

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA



Universidad de El Salvador
Hacia la libertad por la cultura

**“ADAPTACIÓN DEL MÉTODO DE DISEÑO DE MEZCLAS DE
CONCRETO SEGÚN ACI 211.1 UTILIZANDO LOS TIPOS DE
CEMENTO ASTM C-1157 TIPO GU Y ASTM C-1157 TIPO HE”**

PRESENTADO POR:
CÁDER VALENCIA, GUSTAVO ALEXANDER

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL

DOCENTE DIRECTOR:
ING. JOEL PANIAGUA TORRES

SEPTIEMBRE, 2012

SANTA ANA

EL SALVADOR

CENTRO AMÉRICA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR

ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO

VICE-RECTOR ACADÉMICO

MSD. ANA MARÍA GLOWER DE ALVARADO

VICE-RECTOR ADMINISTRATIVO

LIC. SALVADOR CASTILLO ARÉVALO (INTERINO)

SECRETARIO GENERAL

DRA. ANA LETICIA ZA VALETA DE AMAYA

FISCAL GENERAL

LIC. FRANCISCO CRUZ LETONA

FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE

DECANO

LIC. RAÚL ERNESTO AZCÚNAGA LÓPEZ

VICE-DECANO

ING. WILLIAM VIRGILIO ZAMORA GIRÓN

SECRETARIO DE FACULTAD

LIC. VICTOR HUGO MERINO QUEZADA

JEFE DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ING. SORAYA LISSETTE BARRERA DE GARCÍA

DOCENTE DIRECTOR

ING. JOEL PANIAGUA TORRES

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**“ADAPTACIÓN DEL MÉTODO DE DISEÑO DE MEZCLAS DE
CONCRETO SEGÚN ACI 211.1 UTILIZANDO LOS TIPOS DE
CEMENTO ASTM C-1157 TIPO GU Y ASTM C-1157 TIPO HE”**

AUTOR:

CÁDER VALENCIA, GUSTAVO ALEXANDER

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

DOCENTE DIRECTOR:

ING. JOEL PANIAGUA TORRES

SANTA ANA, SEPTIEMBRE DE 2012

TRABAJO DE GRADUACIÓN APROBADO POR:

ING. JOEL PANIAGUA TORRES.

DOCENTE DIRECTOR

*A mis Padres quienes con cariño y esfuerzo
siempre me brindaron su apoyo, a ellos dedico
mi estudio de tesis, Gracias.*

AGRADECIMIENTOS

A DIOS TODOPODEROSO Y A LA VIRGEN SANTÍSIMA: por brindarme sabiduría e iluminarme cada día y permitirme culminar una de mis metas; gracias Señor por escuchar mis oraciones ya que de lo contrario no habría llegado hasta aquí.

A MIS PADRES: Marco Antonio Cáder y María Angélica Valencia de Cáder, por haberme inculcado buenos principios y deseos de superación; gracias por todo su amor, sacrificio, apoyo y motivación para continuar, especialmente en los momentos más difíciles.

A MIS HERMANOS: Douglas Marco Antonio y Manuel Guillermo, por confiar en mí y sobre todo por el apoyo que me brindaron a cada momento.

A MIS ASESORES: Ing. Joel Paniagua Torres e Ing. Ricardo Burgos Oviedo, porque generosamente compartieron sus conocimientos con mi persona.

A MIS AMIGOS: Que en todo momento me animaron, tendiéndome su mano, para seguir adelante y para lograr la meta.

A TODAS LAS PERSONAS, que de alguna manera contribuyeron a lo largo de mi carrera, y cooperaron directa ó indirectamente en la culminación de éste triunfo.

GUSTAVO ALEXANDER CÁDER VALENCIA

AGRADECIMIENTOS ESPECIALES

A los asesores:

ING. JOEL PANIAGUA TORRES

ING. RICARDO BURGOS OVIEDO

Gracias por compartir sus conocimientos, esfuerzo y tiempo en el desarrollo del presente trabajo, fue un placer haber trabajado con ustedes.

A las siguientes empresas por colaborar con materiales, equipo e instalaciones:

INSTITUTO SALVADOREÑO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO, ISCYC

HOLCIM S.A. DE C.V.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	Nº DE PAGINA
RESUMEN EJECUTIVO	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
CAPÍTULO I. GENERALIDADES.....	21
1.1 ANTECEDENTES	22
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	24
1.3 OBJETIVOS	25
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	25
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	25
1.4 ALCANCES	26
1.5 LIMITANTES	27
1.6 JUSTIFICACIÓN	28
CAPÍTULO II. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	30
2.1 INTRODUCCIÓN.	31
2.2 FUNDAMENTOS DEL CONCRETO HIDRÁULICO.	31
2.2.1 DEFINICIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO.....	31
2.2.2 COMPONENTES DEL CONCRETO.	32
2.3 CEMENTOS.	32
2.3.1 DEFINICIÓN DE CEMENTO.....	32
2.3.2 FABRICACIÓN DEL CEMENTO.....	33
2.3.3 PROPIEDADES FÍSICAS DEL CEMENTO.	35
2.3.4 CLASIFICACIÓN DEL CEMENTO.....	44
2.4 AGREGADOS PARA CONCRETO.....	51
2.4.1 DEFINICIÓN DE AGREGADOS	51
2.4.2 CARÁCTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS.	52
2.4.3 CLASIFICACIÓN DE AGREGADOS DE PESO NORMAL	57
2.5 AGUA PARA CONCRETO HIDRÁULICO.	58
2.6 ADITIVOS Y ADICIONES PARA CONCRETO HIDRÁULICO.	59
2.7 CONCRETO FRESCO.....	61
2.8 ETAPAS DE FRAGUADO DEL CONCRETO	66
2.9 CONCRETO ENDURECIDO.	67
2.10 CONSIDERACIONES BÁSICAS SOBRE DOSIFICACIÓN DE CONCRETO.....	74
2.11 MÉTODO ACI 211.1 DE DOSIFICACIÓN DE CONCRETO.....	76

CAPÍTULO III. APLICACIÓN DEL MÉTODO DE DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO DE PESO NORMAL SEGÚN ACI 211.1	78
3.1 INTRODUCCIÓN.	79
3.2 GENERALIDADES.	79
3.3 ENSAYOS PREVIOS.	80
3.3.1 CEMENTO.	80
3.3.1.1 DENSIDAD DEL CEMENTO HIDRÁULICO (ASTM C-188).	80
3.3.2 AGREGADOS	81
3.3.2.1 GRANULOMETRÍA Y MÓDULO DE FINURA DE AGREGADOS (ASTM C-136).	81
3.3.2.2 GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINO Y GRUESO (ASTM C-128/C-127).	82
3.3.2.3 PESO VOLUMÉTRICO DE AGREGADOS (ASTM C-29)	84
3.3.2.4 CONTENIDO HUMEDAD AGREGADOS (ASTM C-566).	84
3.3.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS.	85
3.4 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO (ACI 211.1).	86
3.4.1 RESISTENCIA DE DISEÑO.	87
3.4.2 ELECCIÓN DE REVENIMIENTO (PASO 1).	92
3.4.3 ELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO (PASO 2).	92
3.4.4 ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE AGUA Y CONTENIDO DE AIRE (PASO 3).	93
3.4.5 SELECCIÓN DE RELACIÓN AGUA/CEMENTO (PASO 4).	97
3.4.6 CALCULO DEL CONTENIDO DE CEMENTO (PASO 5).	100
3.4.7 ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE GRAVA (PASO 6).	100
3.4.8 ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE ARENA (PASO 7).	102
3.4.9 AJUSTES POR HUMEDAD DE LOS AGREGADOS (PASO 8).	104
3.4.10 AJUSTES A LA MEZCLA DE PRUEBA (PASO 9).	104
3.4.11 EJEMPLO DE DISEÑO DE MEZCLA.	105
3.4.12 RESUMEN DE DISEÑOS DE MEZCLA A UTILIZAR EN LA INVESTIGACIÓN	109
CAPÍTULO IV. ELABORACIÓN Y ENSAYO DE ESPECÍMENES DE CONCRETO HIDRÁULICO.	110
4.1 INTRODUCCIÓN.	111
4.2 ENSAYOS DE LABORATORIO AL CONCRETO FRESCO.	111
4.2.1 REVENIMIENTO DEL CONCRETO RECIÉN MEZCLADO (ASTM C-143).	111
4.2.2 MEDICIÓN DE TEMPERATURA DEL CONCRETO RECIÉN MEZCLADO (ASTM C-1064).	114
4.2.3 DENSIDAD EN UNA MEZCLA DE CONCRETO (ASTM C-138).	115
4.3 ELABORACIÓN Y CURADO EN EL LABORATORIO DE ESPECÍMENES DE CONCRETO (ASTM C-192).	117

