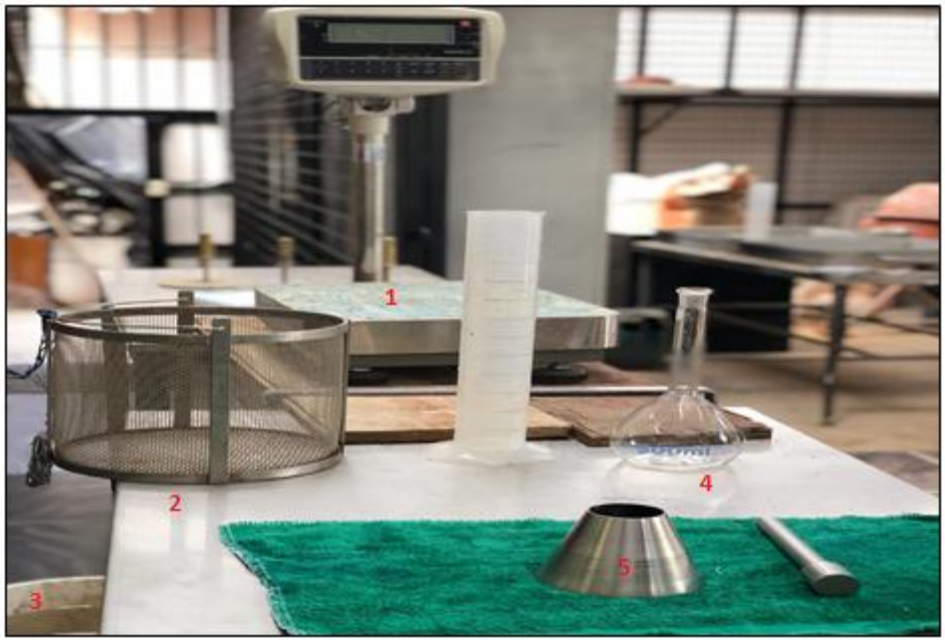


Figura 1: Equipos necesarios para la realización del ensayo, tanto para árido fino como para árido grueso.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

1. Balanzas. Para el caso del árido fino que tenga una capacidad de 1 kg o más, con una precisión de 0,01 g y para el árido grueso con una precisión de 1g.

2. Recipiente para la muestra. Canasta de alambre con una abertura de 3,35 mm (No. 6) o de malla más fina.

3. Tanque de agua. Dentro del cual se coloca el recipiente para la muestra mientras se suspende bajo la balanza.

4. Matraz. Para una muestra de ensayo de 500 g del árido más fino.

5. Molde y compactador para ensayo de humedad superficial. El molde metálico debe tener la forma de un cono truncado y con las siguientes dimensiones: 40 mm ± 3 mm de diámetro interno superior, 90 mm ± 3 mm de diámetro interno en la base y 75 mm ± 3 mm de altura; el metal debe tener un espesor mínimo de 0,8 mm. El compactador metálico debe tener una masa de 340 g ± 15 g y una cara compactadora circular y plana de 25 mm ± 3 mm de diámetro.

6. Horno. Capaz de mantener una temperatura uniforme de 110 ºC ± 5 ºC.

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

ÁRIDO GRUESO

1. Secar la muestra en el horno a una temperatura de 110 ºC ± 5 ºC, hasta conseguir una masa constante. Enfriar la muestra al aire, a temperatura ambiente, entre 1 hora a 3 horas, hasta que el árido se haya enfriado a una temperatura que sea confortable para su manipulación (aproximadamente 50 ºC); seguidamente sumergir el árido en agua a temperatura ambiente por un período de 24 horas.

2. Retirar la muestra de ensayo del agua, colocarla sobre un paño absorbente y con el mismo frotarla hasta que sea eliminada toda lámina visible de agua. Secar las partículas grandes individualmente. Se puede utilizar una corriente de aire para ayudar a la operación de secado. Evitar la evaporación de agua desde los poros del árido durante la operación de secado superficial. Determinar la masa de la muestra de ensayo en condición saturada superficialmente seca **(B)**, registrarla con una precisión de 1 g.

3. Después de determinar la masa en aire, inmediatamente colocar la muestra de ensayo saturada superficialmente seca en el recipiente para la muestra y determinar su masa aparente en agua a 23 ºC ± 2 ºC **(C)**. Remover todo el aire atrapado antes de determinar la masa, mediante la agitación del recipiente mientras se lo sumerge.

4. Secar la muestra en el horno a una temperatura de 110 ºC ± 5 ºC, hasta conseguir una masa constante. Enfriar la muestra al aire, a temperatura ambiente, entre 1 hora a 3 horas o hasta que el árido se haya enfriado a una temperatura que sea confortable para el manejo (aproximadamente 50 ºC) y determinar su masa **(A).**

5. Cálculos

Densidad relativa (gravedad específica):

$$\text{Densidad relativa (gravedad específica)(SH)} = \frac{A}{B-C} \qquad \text{Ecuación 1}$$

$$\text{Densidad relativa (gravedad específica)(SSS)} = \frac{B}{B-C} \qquad \text{Ecuación 2}$$

$$\text{Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)} = \frac{A}{A-C} \qquad \text{Ecuación 3}$$

Densidad:

$$\text{Densidad (SH)}, \frac{kg}{m^3} = \frac{997.5\ \text{A}}{\text{B}-\text{C}} \quad \text{Ecuación 4}$$

$$\text{Densidad (SSS)}, \frac{kg}{m^3} = \frac{997.5\ \text{B}}{\text{B}-\text{C}} \quad \text{Ecuación 5}$$

$$\text{Densidad aparente}, \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = \frac{997.5\ \text{A}}{\text{A}-\text{C}} \quad \text{Ecuación 6}$$

$$\text{Absorción}, \% = \frac{\text{B}-\text{A}}{\text{A}} * 100 \quad \text{Ecuación 7}$$

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

ÁRIDO FINO

1. Colocar la muestra en una bandeja o en otro recipiente apropiado y secarla en el horno a una temperatura de 110 ºC ± 5 ºC, hasta conseguir una masa constante, dejarla que se enfríe hasta una temperatura que sea confortable para su manipulación (aproximadamente 50 ºC), luego cubrirla con agua y dejar que repose por 24 horas.

2. Decantar el exceso de agua, evitando la pérdida de finos, extender la muestra sobre una superficie plana, no absorbente, expuesta a una corriente suave de aire caliente y moverla frecuentemente para asegurar un secado homogéneo y así alcanzar la condición saturada superficialmente seca (SSS).

Ensayo para determinar la humedad superficial

3. Mantener firmemente el molde sobre una superficie lisa no absorbente, con el diámetro mayor hacia abajo. Colocar en el molde en forma suelta, una porción del árido fino parcialmente seco, hasta llenarlo colocando material adicional en la parte superior manteniendo firme el molde con la mano, compactar el árido fino con 25 golpes ligeros del compactador. Cada caída debe iniciar aproximadamente a 5 mm sobre la superficie del árido. Permitir que el compactador caiga libremente.

Remover el árido fino que ha caído alrededor de la base y levantar el molde verticalmente. Si la humedad superficial todavía está presente, el árido fino mantendrá la forma del molde. Cuando el árido fino se desmorona ligeramente, ello indica que se ha alcanzado la condición de superficie seca.

Procedimiento gravimétrico (matraz)

4. Determinar la masa del picnómetro lleno hasta la marca de calibración, con agua a 23,0 °C ± 2,0 °C **(B).**

5. Llenar parcialmente el matraz con agua. Introducir en el matraz 500 g de árido fino saturado superficialmente seco **(S)** y llenar con agua adicional hasta aproximadamente el 90% de su capacidad.
Agitar el matraz manualmente: rodar, invertir y agitar el matraz para eliminar las burbujas de aire.

6. Luego de eliminar todas las burbujas de aire, ajustar la temperatura del matraz y su contenido a 23,0 °C ± 2,0 °C, si es necesario mediante inmersión parcial en agua circulante; y llevar el nivel de agua en el matraz hasta la marca de calibración. Determinar la masa total del matraz, muestra y agua **(C)**.

7. Retirar el árido fino del matraz, secarlo en el horno a una temperatura de 110 °C ± 5 °C, hasta conseguir una masa constante y enfriarlo a temperatura ambiente por 1 hora, determinar su masa **(A).**

8. Cálculos

Procedimiento gravimétrico

$$\text{Densidad relativa (gravedad específica)(SH)} = \frac{A}{B+S-C} \quad \text{Ecuación 8}$$

$$\text{Densidad relativa (gravedad específica)(SSS)} = \frac{S}{B+S-C} \quad \text{Ecuación 9}$$

$$\text{Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)} = \frac{A}{B+A-C} \quad \text{Ecuación 10}$$

$$\text{Densidad (SH)}, \frac{kg}{m^3} = \frac{997.5\ A}{B+S-C} \quad \text{Ecuación 11}$$

$$\text{Densidad (SSS)}, \frac{kg}{m^3} = \frac{997.5\ S}{B+S-C} \quad \text{Ecuación 12}$$

$$\text{Densidad aparente}, \frac{kg}{m^3} = \frac{997.5\ A}{B+A-C} \quad \text{Ecuación 13}$$

$$\text{Absorción}, \% = \frac{S-A}{A} * 100 \quad \text{Ecuación 14}$$

EJEMPLO PRÁCTICO

Muestra de árido grueso de 3000 g [retenido en el tamiz Nº4 (4.75mm)] y 1000 g de árido fino [pasante en el tamiz Nº4 (4.75mm) y retenido en el tamiz Nº200 (0.075mm)], previamente secados al horno a temperatura de $110°C \pm 5°C$, hasta conseguir una masa constante. Masas aproximadas a estos valores. (Ver figura 2).

Figura 2: Muestra de áridos previamente secados.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO PARA EL ÁRIDO GRUESO

1. Enfriar la muestra al aire, a una temperatura que sea confortable para su manipulación (aproximadamente 50 ºC); seguidamente sumergir el árido en agua a temperatura ambiente por un período de 24 horas. (Ver figura 3).

Figura 3: Muestra de árido grueso sumergido en agua.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

2. Retirar la muestra de ensayo del agua, colocarla sobre un paño absorbente y con el mismo frotarla hasta que sea eliminada toda lámina visible de agua. Secar las partículas grandes individualmente. Se puede utilizar una corriente de aire para ayudar a la operación de secado. Determinar la masa de la muestra de ensayo en condición saturada superficialmente seca, g. **(B).** Como se indica en las figuras 4 y 5.

Figura 4: Procedimiento para eliminar la humedad superficial.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

Figura 5: Masa de la muestra en condición SSS (B).

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

3. Después de determinar la masa en aire, inmediatamente colocar la muestra de ensayo saturada superficialmente seca en el recipiente para la muestra y determinar su masa aparente en agua. Remover todo el aire atrapado antes de determinar la masa mediante la agitación del recipiente mientras se lo sumerge, g. **(C)** (Ver figura 6).

Figura 6: Colocación del árido grueso saturado superficialmente seco (SSS) en el recipiente (canasta) y determinación de la masa SSS en agua.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

Nota: La diferencia entre la masa en aire y la masa en agua, es igual a la masa de agua desplazada por la muestra.

4. Secar la muestra en el horno a una temperatura de 110 ºC ± 5 ºC, hasta conseguir una masa constante. Enfriar la muestra al aire, a una temperatura que sea confortable para el manejo (aproximadamente 50ºC) y determinar su masa, g. **(A)**
(Ver figura 7 y 8).

Figura 7: Muestra de árido grueso colocada en el horno para secado.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

Figura 8: Masa de la muestra de árido grueso seca al horno.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO PARA EL ÁRIDO FINO

1. Enfriar la muestra al aire, a una temperatura que sea confortable para su manipulación (aproximadamente 50 ºC); seguidamente sumergir el árido en agua a temperatura ambiente por un período de 24 horas; lograr la saturación.

Decantar el exceso de agua, evitando la pérdida de finos. (Ver figura 9).

Figura 9: Muestra de árido fino sumergido en agua.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

2. Extraer la muestra de la bandeja y proceder a secar el agua adherida a las partículas. Lograr que el árido fino este saturado superficialmente seco (SSS). Mediante el cono truncado, con el diámetro mayor hacia abajo, colocamos en el molde en forma suelta, una porción del árido fino parcialmente seco, hasta llenarlo y compactamos el árido fino con 25 golpes ligeros del compactador. (Ver figura 10).

Figura 10: Muestra de árido fino en estado saturado superficialmente seco.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

Procedimiento gravimétrico (Matraz)

3. Determinar la masa del matraz lleno hasta la marca de calibración, con agua a 23,0 °C ± 2,0 °C, g. **(B)** (Ver figura 11).

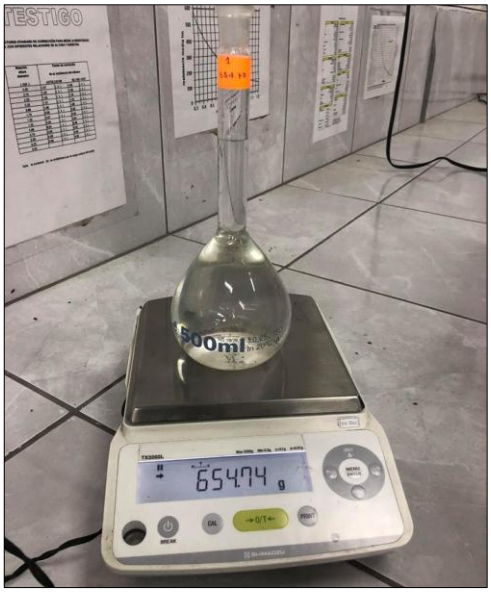


Figura 11: Matraz lleno con agua hasta la marca de calibración.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

4. Llenar parcialmente el matraz con agua. Introducir en el matraz 500 g de árido fino saturado superficialmente seco **(S)** y llenar con agua adicional hasta aproximadamente el 90% de su capacidad. Agitar el matraz de forma manual para eliminar las burbujas de aire. (Ver figura 12,13 y 14).

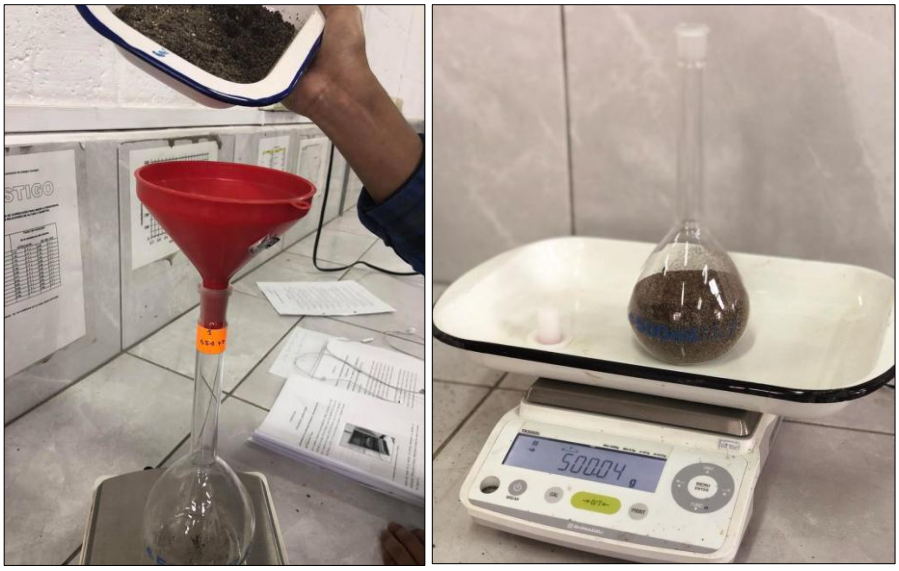


Figura 12: Masa utilizada en el proceso gravimétrico

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

Figura 13: Llenado de matraz con agua.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

Figura 14: Eliminación de burbujas visibles de aire.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

4. Luego de eliminar todas las burbujas de aire, ajustar la temperatura del matraz y su contenido a 23,0 °C ± 2,0 °C, si es necesario mediante inmersión parcial; y llevar el nivel de agua en el matraz hasta la marca de calibración. Determinar la masa total del matraz, muestra y agua, g. **(C)** (Ver figura 15 y 16).

Figura 15: Inmersión parcial (baño María).

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

Figura 16: Masa total del matraz, muestra y agua.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

5. Retirar el árido fino del matraz, secarlo en el horno a una temperatura de 110 °C ± 5 °C, hasta conseguir una masa constante y enfriarlo a temperatura ambiente por 1 h ± ½ h, determinar su masa, g. **(A)** (Ver figura 17).

Figura 17: Masa constante del matraz.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

Nota: En la ficha de laboratorio a continuación se muestran los cálculos a partir de los resultados obtenidos.

GUÍA METODOLÓGICA Nº 2. FICHA DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD DEL AZUAY

MATERIA : MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
PRÁCTICA DE LABORATORIO Nº 2
DENSIDADES Y ABSORCIÓN DE LOS ÁRIDOS FINO Y GRUESO
GRUPO:
FECHA:

ÁRIDO FINO

MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ # 4 **RETENIDO TAMIZ# 200**

Masa de muestra seca al horno	**A**	477.81 gramos
Masa del matraz lleno con agua, hasta marca de calibración	**B**	654.74 gramos
Masa del matraz lleno con muestra y agua, hasta marca de calibración	**C**	959.06 gramos
Masa de muestra SSS, para proceso gravimétrico	**S**	500.04 gramos

$$\text{Densidad relativa (gravedad específica)(SH)} = \frac{A}{B+S-C}$$ → 2.44

$$\text{Densidad relativa (gravedad específica)(SSS)} = \frac{S}{B+S-C}$$ → 2.55

$$\text{Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)} = \frac{A}{B+A-C}$$ → 2.75

$$\text{Densidad (SH)}, \frac{kg}{m^3} = \frac{997.5\ A}{B+S-C}$$ → 2435.19

$$\text{Densidad (SSS)}, \frac{kg}{m^3} = \frac{997.5\ S}{B+S-C}$$ → 2548.49

$$\text{Densidad } aparente, \frac{kg}{m^3} = \frac{997.5\ A}{B+A-C}$$ → 2747.22

$$\text{Absorción}, \% = \frac{S-A}{A} * 100$$ → 4.65

OBSERVACIONES:

GUÍA METODOLÓGICA Nº 2. FICHA DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD DEL AZUAY

MATERIA : MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
PRÁCTICA DE LABORATORIO Nº 2
DENSIDADES Y ABSORCIÓN DE LOS ÁRIDOS FINO Y GRUESO
GRUPO:
FECHA:
ÁRIDO GRUESO
MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ DE 1¨ **RETENIDO TAMIZ# 4**

Masa en el aire de la muestra secada en el horno	**A**	2900 gramos
Masa en el aire de la muestra en condición s.s.s.	**B**	3000 gramos
Masa en el agua de la muestra en condición s.s.s	**C**	1863 gramos

$\text{Densidad relativa (gravedad específica)(SH)} = \frac{A}{B-C}$	2.55
$\text{Densidad relativa (gravedad específica)(SSS)} = \frac{B}{B-C}$	2.64
$\text{Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)} = \frac{A}{A-C}$	2.80
$\text{Densidad (SH)}, \frac{kg}{m^3} = \frac{997.5\ A}{B-C}$	2544.20
$\text{Densidad (SSS)}, \frac{kg}{m^3} = \frac{997.5\ B}{B-C}$	2630.61
$\text{Densidad aparente}, \frac{kg}{m^3} = \frac{997.5\ A}{A-C}$	2789.54
$\text{Absorción}, \% = \frac{B-A}{A} * 100$	3.45

OBSERVACIONES:

ANEXO 3

PRÁCTICA DE LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

GUÍA METODOLÓGICA Nº 3

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DEL CEMENTO

INTRODUCCIÓN

El cemento Portland es el aglomerante más utilizado a nivel mundial en la construcción.