4.4 ENSAYOS DE LABORATORIO AL CONCRETO ENDURECIDO.	119
4.4.1 ESFUERZO DE COMPRESIÓN EN ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO (ASTM C-39).....	120
4.5 RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE MORTEROS DE CEMENTO HIDRÁULICO (ASTM C-109).	121
CAPÍTULO V. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.	123
5.1 INTRODUCCIÓN.	124
5.2 TRATAMIENTO ESTADISTICO Y GRÁFICOS DE LOS RESULTADOS.	124
5.2.1 GRÁFICOS DE RESULTADOS	130
5.3 ANÁLISIS Y CRITERIOS DE ADAPTACIÓN DEL MÉTODO DISEÑO DE MEZCLAS DE PESO NORMAL ACI 211.1.	132
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	135
6.1 CONCLUSIONES	136
6.2 RECOMENDACIONES.....	139
BIBLIOGRAFÍA	141
REFERENCIAS A NORMAS ASTM (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS)	143
ANEXOS	146
ANEXO 3.1 RESULTADOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO (ASTM C-136).....	147
ANEXO 3.2 RESULTADOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO (ASTM C-136).	148
ANEXO 3.3 RESULTADOS DEL ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO (ASTM C-128).....	149
ANEXO 3.4 RESULTADOS DEL ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO (ASTM C-127).....	150
ANEXO 3.5 RESULTADOS DEL ENSAYO DE PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO (ASTM C-29).....	151
ANEXO 3.6 RESULTADOS DEL ENSAYO DE PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO (ASTM C-29).	152
ANEXO 4.1 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LAS DOSIFICACIONES DEL CONCRETO	153
ANEXO 4.2 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LOS ESPECÍMENES DE MORTERO (ASTM C-109).....	163
ANEXO 5.1 GRÁFICOS DE RESULTADOS DE LAS DOSIFICACIONES DEL CONCRETO.....	164
ANEXO 5.2 GRÁFICOS DE RELACIÓN A/C VRS RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.	174

ÍNDICE DE FIGURAS

CONTENIDO	Nº DE PAGINA
CAPÍTULO II	
Figura 2.1 Etapas en la producción del cemento Portland, a través del proceso seco.	.34
Figura 2.2 Plantel “El Ronco” de producción de cemento en El Salvador.	.35
Figura 2.3 Aparato de Blaine para la determinación de la finura del cemento.	.36
Figura 2.4 Turbidímetro de Wagner para la determinación de la finura del cemento.	.36
Figura 2.5 Ensayo de sanidad ó expansión en Autoclave (ASTM C-151).	.37
Figura 2.6 Ensayo de consistencia para morteros usando la mesa de fluidez (ASTM C-230).	.37
Figura 2.7 Ensayo del tiempo de fraguado en pasta usando la aguja de Vicat (ASTM C-191).	.38
Figura 2.8 Ensayo del tiempo de fraguado determinado por la aguja de Gillmore (ASTM C-266).	.38
Figura 2.9 Tiempo de fraguado para cementos Portland (Gebhardt 1995 y PCA 1996).	.39
Figura 2.10 Elaboración y ensayo a la compresión de cubos de dos pulgadas ASTM C-109.	.41
Figura 2.11 El calor de hidratación se determina por la norma ASTM C-186.	.42
Figura 2.12 Acopio de Grava para concreto.	.52
Figura 2.13 Acopio de Arena para concreto.	.52
Figura 2.14 Análisis granulométrico de agregados ASTM C-136.	.52
Figura 2.15 Limites granulométricos de agregado fino ASTM C-33 y tamaño Granulométrico de agregado grueso comúnmente utilizado.	.53
Figura 2.16 Humedad y absorción del agregado.	.56
Figura 2.17 Clasificaciones de los Agregados de Peso Normal.	.57
Figura 2.18 Agua para concreto hidráulico.	.59
Figura 2.19 Diferentes tipo de aditivos para concreto hidráulico.	.60
Figura 2.20 Colocación de concreto en estado fresco.	.62
Figura 2.21 Obrero elaborando concreto mediante una concretera.	.63
Figura 2.22 Concreto con alto revenimiento.	.64
Figura 2.23 Agua de sangrado en la superficie de una losa.	.65
Figura 2.24 Vibrado del concreto en obra.	.66
Figura 2.25 Curado de especímenes de concreto.	.68
Figura 2.26 Variación de resistencias típicas para relaciones agua-cemento de concreto de cemento Portland basadas en más de cien diferentes mezclas de concreto moldeadas entre 1985 y 1999.	.70
Figura 2.27 Ensayo a compresión del concreto en cilindros de 150x300mm.	.71
Figura 2.28 Aparato para medir la resistencia a abrasión del concreto (ASTM C-779).	.73
Figura 2.29 Diagrama de dosificación.	.75

CAPÍTULO III

Figura 3.1 Granulometría de agregado fino que se utilizará en los especímenes de concreto.	.82
Figura 3.2 Relación Agua/Cemento (A/C) y la resistencia a la compresión del concreto sin aire incluido.	.99

CAPÍTULO IV

Figura 4.1 Ensayo de revenimiento en mezcla de concreto hidráulico.	113
Figura 4.2 Medición de temperatura en mezcla de concreto hidráulico.	114
Figura 4.3 Ensayo de peso unitario en mezcla de concreto hidráulico.	117
Figura 4.4 Secuencia de elaboración de especímenes de concreto hidráulico.	119
Figura 4.5 Ensayo a compresión de especímenes de concreto hidráulico.	120
Figura 4.6 Elaboración de cubos de mortero hidráulico.	121
Figura 4.7 Cubos de mortero hidráulico sometidos a ensayo de compresión.	122

CAPÍTULO V

Figura 5.1 Distribución de frecuencias de 46 resultados de resistencia y su correspondiente distribución normal (Figura 3.3(a) ACI 214).	127
Figura 5.2 Curva normal para diferentes coeficientes de variación (Figura 4.1(c) ACI 214).	127

ÍNDICE DE TABLAS

CONTENIDO	Nº DE PAGINA
CAPÍTULO III	
Tabla 3.1 Factor de modificación de la desviación estándar.	.88
Tabla 3.2 Resistencia promedio requerida f'_{cr} cuando no hay datos disponibles de desviación estándar.	.89
Tabla 3.3 Porcentaje esperado de ensayos más bajos que la resistencia especificada f'_c .	.91
Tabla 3.4 Revenimientos recomendados para varios tipos de construcción (Tabla 6.3.1 ACI 211.1).	.92
Tabla 3.5 Requerimientos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales de agregado (Tabla 6.3.3 ACI 211.1).	.94
Tabla 3.6 Relación Agua/Cemento (A/C) y la resistencia a la compresión del concreto (Tabla 6.3.4(a) ACI 211.1).	.98
Tabla 3.7 Máximas relaciones A/C permisibles para concreto expuesto a condiciones severas* (Tabla 6.3.4 (b) ACI 211.1).	.99
Tabla 3.8 Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto (Tabla 6.3.6 ACI 211.1).	101
Tabla 3.9 Primera estimación del peso del concreto fresco (Tabla 6.3.7.1 ACI 211.1).	102
Tabla 3.10 Datos de los materiales para el diseño de mezcla de concreto.	106
Tabla 3.11 Volumen absoluto de los materiales por metro cúbico.	107
Tabla 3.12 Resumen de diseños de mezcla a utilizar en la investigación.	109
CAPÍTULO V	
Tabla 5.1. Normas para el control del concreto con $f'_c \leq 350$ kg/cm ² (Tabla 3.2 ACI 214).	128
Tabla 5.2. Normas para el control del concreto con $f'_c > 350$ kg/cm ² (Tabla 3.3 ACI 214).	128
Tabla 5.3. Requerimientos físicos de los cementos ASTM C-1157 (Tabla 1 ASTM C-1157).	129
Tabla 5.4. Resultados obtenidos de la Relación Agua/Cemento (A/C) y la resistencia a la compresión del concreto usando cemento ASTM C-1157 Tipo GU.	133
Tabla 5.5. Resultados obtenidos de la Relación Agua/Cemento (A/C) y la resistencia a la compresión del concreto usando cemento ASTM C-1157 Tipo HE.	133

RESUMEN EJECUTIVO

Atendiendo a la necesidad que se tiene de profundizar en el conocimiento de la Tecnología del Concreto en El Salvador, se presenta la siguiente investigación orientada al estudio de los procedimientos a seguir para la elección de las proporciones de los materiales en el diseño de una mezcla de concreto, aplicando para ello la “Práctica Estándar para seleccionar el Proporcionamiento de Concreto de Peso Normal ACI 211.1” y utilizando en el proceso de diseño cementos bajo la norma ASTM C-1157 Tipo GU y ASTM C-1157 Tipo HE.

Esta investigación consta de seis Capítulos, en el Capítulo I “Generalidades” se presenta de una manera sintética los aspectos generales de la investigación, en el cual se exponen los objetivos de la investigación, como se planea realizarla, el planteamiento del problema, limitantes y alcances de la investigación.

En el Capítulo II denominado “Fundamentos Teóricos” se realiza una recopilación de los conocimientos necesarios aplicables en la investigación, abordando principalmente temas sobre el concreto, como son: cada uno de los componentes de la mezcla de concreto y sus características, el comportamiento del concreto en estado fresco, las características del concreto en estado endurecido y finalmente se hace una descripción del Método ACI 211.1 para la dosificación de mezclas de concreto.

En el Capítulo III denominado “Aplicación del Método de diseño de mezclas de concreto de peso normal según ACI 211.1” se inicia con el trabajo de laboratorio, realizando ensayos a los materiales a utilizar en el diseño y elaboración de las mezclas de concreto. En este capítulo se expone cada uno de los pasos a seguir en el proceso de diseño de mezclas de concreto aplicando el método ACI 211.1 y se muestra el proporcionamiento de los materiales a utilizar en la elaboración de los especímenes cilíndricos de concreto.

El Capítulo IV llamado “Elaboración y ensayo de especímenes de concreto hidráulico”, consiste en la realización de ensayos de laboratorio que garanticen un control de calidad del concreto en estado fresco, tales como: revenimiento (ASTM C-143), temperatura (ASTM C-1064) y peso volumétrico (ASTM C-138); de la misma manera al concreto en estado endurecido se le determina la resistencia a la compresión que posee a los veintiocho días (ASTM C-39); Además se realizan pruebas de resistencia a la compresión de cada uno de los cementos utilizados en la investigación (ASTM C-109).