El cemento Portland fue patentado en 1824, por Joseph Aspdin y James Parker, y se lo denominó con ese nombre por que presentaba el mismo color de las piedras de la localidad de Portland, Inglaterra.

Su fabricación consiste en dosificar la materia prima (calizas y arcillas), que una vez trituradas y mezcladas se la someten a altas temperaturas, obteniéndose el denominado Clinker, que a su vez se muele con yeso y aditivos para obtener finalmente el cemento.

La fabricación se la puede resumir en los siguientes procesos: preparación, cocción, enfriamiento y finalmente molienda.

En la actualidad y dentro de la construcción, la gravedad específica del cemento se utiliza principalmente en la dosificación y control de hormigones.

La gravedad específica del cemento Portland, es la relación entre la densidad del cemento Portland a una cierta temperatura, con respecto a la densidad del agua a esa misma temperatura.

Los valores de la gravedad específica generalmente se encuentran entre 3.10 a 3.15.

La densidad del cemento se la determina mediante un ensayo de laboratorio, donde se parte de una masa de cemento conocida seca y para determinar el volumen de cemento, como no se puede utilizar agua porque esta haría fraguar al cemento, en cambio se emplea sustancias líquidas inertes, como la bencina, la parafina líquida, etc.

Si se requiere la determinación de la densidad en una muestra libre de perdidas, primero se debe calcinar la muestra.

OBJETIVO

Determinar la densidad del cemento hidráulico, mediante el método del frasco volumétrico de Le Chatelier.

DOCUMENTOS DE REFERENCIA

NTE INEN 156-2009. CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD.

ALCANCE

Este método de ensayo se relaciona con el diseño y control de mezclas de hormigón. Esta guía posee instrucciones para realizar el ensayo de determinación de la densidad del cemento.

MÉTODO DE ENSAYO

La determinación de la densidad del cemento hidráulico consiste en establecer la relación entre una masa de cemento y el volumen del líquido no reactivo, que esta masa desplaza en el frasco de Le Chatelier.

TERMINOLOGÍA

Densidad del cemento hidráulico. La densidad del cemento hidráulico está definida como la masa por unidad de volumen de los sólidos. Su unidad está dada en g/cm^3.

EQUIPO

1. **Balanza.** La balanza utilizada en el ensayo debe tener una precisión de 0.01g.
2. **Termómetro.** Termómetro graduado con divisiones de 1°C.
3. **Frasco Le Chatelier.** Un frasco normalizado que brinda exactitud y precisión para la lectura de volúmenes.
4. **Recipiente para baño maría.** Recipiente para baño de agua, equipado con una resistencia eléctrica y un termostato, capaz de mantener una temperatura constante.
5. **Reactivos y materiales.** Para la determinación de la densidad se utiliza gasolina, o nafta, y que tenga una densidad mayor que 0.73 g/cm^3 a 23°C ± 2°C.

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

1. Pesar 64 gramos (muestra seca), con una aproximación de 0.01 gramos.

2. Llenar el frasco de Le Chatelier, con gasolina, aproximadamente hasta la marca de 0 cm^3, que se encuentra en la parte baja del cuello del frasco de Le Chatelier.

3. Registrar la primera lectura del líquido (Lectura **A**) que se ha colocado en el frasco de Le Chatelier, teniendo en cuenta que la temperatura debe ser a 23°C ± 2°C.

4. Introducir toda la muestra de cemento pesada previamente, con mucho cuidado, en pequeñas porciones, evitando salpicaduras y observando que el cemento no se adhiera a las paredes del frasco.

5. Colocar el tapón y suavemente girarlo en círculos horizontales para liberar el aire, hasta que ya no suban más burbujas a la superficie del líquido.
Este procedimiento de extracción de aire se lo realiza mediante baño maría, que consiste en sumergir el frasco en un baño de agua a temperatura constante por períodos de tiempo suficientes, con el fin de evitar variaciones de temperatura en el frasco mayores a 0,2°C entre las lecturas inicial y final.

6. Registrar la lectura final del nivel del líquido que se ha desplazado (Lectura **B**).

7. Para determinar el volumen del líquido desplazado por la masa del cemento se utiliza la siguiente ecuación: (Lectura A – Lectura B).

8. Como el volumen de líquido desplazado por las partículas de cemento es igual al volumen de dichas partículas, calcular la densidad del cemento por la relación:

$$\rho\ (g/cm^3) = \frac{\text{masa del cemento (g)}}{\text{volumen desplazado } (cm^3)} \qquad \text{Ecuación 1.}$$

9. Para la dosificación y control de mezclas de hormigón, la densidad puede ser más útil, cuando se expresa como gravedad específica, que es un número adimensional. Para calcular la gravedad específica Gs, se utiliza la siguiente expresión:

$$\text{Gravedad específica (Gs)} = \frac{\text{densidad del cemento}}{\text{densidad del agua a 23°C}}$$ Ecuación 2.

La densidad del agua a 23°C es de 0.99762 gr/cm³.

EJEMPLO PRÁCTICO

1. Pesamos 64 gramos de muestra seca de cemento, en la balanza de precisión 0.01 gramos, como se indica en la figura 1.

Figura 1: Determinación de la masa de cemento (64g), en la balanza.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

2. Llenar el frasco como se indica en la figura 2, con gasolina, aproximadamente hasta la marca de 0 cm³, que se encuentra en la parte baja del cuello del frasco de Le Chatelier.

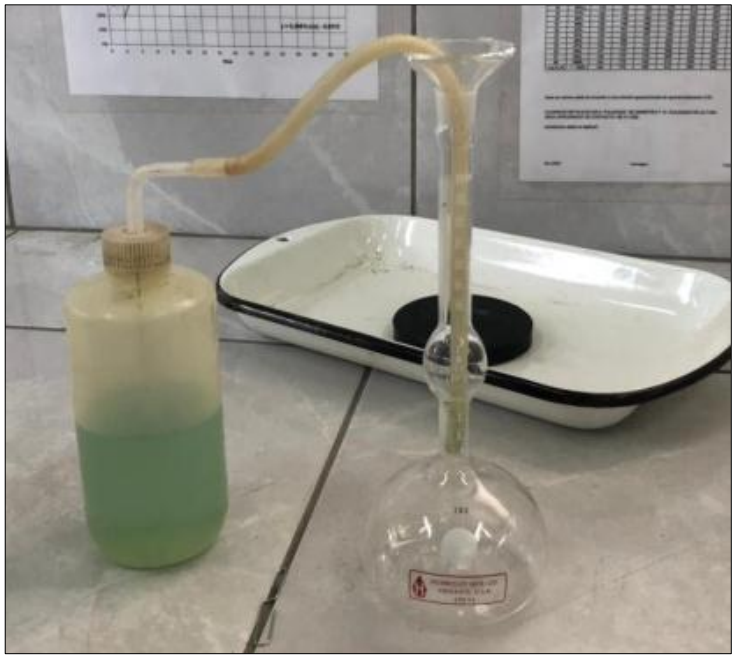


Figura 2: Llenado del frasco de Le Chatelier con gasolina, aproximadamente hasta la marca de 0 cm^3.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

3. Registrar la primera lectura del líquido (Lectura **A**) que se ha colocado en el frasco de Le Chatelier, teniendo en cuenta que la temperatura debe ser a 23°C ± 2°C.

Figura 3: Registro de la marca inicial (Lectura A) de llenado en el frasco de Le Chatelier.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

4. Introducir toda la muestra de cemento pesada previamente, como se indica en la figura 4, en pequeñas porciones, evitando salpicaduras y observando que el cemento no se adhiera a las paredes del frasco.

Figura 4: Colocación del cemento en el frasco de Le Chatelier.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

5. Colocar el tapón y suavemente girarlo en círculos horizontales para liberar el aire, hasta que ya no suban más burbujas a la superficie del líquido.

Este procedimiento de extracción de aire se lo realiza mediante baño maría, como se indica en la figura 5, que consiste en sumergir el frasco en un baño de agua a temperatura constante por períodos de tiempo suficientes, con el fin de evitar variaciones de temperatura en el frasco mayores a 0,2°C entre las lecturas inicial y final.

Figura 5: Extracción del aire, mediante baño maría.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

6. Registrar la lectura final del nivel del líquido que se ha desplazado (Lectura **B**).

Figura 6: Lectura final del líquido desplazado luego del baño maría.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

7. Determinación del volumen del líquido desplazado por la masa del cemento utilizado en el ensayo (Lectura A – Lectura B).

8. Como el volumen de líquido desplazado por las partículas de cemento es igual al volumen de dichas partículas, calcular la densidad del cemento por la ecuación 1.

9. Para la dosificación y control de mezclas de hormigón la densidad puede ser más útil, cuando se expresa como gravedad específica, que es un número adimensional. Para calcular la gravedad específica Gs, se utiliza la ecuación 2.

Nota: En la ficha de laboratorio a continuación se muestran los cálculos a partir de los resultados obtenidos.

GUÍA METODOLÓGICA Nº 3. FICHA DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD DEL AZUAY

MATERIA : MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
PRÁCTICA DE LABORATORIO Nº 3
DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DEL CEMENTO
GRUPO: **FECHA:**

Masa del cemento (g)	64.30
Temperatura (ºC)	23.00
Lectura A (ml)	0.00
Lectura B (ml)	21.30

VOLUMEN DESPLAZADO:

$$\text{Volumen desplazado} = \text{lectura B} - \text{lectura A}$$

21.30

DENSIDAD DEL CEMENTO:

$$\rho\ (g/cm^3) = \frac{\text{masa del cemento (g)}}{\text{volumen desplazado } (cm^3)}$$

3.02

GRAVEDAD ESPECÍFICA:

$$\text{Gravedad específica (Gs)} = \frac{\text{densidad del cemento}}{\text{densidad del agua a 23°C}}$$

3.03

Nota: Densidad del agua a 23 ^{0}C es de 0,99762 g/cm³

OBSERVACIONES:

El líquido utilizado para la realización del ensayo es gasolina ecopais.

ANEXO 4
PRÁCTICA DE LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
GUÍA METODOLÓGICA N° 4
DETERMINACIÓN DE LA CONSISTENCIA NORMAL Y TIEMPOS DE FRAGUADO INICIAL Y FINAL DEL CEMENTO. MÉTODO DE VICAT

INTRODUCCIÓN

Al elaborar un hormigón o mortero, la cantidad de agua usada en la mezcla con el cemento puede afectar su laborabilidad, que se refiere a la facilidad con la que puede realizarse un proceso de fabricación de hormigón.

Para realizar una correcta mezcla del agua con el cemento, se debe determinar su consistencia normal que consiste en hallar la relación agua-cemento, en la cual la aguja de VICAT de 10mm de diámetro, penetra 10mm en 30 segundos en una pasta de cemento de masa conocida. Para encontrar la relación agua-cemento (A/C), se lo debe realizar mediante un proceso de interpolación.

El resultado de los ensayos de consistencia normal expresados en porcentaje, entregan la masa de agua requerida para obtener dicha plasticidad dividida para la masa de cemento; es decir se encuentra la relación agua-cemento (A/C).

Los tiempos de fraguado del cemento son importantes para el constructor, debido a que estos sirven para poder programar el transporte, colocación y compactación de las mezclas de cemento en las obras.

Para determinar el tiempo de fraguado inicial y final se utiliza la aguja de VICAT de 1mm de diámetro.

El tiempo de fraguado inicial es cuando la aguja de VICAT de 1mm de diámetro penetra en una masa de cemento y agua con consistencia normal, la cantidad de 25mm en 30 segundos.

El tiempo de fraguado final es cuando la aguja de VICAT de 1mm de diámetro no penetra en la masa de cemento ni deja señal alguna.

El tiempo de fraguado del cemento depende de tres factores:

- Tipo y composición del cemento.
- Relación agua/cemento.
- Condiciones ambientales.

OBJETIVO

Establecer el método de ensayo para determinar la consistencia normal del cemento (relación agua-cemento).
Establecer el método de ensayo para determinar el tiempo de fraguado del cemento hidráulico por medio de la aguja de Vicat.

DOCUMENTOS DE REFERENCIA

NTE INEN 157:2009. CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DE LA CONSITENCIA NORMAL. MÉTODO DE VICAT.
NTE INEN 158:2009. CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE FRAGUADO. MÉTODO DE VICAT.

ALCANCE

Este método de ensayo proporciona un medio para determinar el cumplimiento con un límite especificado para tiempo de fraguado Vicat. El tiempo de fraguado medido por este método no necesariamente proporciona los mismos resultados que el tiempo de fraguado de la pasta de cemento hidráulico medido por otros métodos, o el tiempo de fraguado del mortero u hormigón.
Advertencia. Las mezclas frescas de cemento hidráulico pueden producir quemaduras químicas a la piel y a los tejidos por exposición prolongada. Es recomendable el uso de guantes, mandiles y protección para los ojos. En caso de contacto lavar el área con abundante cantidad de agua, lavar los ojos por un mínimo de 15 minutos.

MÉTODO DE ENSAYO

La determinación de la consistencia normal del cemento hidráulico, se basa en la resistencia que opone la pasta de cemento a la penetración de la varilla del aparato de Vicat en un tiempo normalizado.
La determinación de los tiempos de fraguado del cemento, se realiza utilizando pastas de cemento hidráulico de consistencia normal, preparadas con anterioridad, las

que se mantienen en un cuarto de curado donde inicia el proceso de fraguado. Se realizan penetraciones periódicas en la pasta utilizando la aguja de Vicat de 1 mm de diámetro. El tiempo de fraguado inicial Vicat, es el tiempo transcurrido entre el contacto inicial del cemento con el agua y el instante en el cual la penetración medida o calculada es de 25 mm. El tiempo de fraguado final Vicat, es el tiempo transcurrido entre el contacto inicial del cemento con el agua y el instante en el cual la aguja no deja una impresión circular completa en la superficie de la pasta.

EQUIPO

Aparato de Vicat. El aparato de VICAT para esta norma debe tener una varilla removible, con una masa de 300 g ± 0,5 g. Para el ensayo de consistencia normal se utiliza la aguja de Vicat de diámetro de 10mm (izquierda), y para el ensayo de tiempo de fraguado se utiliza la aguja de Vicat de diámetro de 1,00mm ± 0,05mm y una longitud no menor a 50mm (derecha).

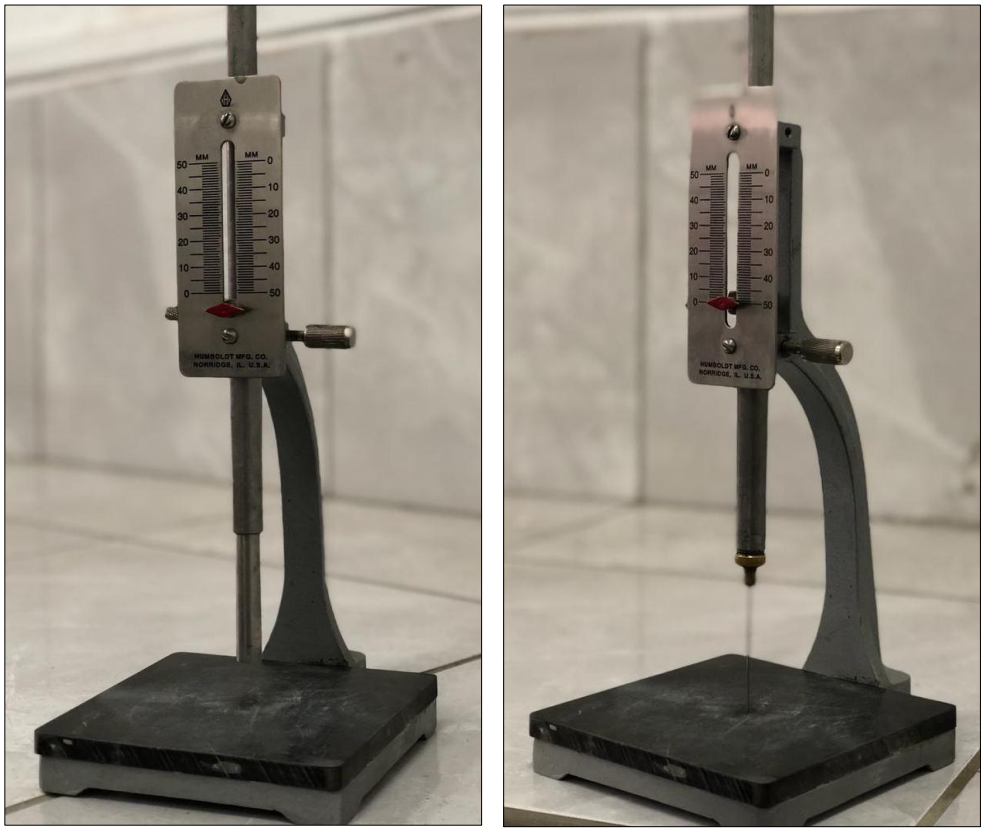


Figura 1: Agujas de VICAT(Izquierda diámetro de 10mm, derecha diámetro de 1mm).
Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

Balanza. Balanza con una capacidad de 1 kg o más, con una precisión de 0,01 g.

Vasos graduados.

Vidrio cuadrado, de 100 mm ± 5 mm por lado.

Espátula plana. Para enrazar.

Cono truncado. Fabricado de un material rígido, no corrosible, no absorbente, debe tener una altura de 40 mm ± 1 mm, un diámetro interior en la parte inferior de 70 mm ± 3 mm, y un diámetro interior en la parte superior de 60 mm ± 3 mm.

Mezclador, tazón y paleta.

Figura 2: Equipos utilizados para el ensayo de tiempo de fraguado del cemento.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

CONSISTENCIA NORMAL

1. Imponerse una relación agua-cemento, como por ejemplo: A/C=30%; A/C=35%; A/C=40%, y calcular la cantidad de agua necesaria en cada relación A/C utilizando la Ecuación 1.

$$\mathrm{C}\ (a/c) = \frac{Ma}{\mathrm{Mc}}\, x\ 100 \qquad \text{Ecuación 1.}$$

C = Consistencia normal en porcentaje (relación agua-cemento).

Ma = Masa de agua en g.

Mc = Masa de cemento en g.

2. Pesar 3 muestras de cemento de 650g, y medir la cantidad de agua que se calculó en el paso anterior con una probeta graduada, para cada una de las muestras.