En el Capítulo V denominado “Tratamiento estadístico y análisis de resultados” se muestran los resultados de resistencia a la compresión del concreto y se desarrolla un tratamiento estadístico para analizar e interpretar de manera correcta los datos obtenidos, generando así las nuevas curvas de la relación agua/cemento versus resistencia a la compresión de cada uno de los cementos utilizados en la investigación, además se muestran los criterios de adaptación del método de diseño de mezclas ACI 211.1 utilizando los cemento ASTM C-1157 Tipo GU y Tipo HE.

Finalmente en el Capítulo VI se presentan las Conclusiones y Recomendaciones basadas en los resultados obtenidos en la investigación.

INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia el concreto es el elemento más usado en el ámbito mundial de la construcción, elemento que ha ido evolucionando a lo largo del tiempo y en consecuencia también las exigencias en cada una de sus aplicaciones, es así que este elemento juega un rol significativo para el desarrollo de nuestro país, en donde los ingenieros son los llamados a tomar plena conciencia sobre su uso.

Cuando se construyen estructuras de concreto que deben cumplir con requisitos de calidad, seguridad, y vigencia en el tiempo que se espera de ellas, hay muchos aspectos que deben ser considerados, tales como: el conocimiento profundo de los componentes de la mezcla, la adecuada selección de los materiales, la comprensión de las propiedades del concreto, los criterios de diseño de las proporciones de la mezcla más adecuada para cada caso, el proceso de puesta en obra, el control de la calidad del concreto y los más adecuados procedimientos de mantenimiento y reparación de la estructura.

La demanda del concreto ha impulsado la formulación de diferentes métodos de diseños de mezcla, métodos que permiten a los usuarios conocer no sólo las dosis de los componentes del concreto, sino también la forma más apropiada para elaborar la mezcla; la selección de las dosificaciones de concreto implica un balance entre economía y los requisitos específicos de la obra, que se rigen por el uso del concreto y las condiciones que se espera encontrar en el momento de su colocación.

Este trabajo pretende ser un aporte más al conocimiento del concreto y, específicamente está orientado al estudio de los procedimientos a seguir para la elección de las proporciones de los materiales en el proceso de diseño de la mezcla del concreto; aplicando para ello la “Práctica Estándar para seleccionar el Proporcionamiento de Concreto de Peso Normal ACI 211.1” y utilizando en el proceso de diseño cementos bajo la norma ASTM C-1157 Tipo GU y ASTM C-1157 Tipo HE, ya que originalmente este método considera en todos los

procedimientos de cálculo el cemento ASTM C-150 Tipo I, se reproducirá la gráfica de resistencia a la compresión a los veintiocho días versus la relación agua/material cementante para cada tipo de cemento, con el fin de obtener la información base para plantear una adaptación del método original, al uso de estos dos tipos de cemento.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

El desarrollo del cemento Portland es el resultado de la investigación persistente de la ciencia y la industria para producir un cemento natural de calidad superior. Desde la antigüedad se emplearon pastas, greda y morteros elaborados con arcilla, yeso o cal para unir mampuestos en las edificaciones. Fue en la Antigua Grecia cuando empezaron a usarse tobas volcánicas extraídas de la isla de Santorini, los primeros cementos naturales. En el siglo I antes de Cristo se empezó a utilizar el cemento natural en la Antigua Roma, obtenido en Pozzuoli, cerca del Vesubio, la bóveda del Panteón es un ejemplo de ello. En el siglo XVIII John Smeaton construye la cimentación de un faro en el acantilado de Edystone, en la costa Cornwall, empleando un mortero de cal calcinada. En el siglo XIX, Joseph Aspdin y James Parker patentaron en 1824 el Cemento Portland, denominado así por su color gris verdoso oscuro similar a la piedra de Portland. Isaac Johnson, en 1845, obtiene el prototipo del cemento moderno, con una mezcla de caliza y arcilla calcinada a alta temperatura. En el siglo XIX surge el auge de la industria del cemento, debido a los experimentos de los químicos franceses Vicat, Le Chatelier y el alemán Michaélis, que logran cemento de calidad homogénea.

La producción masiva del cemento empezó en Bélgica, Francia y Alemania en la mitad del siglo XIX. El primer cemento Portland producido en E.E.U.U. se fabricó en una planta en Coplay, Pensilvania, en 1871. La producción de cemento en Latinoamérica empezó al final del siglo XIX y principio del siglo XX: 1888 en Brasil, 1897 en Guatemala, 1898 en Cuba, 1903 en México, 1907 en Venezuela, 1908 en Chile, 1909 en Colombia, 1912 en Uruguay, 1916 en Perú, 1919 en Argentina, 1923 en Ecuador, 1926 en Paraguay, 1928 en Bolivia y más recientemente en 1936 en Puerto Rico, 1941 en Nicaragua y 1949 en El Salvador¹.

Quizás nunca sabremos con exactitud quien inventó el primer concreto, ya que las primeras mezclas probablemente resultaron en materiales

¹ Oliver Bowles, A. Taeves. Cement in Latin America. U.S. Dept. of the Interior, Bureau of Mines, 1986.

quebradizos o fácilmente desintegrables, cualquier indicio de éstos se han desvanecido desde hace mucho tiempo. Una cosa es clara: el concreto no apareció completamente desarrollado, gradualmente evolucionó a través de los siglos.

El concreto más antiguo descubierto data de cerca de los años 7,000 antes de Cristo y fue encontrado en el año 1985, cuando se destapo un piso de concreto durante la construcción de una carretera en Yiftah El, en Galilea, Israel. Este consiste en un concreto de cal, preparado con caliza calcinada para producir cal rápida (cal viva, cal virgen), la cual al mezclarse con el agua y la piedra, se endureció formando el concreto (Brown 1996 y Auburn 2000).

En 1901 Maillart proyecta un puente en arco de 38 metros de luz sobre el río Inn, en Suiza, construido con vigas cajón de concreto armado; entre 1904 y 1906 diseña el puente de Tavanasa, sobre el río Rin, con 51 metros de luz, el mayor de Suiza. Claude A.P. Turner realiza en 1906 el edificio Bovex de Minneapolis (EE.UU.), con los primeros pilares de amplios capiteles.

En el año de 1912 se inicio una nueva época en la construcción salvadoreña, al introducirse el concreto armado, sistema monolítico y antisísmico en edificios ubicados en el centro de la capital, como el Teatro Nacional, el Telégrafo, la ex Casa Presidencial y otros en el interior de la República como la torre de San Vicente y el Palacio Municipal de Usulután.²

En los años recientes el uso del concreto hidráulico en la construcción de El Salvador se ha intensificado. La principal empresa fabricante de cemento, junto con las principales empresas productoras de concretos premezclados, ha impulsado un esfuerzo serio para promover cada vez más el uso del concreto hidráulico. Producto de este esfuerzo ha sido la fundación del Instituto

² "Estudio de Concreto Con Alta Resistencia a la Agresión Provocada por la Contaminación del Medio Ambiente". Santos Fernando, Alberto Santos. Trabajo de Graduación. UES. 1994. pp.4.

Salvadoreño del Cemento y del Concreto (ISCYC), el cual apoya técnicamente a todas las empresas dedicadas a la industria de la construcción y a las instituciones de educación superior, a través de investigaciones, asesoría, seminarios, congresos, biblioteca y servicios de laboratorio relacionados con la tecnología del concreto en El Salvador.

Por su proximidad geográfica, y por estar dentro de sus áreas de influencia, el método de diseño de mezclas de concreto más utilizado en El Salvador es el método del Instituto Americano del Concreto, llamado ACI 211.1 y algunas variantes de éste utilizados en México. La práctica estándar para el proporcionamiento de mezclas de peso normal ACI 211.1 fue aprobada por primera vez en el año de 1985 y reprobada en el año 2002, el cual muestra únicamente el cemento ASTM C-150 Tipo I en todos sus cálculos.

El Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto presentó en 1994 normas técnicas que intentaron incorporar algunas variantes al método de diseño de mezclas de concreto del ACI 211.1, normas que emiten recomendaciones orientadas para ser guías en la planeación, diseño, ejecución y supervisión de la construcción a base de concreto, con el fin de adaptarlo a condiciones locales, tanto de control de calidad como de características de los componentes del concreto y de prácticas constructivas.³

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Existen muchos métodos de dosificación, todos ellos requieren de ajustes en las proporciones de los componentes hasta lograr los resultados deseados, es decir, ninguno de ellos debe considerarse como preciso, pues generalmente las tablas o curvas de diseño se basan en mezclas elaboradas en un sitio en específico donde se involucran las características de los materiales locales, y es de esperarse discrepancias que incidan en los resultados.

³ Cañas Lazo, Manuel Antonio y Retana Martínez, Manuel Edgardo. "Comparación de diferentes métodos de diseño de mezclas de concreto hidráulico utilizados en El Salvador con aplicación particular a pavimentos." Universidad Politécnica de El Salvador. Año 1999.

La práctica recomendada para el diseño de mezclas de concretos de peso normal ACI 211.1 describe procedimientos para selección y ajuste de proporciones para concreto de peso normal, este método proporciona una primera aproximación de las dosificaciones pretendidas para ser verificadas por mezclas de prueba de laboratorio o en el campo, y ajustadas las veces que sea necesario para producir las características deseadas en el concreto. Actualmente estos ajustes que deben de hacerse en la dosificación inicial son demasiado grandes, ya que originalmente el método ACI 211.1 aplica para todos sus procedimientos de cálculo el cemento bajo la norma ASTM C-150 Tipo I, cemento que no se encuentra fácilmente en el mercado salvadoreño. Éstos grandes ajustes implican un consumo extra de tiempo, materiales y personal; que se traducen en el encarecimiento del concreto.

Por lo anteriormente descrito, se plantea la necesidad de adaptar el método de diseño de mezclas ACI 211.1 a los cementos disponibles en El Salvador, ASTM C-1157 Tipo GU y ASTM C-1157 Tipo HE, de manera que se encuentre una curva más precisa de la resistencia a la compresión a los veintiocho días versus la relación agua/material cementante, minimizando así, los ajustes en los diseños iniciales, lo que conlleva a la optimización de recursos en el proceso de diseño de mezclas.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

- Evaluar mezclas de concreto elaboradas con cementos ASTM C-1157 Tipo GU y ASTM C-1157 Tipo HE basadas en el método de diseño de mezclas ACI 211.1.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar cinco diseños de mezclas por cada cemento a utilizar, para una resistencia a la compresión promedio requerida de 120 kg/cm², 160 kg/cm², 230 kg/cm², 300 kg/cm² y 370 kg/cm².

- Elaborar treinta probetas cilíndricas de concreto para cada uno de los diseños de mezcla, analizando la calidad del concreto en estado fresco y la resistencia a la compresión a los veintiocho días en el concreto endurecido.
- Reproducir la gráfica de resistencia a la compresión del concreto a los veintiocho días versus la relación agua/material cementante utilizando los cementos ASTM C-1157 Tipo GU y ASTM C-1157 Tipo HE.
- Establecer los parámetros y criterios necesarios para adaptar el método de diseño de mezclas de concreto de peso normal ACI 211.1 a los cementos ASTM C-1157 Tipo GU y ASTM C-1157 Tipo HE.

1.4 ALCANCES

- Con el desarrollo del presente estudio se contribuirá a la industria de la construcción de El Salvador, reproduciendo la gráfica de resistencia a la compresión a los veintiocho días versus la relación agua/material cementante incluida en el procedimiento de diseño de mezclas de concreto ACI 211.1 utilizando los cementos ASTM C-1157 Tipo GU y ASTM C-1157 Tipo HE.
- Para el diseño de mezclas de concreto con cementos ASTM C-1157 Tipo GU y Tipo HE, se realizarán pruebas de laboratorio al cemento, a los elementos pétreos, al concreto en estado fresco y al concreto endurecido bajo las normas de ASTM que exige el procedimiento de diseño de mezclas de concreto ACI 211.1. Se determinará la resistencia a la compresión de morteros creados con cemento ASTM C-1157 Tipo GU y Tipo HE (ASTM C-109). A los componentes pétreos del concreto se le practicarán las siguientes pruebas: Granulometría de los agregados (ASTM C-136), Gravedad específica y absorción del agregado grueso y fino (ASTM C-127-128), Peso volumétrico de los agregados (ASTM C-29) y Contenido de humedad de agregados (ASTM C-566). Al concreto fresco se le practicarán

las pruebas siguientes: Medición de la temperatura del concreto recién mezclado (ASTM C-1064), Revenimiento del concreto de cemento hidráulico (ASTM C-143), Densidad en una mezcla de concreto (ASTM C-138), Elaboración y curado de los cilindros de concreto (ASTM C-192M). Por último se realizará la prueba de Esfuerzo de compresión a los 28 días en especímenes cilíndricos de concreto (ASTM C-39/C-39M).

- Con los resultados de la investigación se compararán las tres gráficas de la resistencia a la compresión a los veintiocho días versus la relación agua /material cementante de los cementos ASTM C-150 Tipo I, ASTM C-1157 Tipo GU y ASTM C-1157 Tipo HE, para analizar las similitudes-diferencias en la adaptación del método ACI 211.1 a los cementos mencionados.

1.5 LIMITANTES

- Bajo la norma ASTM C-1157 existen varios tipos de cemento; ASTM C-1157 Tipo GU, cemento adecuado para todas las aplicaciones donde las propiedades especiales de los otros tipos no sean necesarias; ASTM C-1157 Tipo HE, proporciona alta resistencia en edades tempranas; ASTM C-1157 Tipo MS, cemento pensado y fabricado para resistir el contacto moderado directo a sulfatos; ASTM C-1157 Tipo HS, cemento fabricado para resistir el contacto severo a sulfatos; ASTM C-1157 Tipo MH, el cual es fabricado donde se requiera un calor de hidratación moderado y se deba controlar el aumento de la temperatura; y por último el cemento ASTM C-1157 Tipo LH, que se usa donde la tasa y la cantidad del calor generado por la hidratación deban ser minimizadas. Para nuestra investigación solo analizaremos los concretos elaborados con cementos ASTM C-1157 Tipo GU y Tipo HE, ya que son los cementos de mayor comercialización en el país; con lo que no se podrán analizar todos los cementos de la Norma ASTM C-1157 ya que se cuenta con un tiempo establecido para desarrollar la investigación.

- La adaptación del método de diseño de mezclas ACI 211.1 con cementos ASTM C-1157 Tipo GU y ASTM C-1157 Tipo HE, no contempla la implementación de aditivos en ninguno de sus cálculos y/o procesos.
- En esta investigación se tiene como principal objetivo encontrar la gráfica de la resistencia a la compresión a los veintiocho días versus relación agua/material cementante con cementos ASTM C-1157 Tipo GU y ASTM C-1157 Tipo HE, con el fin de incluir estas gráficas en el método de diseño de mezclas ACI 211.1 y no con el objeto de cambiar la metodología y/o el proceso de diseño que este método plantea.
- El laboratorio del Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto cuenta con un espacio reducido para el almacenamiento y curado de los especímenes cilíndricos de concreto.
- La investigación para adaptar el método de diseño de mezclas ACI 211.1 con los cementos ASTM C-1157 Tipo GU y HE se realizará en el laboratorio bajo condiciones controladas y no se verificarán los resultados en concretos elaborados en obra, debido a la participación de muchos factores externos difíciles de prever.

1.6 JUSTIFICACIÓN

El costo del concreto es la suma del costo de los materiales, de la mano de obra y el equipo empleado en su fabricación. Sin embargo excepto para algunos concretos especiales, el costo de la mano de obra y el equipamiento son muy independientes del tipo y calidad del concreto producido. Por lo tanto, los costos de los materiales son los más importantes y los que se deben tomar en cuenta para comparar diseños de mezclas diferentes. Debido a que el cemento es más costoso que los materiales pétreos, es claro que para el constructor, minimizar el contenido del cemento en la mezcla de concreto es el factor más importante para reducir su costo. Encontrar los gráficos que muestren el esfuerzo a compresión del

concreto a los veintiocho días versus la relación agua/material cementante de los cementos ASTM C-1157 Tipo GU y ASTM C-1157 Tipo HE, cementos disponibles en el mercado salvadoreño, permitiría aplicar el método de diseño de mezclas de concreto ACI 211.1 con mayor precisión y con las cantidades exactas de los materiales a utilizar, evitando realizar grandes ajustes a los diseños iniciales, lo que se traduce en un balance entre trabajabilidad, durabilidad, resistencia y economía del concreto.

“El adecuado proporcionamiento de los componentes del concreto dan a este la resistencia, durabilidad, comportamiento, consistencia, trabajabilidad y otras propiedades que se necesitan en determinada construcción y en determinadas condiciones de trabajo y exposición de este, además con el óptimo proporcionamiento se logrará evitar las principales anomalías en el concreto fresco y endurecido como la segregación, exudación, fisuramiento por contracción plástica y secado entre otras⁴”.

⁴ Miguel Antonio Velado. Diseño de mezclas por el método del ACI. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú 2006.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 INTRODUCCIÓN

El concreto hidráulico es un compuesto que resulta de la mezcla de material cementante, arena, grava, agua y en algunos casos aditivos, que al fraguar y endurecer adquieren propiedades similares a las de las rocas naturales más resistentes. Cuando se utiliza concreto hidráulico en las construcciones, éste tiene que ser diseñado y elaborado bajo un estricto control de calidad, conforme a parámetros de las normas ASTM y los Comités ACI.

En nuestro país el método de diseño de mezclas de concreto más utilizado es el ACI 211.1 que describe procedimientos para la dosificación de concreto de peso normal, donde utiliza las características de cada uno de los elementos que conforman el concreto para establecer una dosificación inicial que debe verificarse y ajustarse hasta lograr las propiedades deseadas en el concreto.

Es por esto que en este capítulo, se abordan los principales temas sobre el concreto, como son: cada uno de los componentes de la mezcla y sus características, el comportamiento en estado fresco del concreto, las etapas de fraguado, las propiedades del concreto en estado endurecido y finalmente se hace una descripción del método ACI 211.1 para el diseño de mezclas de concreto.

2.2 FUNDAMENTOS DEL CONCRETO HIDRÁULICO

2.2.1 DEFINICIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO

El concreto es una roca artificial utilizada como material de construcción bastante resistente, que inicialmente tiene una estructura plástica y moldeable, por lo que puede adoptar casi cualquier forma; y que posteriormente adquiere una consistencia rígida con propiedades aislantes y resistentes. Al concreto también se le conoce en otros países con el nombre de hormigón. Hormigón procede del término *formicō*, palabra latina que alude a la cualidad de «moldeable» o «dar forma». El término concreto también es originario del latín: *concretus*, que significa «crecer unidos», o «unir».

2.2.2 COMPONENTES DEL CONCRETO

El concreto es básicamente una mezcla de dos componentes: agregados y pasta. La pasta, compuesta de cemento Portland y agua, une los agregados, normalmente arena y grava, creando una masa similar a una roca. Esto ocurre por el endurecimiento de la pasta en consecuencia de la reacción química del cemento con el agua. Otros materiales cementantes (cementicios, cementosos) y adiciones minerales se pueden incluir en la pasta.