3. Mezclar la primera muestra de cemento de A/C=30%, durante unos 5 minutos, hasta formar una bola, la cual debe ser lanzada 6 veces de una mano a otra a una distancia de 150mm.

4. Colocar la pasta de cemento en el anillo por su extremo más ancho sobre el vidrio, y cortar el exceso de pasta que sobresale del extremo menor y enrasar utilizando la espátula. Durante este paso de cortado y alisado, tener cuidado de no comprimir la pasta.

5. Colocar el anillo en el aparato de Vicat y dejar caer la aguja de 10 mm durante 30 segundos. Registrar la penetración que marcó el aparato de Vicat.

6. Repetir el procedimiento desde el paso 2 con las diferentes relaciones de agua-cemento.

7. Determinar la relación A/C, mediante una gráfica y un análisis numérico (interpolación), con los datos obtenidos del ensayo.

TIEMPO DE FRAGUADO

8. Pesar una masa de cemento de aproximadamente 650g en una balanza y medir el agua que se calculó con anterioridad en la determinación de la consistencia normal del cemento.

9. Mezclar hasta conseguir una pasta de cemento y amasar como en el paso 3 para conseguir una masa aproximadamente esférica, que pueda ser fácilmente insertada en el anillo de Vicat con una cantidad mínima de manipulación adicional.

10. Repetir el paso 4.

11. Colocar el molde con la pasta de cemento, en la cámara de fraguado y esperar 30 minutos.

12. Colocar el molde bajo la aguja del aparato de Vicat, de modo que esta esté en 0, y luego nivelar, centrar, soltar y observar cuanto se hunde la aguja de Vicat durante 30 segundos.

13. El procedimiento del paso 12, se repite cada 15 minutos hasta tener lecturas de penetración mayor que 25mm (C), y menor que 25mm (D), además registrar el tiempo transcurrido desde que el cemento entro en contacto con el agua hasta que la penetración sea mayor a 25mm (E), y el tiempo transcurrido cuando la penetración sea menor a 25mm (H).

14. Calcular el tiempo de fraguado inicial Vicat con una aproximación a 1 minuto, con la Ecuación 2.

$$\text{Fraguado inicial} = \left\{\frac{(H-E)}{(C-D)} X(\mathrm{C}-25)\right\} + E \qquad \text{Ecuación 2.}$$

Tiempo en minutos de la última penetración mayor que 25mm (E).
Tiempo en minutos de la última penetración menor que 25mm (H).
Lectura de penetración al tiempo E (C).
Lectura de penetración al tiempo H (D).

15. Repetir el paso 13, hasta observar que no exista penetración ni marcas de la aguja de Vicat, cuando esto ocurra se debe tomar 3 muestras que deben ser realizadas dentro de 90 segundos, y finalmente registrar el tiempo final de fraguado.

EJEMPLO PRÁCTICO

CONSISTENCIA NORMAL

1. Imponerse una relación agua-cemento, como por ejemplo A/C=30%; A/C=33%; A/C=35%, y calcular la cantidad de agua necesaria en cada relación A/C utilizando la ecuación 1.

$$\mathrm{C}\ (a/c) = \frac{Ma}{\mathrm{Mc}} x\ 100$$

Mc =	**650**	**G**		
a/c =	30%	=>	**Ma =**	**195 ml**
a/c =	33%	=>	**Ma =**	**214.5 ml**
a/c =	35%	=>	**Ma =**	**227.5 ml**

2. Pesar 3 muestras de cemento de 650g, y medir la cantidad de agua que se calculó en el paso anterior con una probeta graduada, para cada una de las muestras.

Figura 3: Muestras de cemento con su respectiva cantidad de agua.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

3. Mezclar la primera muestra de cemento de A/C=30%, durante unos 5 minutos, hasta formar una bola como se indica en la figura 4, la cual debe ser lanzada 6 veces de una mano a otra a una distancia de 150mm.

Figura 4: Amasado de la pasta de cemento.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

4. Colocar la pasta de cemento en el cono truncado por su extremo más ancho sobre el vidrio, y retirar el exceso de pasta que sobresale del extremo menor como se indica en la Figura 5, y enrasar utilizando la espátula. Durante este paso de cortado y alisado, tener cuidado de no comprimir la pasta.

Figura 5: Colocación de la pasta de cemento y retirado del material excedente.
Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

5. Colocar el anillo en el aparato de Vicat y dejar caer la aguja de 10 mm durante 30 segundos. Registrar la penetración que marcó el aparato de Vicat.

Figura 6: Determinación de la penetración en el aparato de Vicat con la aguja de 10 mm.
Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

6. Repetir el procedimiento desde el paso 2 con las diferentes relaciones de agua-cemento. Y registrar las diferentes penetraciones para cada relación A/C.

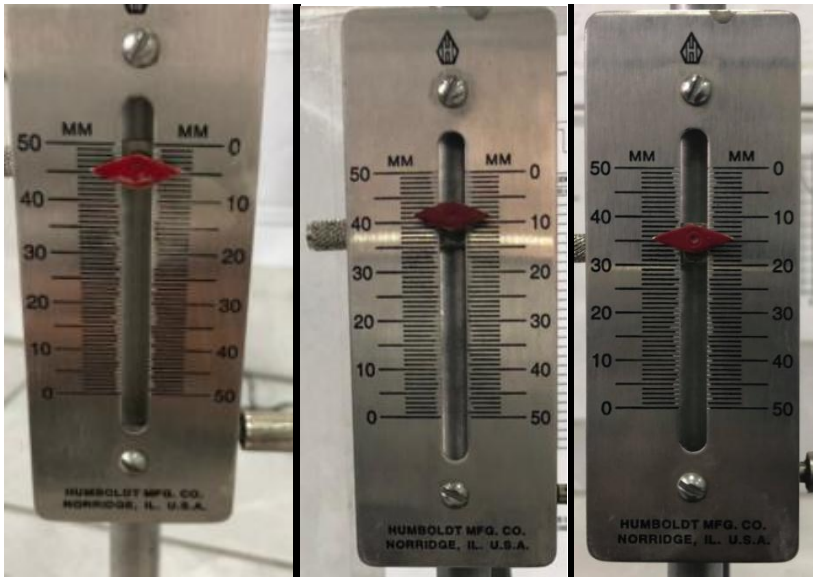


Figura 7: Registro de las penetraciones con la aguja de 10 mm.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

7. Determinar la relación A/C, mediante una gráfica y un análisis numérico (interpolación), con los datos obtenidos del ensayo.

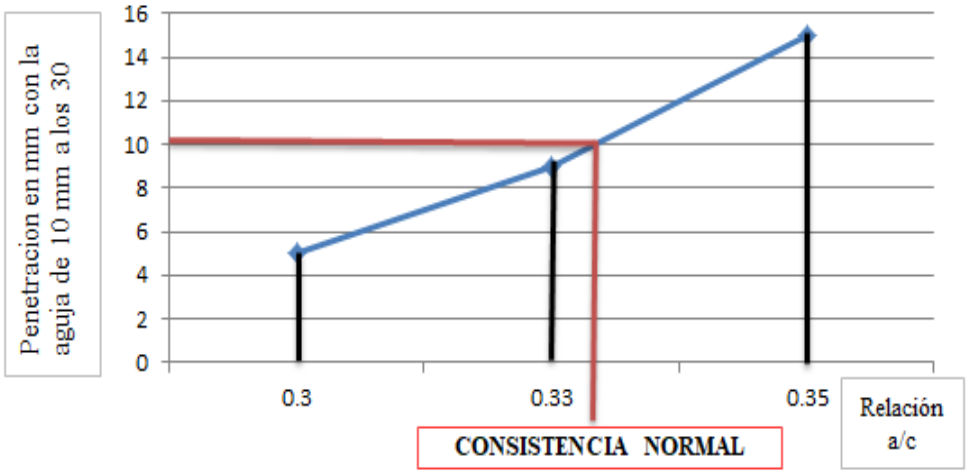


Figura 8: Determinación de la relación A/C en 10mm de penetración.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

$$\frac{a/c - 0.33}{10 - 9} = \frac{0.35 - 0.33}{15 - 9}$$

$$a/c = 0.3333 = 33.33\%$$

Ma = 216.7 ml.

TIEMPO DE FRAGUADO

8. Pesar una masa de cemento de aproximadamente 650 g y medir 216.7 ml de agua en una probeta graduada.

Figura 9: Muestra de cemento y cantidad de agua a ser utilizados para ensayo de fraguado.
Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

9. Mezclar hasta conseguir una pasta de cemento y amasar como en el paso 3 para conseguir una masa aproximadamente esférica, que pueda ser fácilmente insertada en el anillo de Vicat.

10. Repetir el paso 4.

11. Colocar el molde con la pasta de cemento, en la cámara de fraguado y esperar 30 minutos.

Figura 10: Reposo del molde durante 30 minutos. Para que el cemento fragüe.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

12. Colocar el molde bajo la aguja de 1mm de diámetro del aparato de Vicat, y luego nivelar, centrar, soltar y observar cuanto se hunde la aguja de Vicat durante 30 segundos.

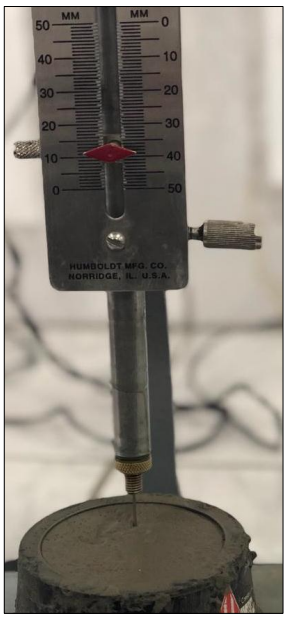


Figura 11: Determinación de la penetración con la aguja de 1 mm de diámetro.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

13. Repetir el paso 6, cada 15 minutos y registrar las lecturas de penetración mayor que 25 mm (C), y menor que 25mm (D), además registrar el tiempo transcurrido desde el

inicio del ensayo hasta que la penetración sea mayor a 25 mm (E), y el tiempo transcurrido cuando la penetración sea menor a 25 mm (H).

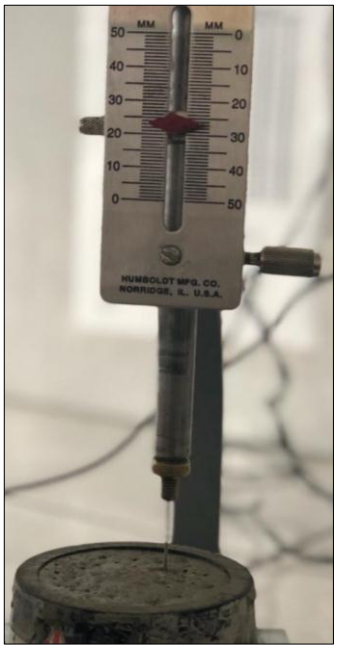


Figura 12: Penetración mayor a 25 mm (C**).**

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

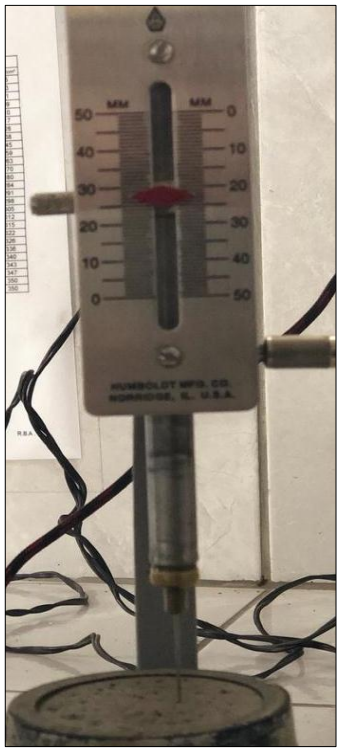


Figura 13: Penetración menor a 25 mm (D).

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

14. Finalmente registrar el tiempo cuando la aguja de Vicat ya no penetre la mezcla y tampoco existan marcas. (Tiempo final de fraguado).

Figura 14: Comprobación que no exista penetración en la muestra.
Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

15. Calcular el tiempo de fraguado inicial con los datos recopilados en la ficha de laboratorio utilizando la ecuación 2.

Datos:
Tiempo de inicio del ensayo = 7H40 am
Tiempo en minutos de la última penetración mayor que 25mm (E) = 270 minutos
Tiempo en minutos de la última penetración menor que 25mm (H) = 285 minutos
Lectura de penetración al tiempo E (C) = 27mm
Lectura de penetración al tiempo H (D) = 23mm

Fraguado inicial = $\left\{\frac{(H-E)}{(C-D)}X(\mathrm{C}-25)\right\}+E$

Fraguado inicial = $\left\{\frac{(285-270)}{(27-23)}X(27-25)\right\}+270$

Fraguado inicial = 277,5 mm

Nota: En la ficha de laboratorio a continuación se muestran los cálculos a partir de los resultados obtenidos.

GUÍA METODOLÓGICA N° 4. FICHA DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD DEL AZUAY

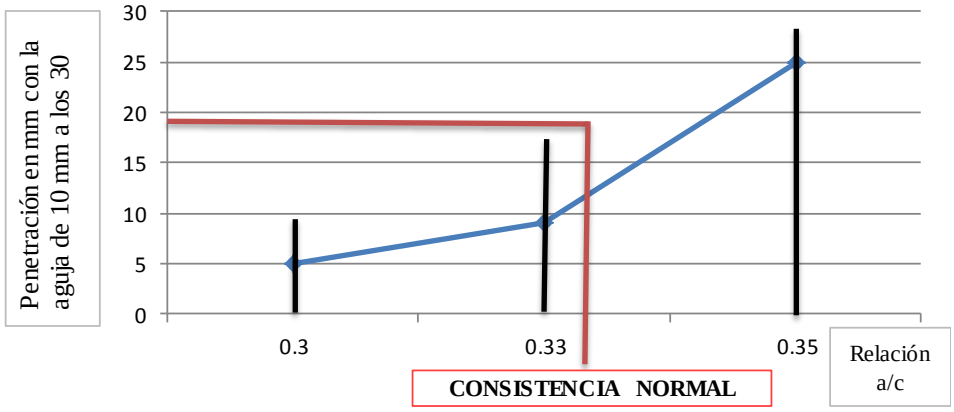
MATERIA : MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
PRÁCTICA DE LABORATORIO Nº 4
DETERMINACIÓN DE LA CONSISTENCIA NORMAL Y TIEMPOS DE FRAGUADO INICIAL Y FINAL DEL CEMENTO. MÉTODO DE VICAT

GRUPO: **FECHA:**

CONSISTENCIA NORMAL DEL CEMENTO

Masa de Cemento (Mc): 650 g

Consistencia Normal en Porcentaje (Relación A/C)	Ecuación para determinar la masa de agua	Masa de Agua (ml)
30%	$Ma = \frac{Mc\ x\ C\ (a/c)}{100}$	195
33%		214.5
35%		227.5



CONSISTENCIA NORMAL	MASA DE AGUA PARA EL ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUADO INICIAL Y FINAL DEL CEMENTO
$\frac{C(a/c) - 0.33}{10 - 9} = \frac{0.35 - 0.33}{15 - 9}$ $C(a/c) = 0.3333 = 33.33\%$	Mc = 650 g (a/c) = 33.33 % Ma = 216.65 ml

OBSERVACIONES:

GUÍA METODOLÓGICA N° 4. FICHA DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD DEL AZUAY

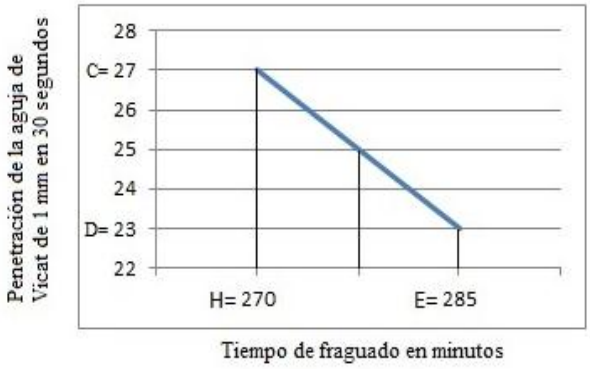
MATERIA : MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
PRÁCTICA DE LABORATORIO Nº 4
DETERMINACIÓN DE LA CONSISTENCIA NORMAL Y TIEMPOS DE FRAGUADO INICIAL Y FINAL DEL CEMENTO. MÉTODO DE VICAT

GRUPO: **FECHA:**

TIEMPO DE FRAGUADO DEL CEMENTO

HORA DE INICIO DE LA PRÁCTICA: 7H40 AM

n	Hora de muestra	Penetración	n	Hora de muestra	Penetración
1	8H10 AM	-	13	11H10 AM	36 mm
2	8H25 AM	-	14	11H25 AM	35 mm
3	8H40 AM	-	15	11H40 AM	34 mm
4	8H55 AM	-	16	11H55 AM	32 mm
5	9H10 AM	-	17	12H10 PM	27 mm
6	9H25 AM	-	18	12H25 PM	23 mm
7	9H40 AM	-	19	12H40 PM	5 mm
8	9H55 AM	-	20	12H55 PM	3 mm
9	10H10 AM	-	21	1H10 PM	1 mm
10	10H25 AM	38 mm	22	1H25 PM	1 mm
11	10H40 AM	37 mm	23	1H38 PM	0 mm
12	10H55 AM	37 mm	24	1H55 PM	
Tiempo en minutos de la última penetración mayor				E	285 minutos
Tiempo en minutos de la primera penetración				H	270 minutos
Lectura de penetración al tiempo E				C	27 mm
Lectura de penetración al tiempo H				D	23 mm



$$Fraguado\ inicial = \left\{\frac{(H-E)}{(C-D)}X(C-25)\right\} + E$$

277.5 minutos

Fraguado final

358 minutos

OBSERVACIONES:

ANEXO 5
PRÁCTICA DE LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
GUÍA METODOLÓGICA Nº 5

ELABORACIÓN DE UNA DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN HIDRÁULICO POR VOLUMEN: MEDICIÓN DEL ASENTAMIENTO Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

INTRODUCCIÓN

La presente guía metodológica está basada en la dosificación por volumen de un hormigón para vigas, losas y columnas, que nos proporciona la empresa Holcim Ecuador S.A.

El hormigón hidráulico es una piedra artificial formada al mezclar apropiadamente cuatro componentes básicos: cemento, arena, grava y agua. Debido a su capacidad de adaptación a una gran variedad de moldes de dimensiones variables, el hormigón hidráulico ha adquirido una gran importancia como material de construcción de obras de ingeniería. Las propiedades del hormigón dependen de la calidad de los agregados, cemento y la relación agua-cemento (A/C).

En cuanto al curado del hormigón se lo realizará por dos métodos, el primero sumergido totalmente en agua y el segundo que consiste en dejarlos únicamente al ambiente.

La resistencia a la compresión se mide normalmente para comprobar que el hormigón cumple con los requerimientos especificados y con el control de calidad. Se lo ensaya mediante muestras cilíndricas, sean estos de 10 cm de diámetro por 20 cm de altura o bien 15 cm de diámetro por 30 cm de altura, los cuales se ensayarán a compresión a los 14, 21 y 28 días.