Es de importancia la calidad de los materiales que constituyen el concreto para poder obtener una resistencia estable, una durabilidad óptima y bajos costo en los proyectos de construcción; el buen trabajo de la matriz cementante con los agregados, dependerá entonces de diversos factores de los que podríamos mencionar las características físicas y químicas del cementante, la composición mineralógica y petrográfica de las rocas que constituyen los agregados, la forma tamaño máximo y textura superficial de estos.

Sabemos que la durabilidad del concreto esta ligada a la durabilidad individual de sus componentes, y de éstos los agregados son los señalados como los principales modificadores de ésta; ya que la producción de cemento esta normada y tecnificada en el país, no así la producción y obtención de pétreos, sin embargo; son normas internacionales estándar, las que rigen su uso para ser empleadas siempre y cuando cumplan con la calidad deseada.

2.3 CEMENTOS

2.3.1 DEFINICIÓN DE CEMENTO

Es un polvo químico seco, que al mezclarse con el agua adquiere propiedades aglutinantes, tanto adhesivas como cohesivas, las cuales le dan la capacidad de aglutinar fragmentos minerales para formar un todo compacto.

Los cementantes hidráulicos que se utilizan para la fabricación del concreto,

fraguan y endurecen al reaccionar químicamente con el agua, a esta reacción se le conoce como hidratación, la cual a medida se desarrolla vuelve al concreto más duro y resistente.

2.3.2 FABRICACIÓN DEL CEMENTO

El cemento Portland se produce por la pulverización del clínker, el cual consiste principalmente en silicatos de calcio hidráulicos. El clínker contiene algunos aluminatos de calcio y ferroaluminatos de calcio y una o más formas de sulfato de calcio (yeso), que se muelen conjuntamente con el clínker para la fabricación del producto final.

Los materiales usados para la producción del cemento Portland deben contener cantidades apropiadas de los compuestos de calcio, sílice, alúmina y hierro. Durante la fabricación, se hace análisis químico frecuente de todos los materiales para garantizarse una calidad alta y uniforme del cemento.

Las materias primas (caliza, marga y hematita) se transportan de la cantera, se trituran, se muelen y se dosifican de tal manera que la harina resultante tenga la composición deseada. La harina cruda es generalmente una mezcla de material calcáreo (carbonato de calcio), tal como la caliza y material arcilloso (sílice y alúmina), tal como arcilla, pizarra (esquistos) o escoria de alto horno. El cemento se fabrica tanto por vía seca como por vía húmeda. En el proceso de vía seca (proceso utilizado en El Salvador), las operaciones de molienda y mezcla se efectúan con los materiales secos (*Ver Figura 2.1*), y en el proceso vía húmeda los materiales se mezclan con agua en la forma de lechada.

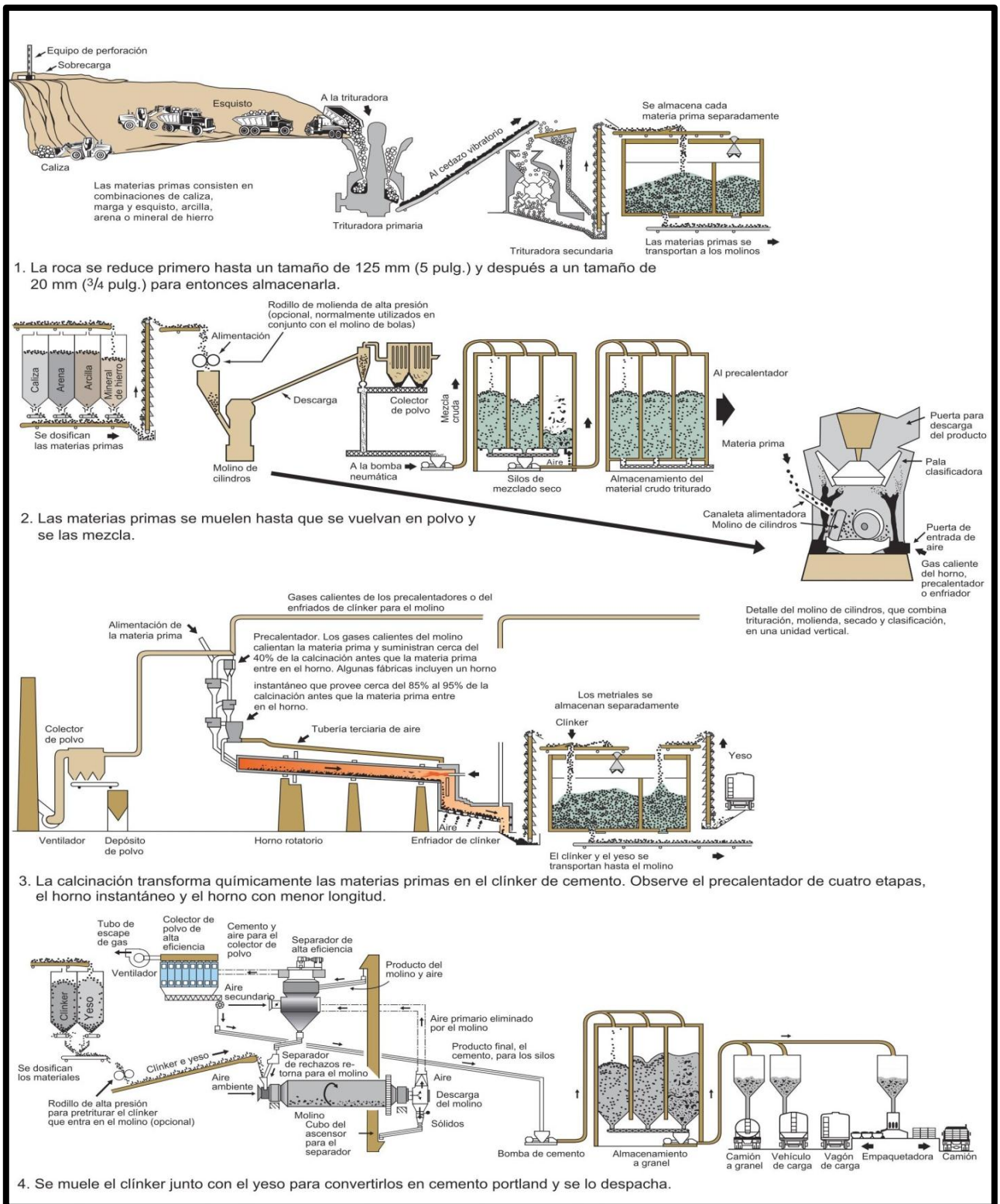


Figura 2.1 Etapas en la producción del cemento Portland, a través del proceso seco.⁵

⁵ Kosmatka, Steven H.; Kerkhoff, Beatrix; Panarese, William C.; y Tanesi, Jussara: Diseño y Control de Mezclas de Concreto, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, EE.UU. 2004. p.p. 27.

Después del mezclado, se alimenta la materia prima molida en la parte superior del horno. La harina cruda pasa a lo largo del horno en una tasa controlada por la inclinación y la velocidad de rotación del horno. El combustible (carbón, aceite nuevo o reciclado, fuel-oil, gas natural, llantas de goma y subproductos) se fuerza hacia la parte inferior del horno donde las temperaturas de 1400°C a 1550°C cambian químicamente el material crudo en clínker, pelotitas grises con tamaño predominante de canicas. Después de esto, el clínker se enfría y se pulveriza. Durante esta operación, se adiciona una pequeña cantidad de yeso para controlar el tiempo de fraguado (fragüe) del cemento y para que se mejoren las propiedades de contracción (retracción) y el desarrollo de resistencia (Lerch 1946 y Tang 1992). En el molino, el clínker se muele tan fino que puede pasar, casi completamente, a través de un tamiz (cedazo) de 45 micrómetros (malla No. 325). Este polvo gris extremadamente fino es el cemento Portland.



Figura 2.2 Plantel “El Ronco” de producción de cemento en El Salvador.

2.3.3 PROPIEDADES FÍSICAS DEL CEMENTO⁶

Las especificaciones de cemento presentan límites para las propiedades físicas y para la composición química, es por ello que la comprensión de la importancia de las propiedades físicas es útil para la interpretación de los resultados de los ensayos (pruebas) de los cementos. Los ensayos de las propiedades físicas de los cementos se deben utilizar para la evaluación de las propiedades del cemento y

⁶ Kosmatka, Steven H.; Kerkhoff, Beatrix; Panarese, William C.; y Tanesi, Jussara: Diseño y Control de Mezclas de Concreto, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, EE.UU. 2004.

no del concreto. Las especificaciones del cemento limitan las propiedades de acuerdo con el tipo de cemento.

Durante la fabricación del cemento, se monitorean continuamente la química y las siguientes propiedades:

A- TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS Y FINURA

El cemento Portland consiste en partículas angulares individuales, con una variedad de tamaños resultantes de la pulverización del clínker en el molino. Aproximadamente 95% de las partículas del cemento son menores que 45 micrómetros, con un promedio de partículas de 15 micrómetros. La distribución total del tamaño de las partículas del cemento se llama "finura". La finura del cemento afecta el calor liberado y la velocidad de hidratación. La mayor finura del cemento (partículas menores) aumenta la velocidad o tasa de hidratación del cemento y, por lo tanto, acelera el desarrollo de la resistencia. Los efectos de la mayor finura sobre la resistencia de las pastas se manifiestan, principalmente, durante los primeros siete días.

La norma utilizada para la determinación de la finura del cemento hidráulico es la ASTM C-204 utilizando el aparato de Blaine (Ver Figura 2.3); Así como también se suele utilizar el método del turbidímetro de Wagner según la norma ASTM C-115 (Ver Figura 2.4).



Figura 2.3 y 2.4 Aparato de Blaine (izquierda) y turbidímetro de Wagner (Derecha) para la determinación de la finura del cemento.

B- SANIDAD (CONSTANCIA DE VOLUMEN)

La sanidad se refiere a la habilidad de la pasta de cemento en mantener su volumen. La falta de sanidad o la expansión destructiva retardada se puede causar por la cantidad excesiva de cal libre o magnesia supercalcinadas. La mayoría de las especificaciones para cemento Portland limitan el contenido de magnesia (periclasa) y la expansión máxima que se mide por el ensayo de expansión en autoclave. (Gonnerman, Lerch y Whiteside 1953).



Figura 2.5 Ensayo de sanidad ó expansión en Autoclave (ASTM C-151).

C- CONSISTENCIA

La consistencia se refiere a la movilidad relativa de la mezcla fresca de pasta o mortero de cemento o su habilidad de fluir. La fluidez de los morteros se determina en una mesa de fluidez (mesa de caídas, mesa de sacudidas) como se describe en la norma ASTM C-230 (Ver Figura 2.6).



Figura 2.6 Ensayo de consistencia para morteros usando la mesa de fluidez (ASTM C-230).

D- TIEMPO DE FRAGUADO

El objetivo del ensayo (pruebas) del tiempo de fraguado es la determinación (1) del tiempo que pasa desde el momento de la adición del agua hasta cuando la pasta deja de tener fluidez y de ser plástica (llamado fraguado inicial) y (2) del tiempo requerido para que la pasta adquiera un cierto grado de endurecimiento (llamado fraguado final).

Para determinar si un cemento se fragua de acuerdo con los límites establecidos en las especificaciones de cemento, los ensayos se realizan con el uso del aparato de Vicat o la aguja de Gillmore. El ensayo de Vicat gobierna si no se especifica ningún ensayo por parte del comprador (*Ver Figura 2.7 y 2.8*). El inicio del fraguado de la pasta de cemento no debe ocurrir demasiado temprano y el final del fraguado no debe ocurrir muy tarde (*Ver Figura 2.9*). Los tiempos de fraguado indican si la pasta está o no sufriendo reacciones normales de hidratación. El sulfato (del yeso u otras fuentes) en el cemento regula el tiempo del fraguado, pero este tiempo también se afecta por la finura, relación agua-cemento y cualquier aditivo empleado. El tiempo de fraguado del concreto no tiene correlación directa con el de las pastas debido a la pérdida de agua para el aire o sustrato (lecho), presencia de agregado y diferencias de temperatura en la obra (en contraste con las temperaturas controladas en el laboratorio).



Figura 2.7 Ensayo del tiempo de fraguado en pasta usando la aguja de Vicat (ASTM C-191).

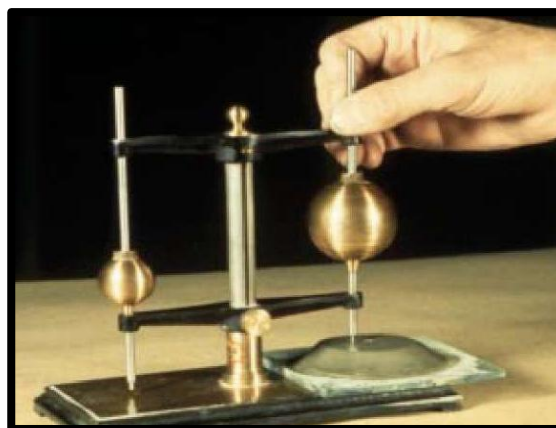


Figura 2.8 Ensayo del tiempo de fraguado determinado por la aguja de Gillmore (ASTM C-266)

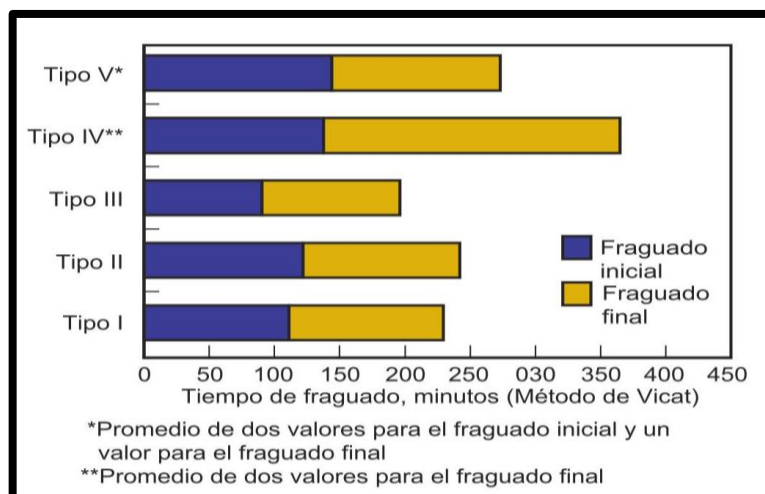


Figura 2.9 Tiempo de fraguado para cementos Portland (Gebhardt 1995 y PCA 1996).

E- ENDURECIMIENTO PREMATURO (FALSO FRAGUADO Y FRAGUADO RÁPIDO)

El endurecimiento prematuro es el desarrollo temprano de la rigidez en las características de trabajabilidad o plasticidad de la pasta, mortero o concreto de cemento. Esto incluye ambos fraguados, el falso y el rápido.

El falso fraguado se evidencia por la pérdida considerable de plasticidad, inmediatamente después del mezclado, sin ninguna evolución de calor. Desde el punto de vista de la colocación y manejo, las tendencias de fraguado falso en el cemento no van a causar problemas, si se mezcla el concreto por un tiempo más largo que el usual o si el concreto es remezclado sin añadirle agua adicional antes de su transporte y colocación. El falso fraguado ocurre cuando una gran cantidad de sulfatos se deshidrata en el molino de cemento formando yeso. La causa del endurecimiento prematuro es la rápida cristalización o el entrelazamiento de las estructuras en forma de aguja con el yeso secundario. El mezclado complementario sin la adición del agua rompe estos cristales y restablece la trabajabilidad. La precipitación de etringita también puede contribuir para el falso fraguado.

El fraguado rápido se evidencia por una pérdida rápida de trabajabilidad en la pasta, mortero o concreto a una edad aún temprana. Esto es normalmente

acompañado de una evolución considerable de calor, resultante principalmente de la rápida reacción de los aluminatos. Si la cantidad o forma adecuadas de sulfato de calcio no están disponibles para controlar la hidratación del aluminato de calcio, el endurecimiento es aparente. El fraguado rápido no se lo puede disipar, ni tampoco se puede recuperar la plasticidad por el mezclado complementario sin la adición de agua. El endurecimiento correcto resulta de un equilibrio cuidadoso de los compuestos de sulfato y aluminato, bien como de temperatura y finura adecuadas de los materiales (las cuales controlan la hidratación y la tasa de disolución). La cantidad de sulfato transformado en yeso tiene un efecto significativo. Por ejemplo, con un cemento específico, 2% de yeso permitieron un tiempo de fraguado de 5 horas, mientras que 1% de yeso promovió el fraguado rápido y 3% permitieron el falso fraguado (Helmuth y otros 1995). Los cementos se ensayan para endurecimiento prematuro usando las pruebas del método de la pasta ASTM C-451. Sin embargo, estos ensayos (pruebas) no consideran todos los factores relacionados con el mezclado, colocación, temperatura y condiciones de obra que puedan causar endurecimiento temprano, así como tampoco consideran el endurecimiento prematuro causado por las interacciones con los otros ingredientes del concreto.

F- RESISTENCIA A COMPRESIÓN

La resistencia a compresión es aquella obtenida por la prueba (ensayo). El tipo de cemento, o más precisamente, la composición de los compuestos y la finura del cemento influyen fuertemente la resistencia a compresión. En general, la resistencia del cemento (basada en ensayos en cubos de mortero) no se la puede usar para el pronóstico de la resistencia del concreto con un alto grado de precisión, debido a las muchas variables en las características de los agregados, mezclado del concreto, procedimientos de construcción y condiciones del medioambiente en la obra (Weaver, Isabelle y Williamson 1970 y Dehayes 1990).

Algunas normas como la ASTM C-1157, traen los requisitos de resistencias mínimas y máximas del cemento, mientras que la ASTM C-150 y la ASTM C-595,

como la mayoría de las normas de los países latinoamericanos, presentan solamente requisitos de resistencia mínima.

La norma del método de ensayo para resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico usando especímenes cúbicos de 50 mm es la ASTM C-109 (Ver Figura 2.10).



Figura 2.10 Elaboración y ensayo a la compresión de cubos de dos pulgadas ASTM C-109.

G- CALOR DE HIDRATACIÓN

El calor de hidratación es el calor que se genera por la reacción entre el cemento y el agua. La cantidad de calor generado depende, principalmente, de la composición química del cemento, siendo el C_3A y el C_3S los compuestos más importantes para la evolución de calor. La relación agua-cemento, la finura del cemento y la temperatura de curado también son factores que intervienen en la generación de calor. Un aumento de la finura, del contenido de cemento y de la temperatura de curado aumenta el calor de hidratación (Ver Figura 2.11). A pesar que el cemento Portland puede liberar calor por muchos años, la tasa de generación de calor es mayor en las edades tempranas. Se genera una gran cantidad de calor en los tres primeros días, con la mayor tasa de liberación de calor normalmente ocurriendo a lo largo de las primeras 24 horas (Copeland y otros 1960).