OBJETIVOS

- Determinar el asentamiento del hormigón de cemento hidráulico en el laboratorio mediante el cono de Abrams.
- Determinar la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico.
- Realizar un análisis comparativo de los diferentes tipos de curado.

DOCUMENTOS DE REFERENCIA

NTE INEN 1573:2010. HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO.
NTE INEN 1578:2010. HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DEL ASENTAMIENTO.
HOLCIM ECUADOR S.A. ELABORACIÓN DE UN HORMIGÓN CON CEMENTO HOLCIM FUERTE. DOSIFICACIÓN DE LOS MATERIALES Y RENDIMIENTO DE ACUERDO AL USO.

ALCANCE

Esta guía tiene por objeto proporcionar al usuario un procedimiento para determinar el asentamiento de hormigones de cemento hidráulico mediante el cono de Abrams en estado plástico, preparado con árido grueso de tamaño máximo ¾¨ (19.1mm).
De igual forma este método de ensayo se utiliza para determinar la resistencia a compresión de muestras cilíndricas de hormigón de cemento hidráulico, previamente curados.
Los resultados de esta guía se utilizan como base para: control de calidad de la dosificación del hormigón y para regular los tiempos de transporte, colocación y compactación.

MÉTODO DE ENSAYO

Obtención de la muestra de hormigón

Se procederá a realizar la mezcla de hormigón con cemento hidráulico dada por la empresa Holcim Ecuador S.A.
La dosificación de hormigón por volumen según la Holcim S.A. para losas, vigas y columnas es la siguiente:

- Cemento holcim fuerte: 1 saco de 50 kg.
- Agua potable: 25 litros.
- Árido fino seco: 2 parihuelas al ras.
- Árido grueso seco: 2.5 parihuelas al ras.

Determinación del asentamiento

La muestra de hormigón recién mezclado se coloca dentro de un molde con forma de un cono truncado (cono de Abrams) y se compacta con una varilla en tres capas cada una de estas con 25 golpes. Se levanta el molde permitiendo que el hormigón se asiente. Se mide la distancia vertical entre la altura original y la del centro desplazado de la superficie superior del hormigón, luego de su deformación. Este valor se reporta como el asentamiento del hormigón.

Resistencia a la compresión

Consiste en aplicar una carga axial de compresión a los cilindros moldeados de hormigón de cemento hidráulico a una velocidad que se encuentra definida por la norma NTE INEN 1573:2010 hasta que ocurra la falla de la muestra. La resistencia a la compresión de la muestra se calcula dividiendo la carga máxima aplicada durante el ensayo para el área de la sección transversal de la misma.

EQUIPO

Figura 1: Equipos necesarios para la realización de la práctica.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

Máquina concretera. Concretera con la que se cuenta en el laboratorio.

Recipiente. Con un tamaño suficiente para contener la cantidad de cemento.

Balanza. La balanza utilizada en la práctica debe tener una precisión de 1g.

Recipientes graduados en dm³. Necesarios para la dosificación de la mezcla y su vertido en la concretera.

Molde (Cono de Abrams). El molde debe tener la forma de un cono truncado, con diámetros internos de 200 mm en la base, 100 mm en la parte superior y altura de 300 mm. El molde debe estar provisto de dos estribos para apoyar los pies y manijas similares a los mostrados en la figura 2. El interior debe estar relativamente liso y libre de imperfecciones, abolladuras, deformaciones o de mortero adherido.

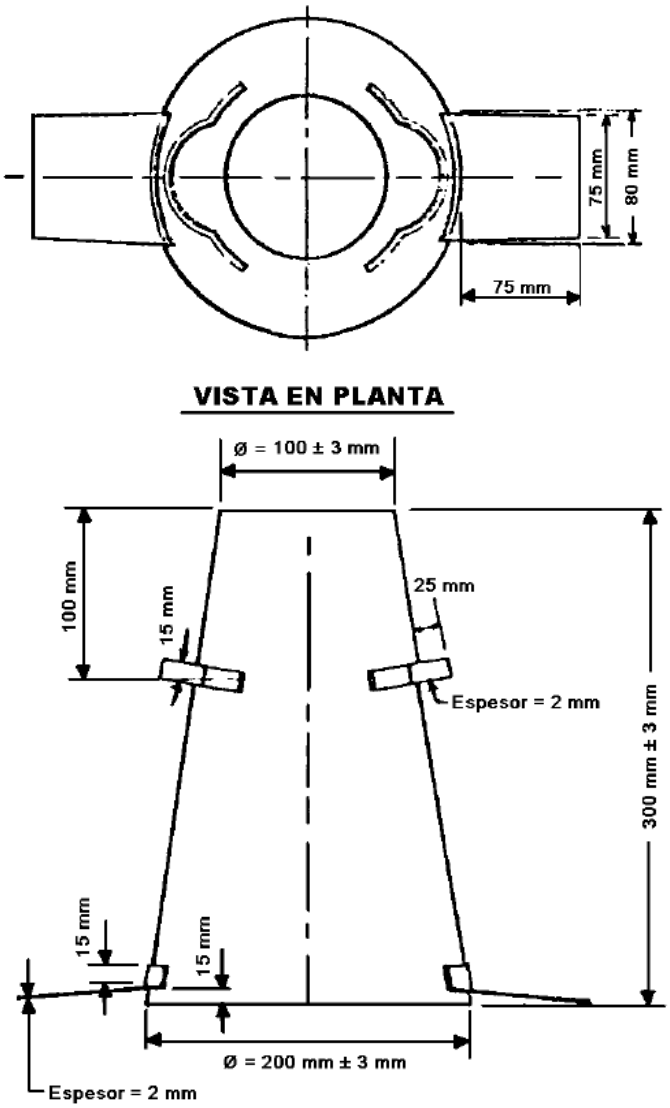


Figura 2: Dimensiones del cono de Abrams.

Fuente: (NTE INEN 1578:2010. HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DEL ASENTAMIENTO)

Varilla de compactación. Debe ser una varilla recta, lisa, de acero, de 16 mm de diámetro y aproximadamente 600 mm de longitud, teniendo el extremo de compactación redondeado con punta semiesférica.

Instrumento de medida. Puede utilizarse una regla o cinta de medir, marcado en incrementos de 5 mm o menos.

Cucharón. Necesario para el vertido del hormigón en los moldes.

Moldes (cilindros metálicos). Moldes sin mortero adherido, de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura o bien moldes de 10 cm de diámetro y 20 cm de altura.

Máquina de ensayo (resistencia a la compresión). La máquina de ensayo debe tener suficiente capacidad y disponer de las velocidades de carga descritas en la norma NTE INEN 1573:2010.

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Obtención de la muestra de hormigón

1. Dosificación dada por Holcim Ecuador S.A.

- Cemento holcim fuerte: 1 saco de 50 kg.
- Agua potable: 25 litros.
- Árido fino seco: 2 parihuelas al ras.
- Árido grueso seco: 2.5 parihuelas al ras.

Nota: Se considera parihuelas de 40x40x20 cm.

$$\text{Volumen de 1 Parihuela} = 0.032\ \text{m}^3 = 32\ \text{dm}^3$$

- Cemento holcim fuerte: 1 saco de 50 kg.
- Agua potable: 25 litros.
- Árido fino seco: 64 dm^3.
- Árido grueso seco: 80 dm^3.

2. Debido a la capacidad limitada de la concretera con la que cuenta el laboratorio se procedió a realizar la muestra de hormigón en 4 partes obteniendo la siguiente dosificación.

- Cemento holcim fuerte: 12.50 kg.
- Agua potable: 6.25 litros.
- Árido fino seco y limpio: 16 dm^3.
- Árido grueso: 20 dm^3.

3. Verificar que los equipos necesarios se encuentren en condiciones aceptables de limpieza y funcionamiento. Verter una pequeña cantidad de agua de la especificada en la dosificación para humedecer el tambor de la concretera. Después se agrega el árido grueso seco previamente medido en los recipientes graduados en dm^3.

4. Se agrega toda la cantidad de cemento Holcim establecido en la dosificación y a continuación se agrega la arena de igual forma medida en los recipientes (dm^3) y el resto de agua paulatinamente; inclinar la concretera para obtener una mejor mezcla del hormigón, por un período de 3 minutos.

5. Finalmente se procederá a verter el hormigón tanto en el cono de Abrams para determinar el asentamiento de la muestra, como en los cilindros para las muestras del ensayo de resistencia a la compresión.

Determinación del asentamiento

La determinación del asentamiento se debe realizar en un período de 2 ½ minutos, desde el inicio del llenado hasta la remoción del molde.

6. Humedecer el cono de Abrams e inmediatamente llenar el molde en tres capas, cada una de aproximadamente un tercio del volumen del molde.

7. Compactar cada capa con 25 golpes, utilizando la varilla de compactación y distribuir, de manera uniforme, los golpes sobre la sección transversal de cada capa.

8. Compactar la capa inferior en toda su profundidad. Compactar la segunda capa y la capa superior, cada una en toda su profundidad, de tal manera que los golpes apenas penetren en la capa anterior.

9. Después de haber compactado la capa superior, enrasar la superficie del hormigón rodando la varilla de compactación sobre el borde superior del molde. Continuar presionando el molde firmemente hacia abajo y retirar el hormigón del área que rodea la base del molde.

10. De inmediato retirar el molde del hormigón levantándolo cuidadosamente en dirección vertical, con un movimiento ascendente uniforme y sin movimientos laterales.

11. Inmediatamente medir el asentamiento determinando la diferencia vertical entre la parte superior del molde y el centro original desplazado de la superficie superior de la muestra.