Para la mayoría de los elementos de concreto, tales como losas, el calor generado

no trae preocupación porque el calor se disipa rápidamente en el ambiente. Sin embargo, en estructuras de grandes volúmenes, con espesor mayor de un metro, la tasa y la cantidad de calor generado son importantes. Si este calor no se disipa rápidamente, puede ocurrir un aumento considerable de la temperatura del concreto. Este aumento de temperatura puede ser indeseable, pues después del endurecimiento a altas temperaturas, el enfriamiento no uniforme de la masa de concreto hasta la temperatura ambiente puede crear esfuerzos de tracción indeseables.



Figura 2.11 El calor de hidratación se determina por la norma ASTM C-186.

Por otro lado, el aumento de la temperatura en el concreto causado por el calor de hidratación es frecuentemente beneficioso en clima frío, pues ayuda a mantener las temperaturas favorables para el curado.

H- PÉRDIDA POR IGNICIÓN

La pérdida por ignición (pérdida por calcinación) del cemento Portland se determina por el calentamiento de una muestra de cemento con masa conocida a una temperatura de 900°C a 1000°C, hasta que la masa se mantenga constante. Se determina entonces la pérdida de masa de la muestra. Normalmente, una gran pérdida por ignición es una indicación de prehidratación y carbonatación, las cuales pueden ser resultantes del almacenamiento prolongado o de manera incorrecta, o de la adulteración durante el transporte. El ensayo de pérdida por ignición se realiza de acuerdo con la norma ASTM C-114.

I- MASA ESPECÍFICA Y MASA ESPECÍFICA RELATIVA

La masa específica del cemento (peso específico, densidad) se define como el peso de cemento por unidad de volumen de los sólidos o partículas, excluyéndose el aire entre las partículas. La masa específica se presenta en megagramos por metro cúbico o gramos por centímetro cúbico (el valor numérico es el mismo en las dos unidades). La masa específica del cemento varía de 3.10 hasta 3.25, con promedio de 3.15 Mg/m^3 . El cemento Portland de alto horno y el Portland puzolánico tiene masas específicas que varían de 2.90 hasta 3.15, con promedio de 3.05 Mg/m^3 . La masa específica del cemento no es una indicación de la calidad del cemento, su principal uso es en los cálculos de las proporciones de la mezcla. Para el proporcionamiento de la mezcla, puede ser más útil expresar la masa específica como masa específica relativa, también llamada de gravedad específica, densidad relativa o densidad absoluta. La densidad relativa es un número adimensional determinado por la división de la masa específica del cemento entre la densidad del agua a 4°C . Se supone la masa específica relativa del cemento Portland como siendo 3.15 para su uso en los cálculos volumétricos del proporcionamiento de la mezcla de concreto. Como las proporciones de la mezcla traen las cantidades de los ingredientes del concreto en kilogramos o libras, se debe multiplicar la masa específica relativa por la densidad del agua a 4°C , establecida como 1000 kg/m^3 (62.4 lb/pies^3), para la determinación de la masa específica de las partículas de cemento en kg/m^3 o lb/pies^3 . Este producto se divide por la masa de cemento para que se determine el volumen absoluto de cemento por metro cúbico o pie cúbico. El método de ensayo para la determinación de la densidad del cemento hidráulico es la ASTM C-188.

J- MASA UNITARIA

La masa unitaria (densidad aparente) del cemento se define como masa de las partículas de cemento más el aire entre las partículas por unidad de volumen. La masa unitaria del cemento puede variar considerablemente, dependiendo de como se maneja y almacena el cemento. Si el cemento Portland está muy suelto, puede pesar sólo 830 kg/m^3 (524 lb/pies^3), mientras que cuando se consolida el cemento

a través de vibración, el mismo cemento puede pesar tanto como 1650 kg/m^3 (103 4 lb/pies^3) (Toler 1963). Por esta razón, las buenas prácticas indican que se debe medir el cemento en masa y no en volumen.

2.3.4 CLASIFICACIÓN DEL CEMENTO

Se establecen diversos tipos de cemento, diferentes por su composición, por sus propiedades de resistencia y durabilidad, y por lo tanto por sus destinos y usos.

Existen ocho tipos de cemento Pórtland ASTM C-150, seis tipos de cemento hidráulico mezclado ASTM C-1157, tres tipos de cemento para mampostería ASTM C-91, dos tipos de cemento plástico, tres tipos de cemento expansivos y varios más cementos especiales Pórtland o mezclados. En esta investigación nos enfocaremos en la clasificación de los cementos de acuerdo a las normas ASTM C-150 y ASTM C-1157.

Al especificarse el cemento para un proyecto, se debe estar seguro de la disponibilidad de los tipos de cemento, además, la especificación debe permitir flexibilidad en la selección del cemento. La limitación de un proyecto a un sólo tipo de cemento, una marca o una norma de cemento puede resultar en retrasos del proyecto y puede impedir el mejor uso de materiales locales. No se deben requerir los cementos con propiedades especiales, a menos que características especiales sean necesarias. Además, el uso de materiales cementantes suplementarios no debe inhibir el uso de cualquier cemento Portland o cemento adicionado en particular. Las especificaciones de proyecto deben enfocarse en la necesidad de la estructura de concreto y permitir la utilización de una variedad de materiales para que se alcancen estas necesidades.

2.3.4.1 CEMENTOS PORTLAND (ASTM C-150)

La Especificación Normalizada para Cemento Portland ASTM C-150 clasifica a los cementos de la siguiente manera:

- **TIPO I, CEMENTO DE USO GENERAL.** El cemento Tipo I es un cemento

para uso general, apropiado para todos los usos donde las propiedades especiales de otros cementos no sean necesarias. Sus empleos en concreto incluyen pavimentos, pisos, edificios en concreto armado, puentes, tanques, embalses, tubería, unidades de mampostería y productos de concreto prefabricado y precolado.

- **TIPO II, MODERADA RESISTENCIA A LOS SULFATOS.** El cemento Tipo II se usa donde sean necesarias precauciones contra el ataque por sulfatos. Se lo puede utilizar en estructuras normales o en miembros expuestos a suelos o agua subterránea, donde la concentración de sulfatos sea más alta que la normal pero no severa. El cemento Tipo II tiene propiedades de moderada resistencia a los sulfatos porque contiene no más del 8% de aluminato tricálcico (C_3A).
- **TIPO III, ALTA RESISTENCIA TEMPRANA.** El cemento Tipo III ofrece alta resistencia a edades tempranas, normalmente una semana o menos. Este cemento es química y físicamente similar al cemento Tipo I, a excepción de que sus partículas se muelen más finamente. Es usado cuando se necesita remover las cimbras (encofrados) lo más temprano posible o cuando la estructura será puesta en servicio rápidamente. En clima frío, su empleo permite una reducción en el tiempo de curado. A pesar de que se puede usar un alto contenido de cemento Tipo I para el desarrollo temprano de la resistencia, el cemento Tipo III puede ofrecer esta propiedad más fácilmente y más económicamente.
- **TIPO IV, BAJO CALOR DE HIDRATACIÓN.** El cemento Tipo IV se usa donde se deban minimizar la tasa y la cantidad de calor generado por la hidratación. Por lo tanto, este cemento desarrolla la resistencia en una tasa más lenta que otros tipos de cemento. Se puede usar el cemento Tipo IV en estructuras de concreto masivo, tales como grandes presas por gravedad, donde la subida de temperatura derivada del calor generado durante el

endurecimiento deba ser minimizada.

- **TIPO V, RESISTENCIA AL SULFATO.** El cemento Tipo V se utiliza en concretos expuestos a la acción severa de sulfatos, principalmente donde el suelo y el agua subterránea tienen alta concentración de sulfatos. Su desarrollo de resistencia es más lento que en el cemento tipo I. La alta resistencia a los sulfatos del cemento tipo V se atribuye al bajo contenido de aluminato tricálcico, no excediendo a 5%. El uso de baja relación agua/materiales cementantes y baja permeabilidad son fundamentales para el buen desempeño de cualquier estructura expuesta a los sulfatos.
- **TIPO IA, IIA, Y IIIA, INCLUSORES DE AIRE.** Estos tipos de cemento tienen una composición semejante a los cementos Tipo I, II, y III, excepto que durante la fabricación se muele junto con el clinker Pórtland un material inclusor de aire. Estos cementos producen concretos con resistencias mejoradas contra la acción de la congelación/deshielo y contra la descamación provocada por la aplicación de productos químicos para remover hielo y nieve.

2.3.4.2 CEMENTOS HIDRÁULICOS (ASTM C-1157)

En los años 90 se creó la norma sobre la Especificación de Desempeño para Cemento Hidráulico (ASTM C-1157). En esta especificación se indica genéricamente para los cementos hidráulicos que incluyen cemento Portland, y cemento Portland modificado. Los cementos en acuerdo con los requisitos de la C-1157 satisfacen a los requisitos de ensayos (pruebas) de desempeño físico, oponiéndose a restricciones de ingredientes o de composición química del cemento, las cuales se pueden encontrar en otras especificaciones.

La ASTM C-1157 define un cemento adicionado como aquél que tiene más de 15% de adición mineral y el cemento Portland modificado aquél con un contenido de hasta 15% de adiciones minerales. La adición mineral normalmente aparece al

final de la nomenclatura del cemento Portland modificado, por ejemplo, cemento Portland modificado con escoria.

La ASTM C-1157 también permite la especificación de una gama de resistencias a partir de una tabla de la norma. Si no se especifica la gama de resistencias, sólo las resistencias mínimas son aplicables.