Resistencia a la compresión

12. Colocación del espécimen. Limpiar las caras de contacto de los bloques superior e inferior y del espécimen de ensayo y colocar el espécimen de ensayo sobre el bloque de carga inferior. Cuidadosamente alinear el eje del espécimen con el centro de carga del bloque de carga superior.

13. Verificación del ajuste a cero y asentamiento del bloque. Previo al ensayo del espécimen, verificar que el indicador de carga esté ajustado a cero.

14. Velocidad de carga. Aplicar la carga continuamente y sin impacto. La carga debe ser aplicada a una velocidad de movimiento correspondiente a una velocidad de esfuerzo sobre la muestra cilíndrica de 0,25 ± 0,05 MPa/s (150 kgf/cm²/min).

Aplicar la carga de compresión hasta que el indicador de carga muestre que está decreciendo constantemente y la muestra genere un patrón de fractura bien definido.

15. Registrar la carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo y calcular la resistencia a la compresión del espécimen dividiendo la carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo, para el promedio del área de la sección transversal.

$$\text{Resistencia a la Compresíon} = \frac{\text{Carga máxima soportada}}{\text{Seccion transversal}}$$ Ecuación 1.

Cuando se ha solicitado, calcular la densidad del espécimen con una aproximación de 10 kg/m³, utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Densidad} = \frac{W}{V} \qquad \text{Ecuación 2.}$$

Dónde:

W= masa del espécimen en kg.

V= volumen del espécimen, calculado a partir del diámetro y longitud promedio.

EJEMPLO PRÁCTICO

Se planteo realizar 18 muestras cilíndricas de 15 x 30 cm, con la diferencia en el tipo de curado; es decir 9 de ellas tendrán un curado sumergido en agua, mientras que las 9 restantes únicamente tendrán un curado al ambiente, también se realizó 3 muestas de 10 x 20 cm, sometidas al curado sumergido en agua. Posteriormente se comparará los valores obtenidos de resistencia a la compresión alcanzados a los 14, 21 y 28 días de curado.

1. Verificar que la máquina concretera se encuentre limpia y en condiciones de operabilidad. Posteriormete se prodece a medir las cantidades para la dosificacion establecida: (Ver figura 3).

- Cemento holcim fuerte: 12.50 kg.
- Agua potable: 6.25 litros.
- Árido fino seco y limpio: 16 dm³.
- Árido grueso: 20 dm³.

Figura 3: Medición de cada uno de los materiales para la dosificación.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

2. Colocación de cada uno de los materiales en la concretera, iniciando con una pequeña cantidad de agua con el árido grueso, seguido del cemento y finalmente se agrega la arena y el resto del agua paulatinamente. Inclinar la concretera para obtener una mejor mezcla del hormigón por un período de 3 minutos. Ver figura 4.

Figura 4: Muestra de hormigón de cemento hidráulico.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

3. Vertido, compactado y enrasado de la muestra de hormigón en el cono de Abrams para determinar el asentamiento. (Ver figura 5).

Figura 5: Vertido, compactado y enrasado de la muestra de hormigón en el cono de Abrams.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

4. Retirar el molde con un movimiento ascendente uniforme y determinar la diferencia vertical entre la parte superior del molde y el centro original desplazado de la superficie superior de la muestra. (Ver figura 6).

Figura 6: Determinación del asentamiento de la muestra de hormigón.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

5. A continuacion se procede al llenado de los cilindros metálicos con la muestra de hormigón en tres capas cada una de estas con 25 golpes de la varilla para su compactación y así obtener las muestras que serán sometidos al ensayo de resistencia a la compresión. (Ver figura 7).

Figura 7: Conformación de las muestras cilíndricas de hormigón.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

6. Dejar que el hormigón fragüe por un período de 24 horas y proceder a retirar las muestras de los cilindros metálicos como se indica en la figura 8.

Figura 8: Retiro de las muestras de hormigón de los cilindros metálicos.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

7. Curado de las muestras cilíndricas de hormigón, curado sumergido en el lado derecho y curado al ambiente en el lado izquierdo como se indica en la figura 9.

Figura 9: Curado de las muestras por los dos métodos.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

8. Determinación de la masa en kg de las muestras para obtener su densidad, kg/m^3 . En este paso se determinó la masa de tres muestars de 15 x 30 cm y tres muestras de 10 x 20 cm. Ver figura 10.

Figura 10: Masa de las muestras de 15 x 30 cm y 10 x 20 cm.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

9. Finalmente se determinó la resistencia a la compresión de las muestras de hormigón a los 14, 21 y 28 días de curado. Ensayando en cada uno de estos días tres muestras de cada método de curado. Ver figura 11.

Figura 11: Resistencia a la compresión de las muestras cilíndricas de hormigón.

Fuente: (Chimbo y León. Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad del Azuay)

Nota: En la ficha de laboratorio a continuación se muestran los cálculos a partir de los resultados obtenidos.

GUÍA METODOLÓGICA Nº 5. FICHA DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD DEL AZUAY

MATERIA : MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
PRÁCTICA DE LABORATORIO Nº 5
ELABORACIÓN DE UNA DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN HIDRÁULICO POR VOLUMEN: MEDICIÓN DEL ASENTAMIENTO Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

GRUPO: **FECHA:** **16/03/2018**

DISEÑO DE HORMIGÓN HOLCIM ECUADOR S.A.

ASENTAMIENTO DE LA MUESTRA.

DOSIFICACÍON	ASENTAMIENTO (cm)
1	12.3
2	17.4
3	11.5
4	17.5

ASENTAMIENTO PROMEDIO (cm).

14.68

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.

Nota: Área aproximada de contacto para la muestra de 10 x 20 cm es 78,54 cm² y para la muestra de 15 x 30 cm es 176,71 cm².

			TIPO DE CURADO: SUMERGIDO EN AGUA				**TIPO DE CURADO: AL AMBIENTE**			
FECHA DE ENSAYO	DÍAS DE CURADO	TIPO DE ESPECÍMEN	CARGA TOTAL (kgf)	CARGA UNITARIA (Kgf./cm²)	CARGA UNITARIA (Mpa)	CARGA UNITARIA PROMEDIO (Kgf./cm²)	CARGA TOTAL (kgf)	CARGA UNITARIA (Kgf./cm²)	CARGA UNITARIA (Mpa)	CARGA UNITARIA PROMEDIO (Kgf./cm²)
30/3/2018	14	15 x 30 cm	29127	164.83	16.16	185.34	25552	144.60	14.18	162.70
30/3/2018	14	15 x 30 cm	33637	190.35	18.67		28693	162.37	15.92	
30/3/2018	14	15 x 30 cm	35492	200.85	19.70		32005	181.12	17.76	
6/4/2018	21	15 x 30 cm	39979	226.24	22.19	238.09	28918	163.65	16.05	189.83
6/4/2018	21	15 x 30 cm	42242	239.05	23.44		35526	201.04	19.72	
6/4/2018	21	15 x 30 cm	43996	248.97	24.42		36192	204.81	20.09	
13/4/2018	28	15 x 30 cm	38768	219.39	21.52	245.53	29114	164.76	16.16	199.20
13/4/2018	28	15 x 30 cm	44137	249.77	24.50		38601	218.44	21.42	
13/4/2018	28	15 x 30 cm	47257	267.43	26.23		37888	214.41	21.03	
13/4/2018	28	10 x 20 cm	19638	250.04	24.52	254.65				
13/4/2018	28	10 x 20 cm	19496	248.23	24.34					
13/4/2018	28	10 x 20 cm	20867	265.69	26.06					

CUADRO COMPARATIVO

TIPO DE ESPECÍMEN	CARGA UNITARIA PROMEDIO (Kgf./cm²)
15 x 30 cm	245.53
10 x 20 cm	254.65

INCREMENTO DE LA CARGA UNITARIA PROMEDIO

3.72%

	AL AMBIENTE	SUMERGIDO EN AGUA
DÍAS DE CURADO	CARGA UNITARIA PROMEDIO (Kgf./cm²)	CARGA UNITARIA PROMEDIO (Kgf./cm²)
14	162.70	185.34
21	189.83	238.09
28	199.20	245.53

CONCLUSIÓN:

Se puede notar una gran variación de la resistencia a la compresión de las muestras de hormigón curado por inmersión con relación a las muestras curadas al ambiente.
En los 14 días tenemos una variación de 22,64 (Kgf./cm²), para los 21 días la variación en la resistencia es de 48,26 (Kgf./cm²) y por último a los 28 días las muestras varían en 50,89 (Kgf./cm²), lo que muestra la importacia del curado en el hormigón.

DENSIDAD DEL HORMIGÓN.

$$\text{Densidad} = \frac{W}{V}$$

W: masa del especímen en kg.
V: volumen del especimen en m³

Densidad promedio del hormigón: 2359.6 (kg/m³)

ESPECÍMEN	MASA (kg)	VOLUMEN (m³)	DENSIDAD (kg/m³)	CARGA UNITARIA (Kgf./cm²)
15 x 30 cm	12.77	0.0053	2412.94	248.97
15 x 30 cm	12.61	0.0053	2382.33	219.39
15 x 30 cm	12.84	0.0053	2425.60	267.43
10 x 20 cm	3.64	0.0016	2319.20	265.69
10 x 20 cm	3.61	0.0016	2298.83	248.23
10 x 20 cm	3.64	0.0016	2318.56	250.04

OBSERVACIONES: Como podemos notar a mayor densidad obtenida de cada una de las muestras se tiene una mayor resistencia a la compresión para un mismo tipo de curado a los 28 días. De igual forma como se señala en la literatura técnica, la resistencia a la compresión depende del tamaño de las muestras cilíndricas ensayadas. Para muestras de 10x20 cm la resistencia a la compresión a los 28 días resulta ser 3,7 % mayor a las muestras de 15x30 cm.