La Especificación Normalizada de Desempeño para Cemento Hidráulico (ASTM C-1157) clasifica a los cementos de la siguiente manera:

- **TIPO GU.** El cemento de uso general tipo GU es adecuado para todas las aplicaciones donde las propiedades especiales de los otros tipos no sean necesarias. Su uso en concreto incluye pavimentos, pisos, edificios en concreto armado, puentes, tubería, productos de concreto prefabricado y otras aplicaciones donde se usa el cemento Tipo I.
- **TIPO HE.** El cemento tipo HE proporciona alta resistencia en edades tempranas, usualmente menos de una semana. Este cemento se usa de la misma manera que el cemento Portland tipo III.
- **TIPO MS.** El cemento tipo MS se emplea donde sean importantes las precauciones contra el ataque moderado por los sulfatos, tales como en estructuras de drenaje, donde las concentraciones de sulfatos en el agua subterránea son mayores que lo normal pero no llegan a ser severas. Este cemento se usa de la misma manera que el cemento Portland tipo II. Como el tipo II, se debe preparar el concreto de cemento tipo MS con baja relación agua/materiales cementantes para que se garantice la resistencia a los sulfatos.
- **TIPO HS.** El cemento tipo HS se usa en concreto expuesto a la acción severa de los sulfatos principalmente donde el suelo o el agua subterránea

tienen altas concentraciones de sulfato. Este cemento se emplea de la misma manera que el cemento Portland tipo V.

- **TIPO MH.** El cemento tipo MH se usa donde el concreto necesite tener un calor de hidratación moderado y se deba controlar el aumento de la temperatura. El cemento tipo MH se usa de la misma manera que el cemento Portland de moderado calor tipo IV.
- **TIPO LH.** El cemento tipo LH se usa donde la tasa y la cantidad del calor generado por la hidratación deban ser minimizadas. Este cemento desarrolla resistencia en una tasa más lenta que los otros cementos. El cemento tipo LH se aplica en estructuras de concreto masivo donde se deba minimizar el aumento de la temperatura resultante del calor generado durante el endurecimiento. Este cemento se usa de la misma manera que el cemento Portland tipo IV.

Al especificar un cemento bajo la norma C-1157, el especificador usa la nomenclatura de "cemento hidráulico", "cemento Portland", "cemento Portland con aire incluido", "cemento Portland modificado" o "cemento hidráulico mezclado" conjuntamente con la designación del tipo. Por ejemplo, la especificación puede llamar un cemento hidráulico Tipo GU, un cemento hidráulico mezclado Tipo MS o un cemento Portland Tipo HS. Si no se especifica el tipo, entonces se asume el Tipo GU.

2.3.4.3 OTROS CEMENTOS

Existen muchos mas tipos de cementos, pero a continuación mencionaremos los más importantes:

- **CEMENTOS HIDRÁULICOS MEZCLADOS (ASTM C-595).** Estos cementos consisten en mezclas que se muelen juntas, de clinker y ceniza muy fina, puzolana natural o calcinada. También pueden consistir en

mezclas de cal de escoria y cal de puzolana. En general, pero no necesariamente, estos cementos dan lugar a una resistencia mayor a la reacción álcali-agregado, al ataque por sulfato y al ataque del agua de mar, pero requieren un curado de mayor duración y tienden a ser menos resistentes a los daños por la sal para deshelar y descongelar. Los cementos hidráulicos mezclados deben concordar con los requisitos de la norma ASTM C-595, que reconoce la existencia de cinco clases de cementos mezclados:

- Cemento Portland de escoria de alto horno, tipo IS.
 - Cemento Portland puzolana, tipo IP y tipo P.
 - Cemento de escoria, tipo S.
 - Cemento Portland modificado con puzolana tipo I (PM).
 - Cemento Portland modificado con escoria tipo I(SM).
-
- **CEMENTOS HIDRÁULICOS PARA MAMPOSTERÍA (ASTM C-91).** Este cemento se produce como los tipos N, S, y M. En general son cementos para emplearse en morteros para construcciones de mampostería. Se componen de algunos o varios de los siguientes compuestos: cemento Portland, cemento Portland puzolana, cemento Portland de escoria de alto horno, cemento de escoria, cal hidratada y cemento natural; además contienen materiales como cal hidratada, caliza, creta, conchas calcáreas, talco, escoria o arcilla. Los materiales se seleccionan de acuerdo a su capacidad para impartir trabajabilidad, plasticidad y retención de agua a los morteros.
-
- **CEMENTO PORTLAND BLANCO (ASTM C-150).** El cemento blanco, cumple con los requisitos del Tipo I o del Tipo III, o los de ambos, sin embargo en el proceso de manufactura se utilizan materias primas de bajo hierro y bajo manganeso y un agregado especial para producir un color blanco puro. Este cemento se utiliza principalmente para fines arquitectónicos como muros precolados, paneles de fachada,

recubrimientos de terrazo, pegamento de azulejos o como concreto decorativo.

- **CEMENTOS EXPANSIVOS (ASTM C-845).** Este tipo de cemento hidráulico, se expande ligeramente durante el período de endurecimiento a edad temprana después del fraguado. Debe satisfacer los requerimientos de la ASTM C-845, la cual se le designa como cemento Tipo E-1, comúnmente se reconocen tres variedades de cemento expansivo, mismas que se designan como K, M y S, las cuales se asignan como sufijo al tipo E1 cemento tipo E1(K), cemento tipo E1(M), y cemento tipo E1(S).
- **CEMENTOS PLÁSTICOS.** El cemento plástico se produce al moler un agente plastificante mineral junto con el clinker de cemento Portland que satisfaga los requisitos del cemento tipo I y tipo II ASTM C-150; sin embargo estos agentes no deben sobrepasar el doce por ciento del volumen total. El cemento plástico cumple con la ASTM C-150, excepto por el residuo insoluble, la inclusión de aire y las adiciones subsecuentes hasta la calcinación. Por la gran cantidad de aire el cemento plástico no se recomienda para concreto.
- **CEMENTOS PARA POZOS PETROLEROS (ESPECIFICACIÓN API 10).** Estos cementos son empleados para sellar pozos de petróleo, normalmente están hechos de clinker Portland o de cementos hidráulicos mezclados; Generalmente deben tener un fraguado lento y deben ser resistentes a temperaturas y presiones elevadas: Las especificaciones para ensayos y materiales para cementos destinados a pozos del American Petroleum Institute (Especificación API 10), incluye los requisitos para nueve clases de cemento para pozo, aplicable para usarse a un cierto rango de profundidades de pozo, temperaturas, presiones y ambientes sulfatados (Clases A hasta H y J).

Algunos tipos de cementos pueden no estar disponibles prontamente en nuestro país, por lo tanto, antes de especificar un determinado tipo de cemento, se debe verificar su disponibilidad. Los cementos disponibles en el mercado salvadoreño se fabrican bajo la norma ASTM C-1157 Tipo GU, ASTM C-1157 Tipo HE, ASTM C-91 Tipo M y en pedidos especiales se fabrican cementos bajo la norma ASTM C-150 Tipo I.

2.4 AGREGADOS PARA CONCRETO

2.4.1 DEFINICIÓN DE AGREGADOS

Los agregados ocupan en la mezcla de concreto aproximadamente del 60% al 75% de su volumen (70% a 85% en peso), por lo que las características y propiedades de éstos influyen notablemente en: 1) las proporciones de la mezcla, 2) la economía, 3) las propiedades del concreto recién mezclado y endurecido.

En el documento ACI 116, “Terminología del Cemento y del Concreto”, se define a los agregados como: “Materiales granulares tales como: arena, grava, roca triturada, concreto hidráulico reciclado o escoria de alto horno, que se usan junto con un medio cementante hidráulico para producir ya sea mortero o concreto”. En este estudio se utilizan arenas y gravas para la producción de concreto.

La razón principal para utilizar agregados dentro del concreto, es que éstos actúan como material de relleno, haciendo más económica la mezcla. Los agregados se dividen en:

A- AGREGADO GRUESO (GRAVA)

El agregado grueso (grava) consiste en una grava o una combinación de gravas o agregado triturado (*Ver Figura 2.12*), cuyas partículas sean predominantemente mayores que 4.75 mm (malla N° 4) y generalmente, entre 9.50 mm (malla de $\frac{3}{8}$ de pulgada) y 37.50 mm (malla de 1 $\frac{1}{2}$ pulgada).

B- AGREGADO FINO (ARENA)

El agregado fino (arena) comúnmente consiste en arena natural o piedra triturada (Ver Figura 2.13), siendo la mayoría de sus partículas menores de 4.75 mm (malla N°4), pero mayores de 0.075 mm (malla N° 200).



Figura 2.12 y Figura 2.13 Acopio de Grava (izquierda) y Arena (derecha) para concreto.

2.4.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS

Las características mas importantes de los agregados para concreto son las siguientes:

A- GRANULOMETRÍA

La granulometría es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado (Ver Figura 2.14). La distribución de las partículas por tamaño tiene un notable efecto en la cantidad de agua necesaria para un concreto hecho con un determinado agregado y por lo tanto influye en todas las propiedades del concreto relacionadas con su contenido de agua.



Figura 2.14 Análisis granulométrico de agregados ASTM C-136.

El análisis granulométrico mide la distribución de los diferentes tamaños que componen una muestra de agregados por medio de tamizado (ASTM C-136) y nos ayuda a determinar la uniformidad, capacidad de bombeo, las relaciones de porosidad en la masa de concreto y así como su trabajabilidad para un mejor manejo y compactación del mismo.

La granulometría y los límites granulométricos se expresan generalmente en porcentaje de material que pasa a través de cada tamiz. La Figura 2.15 enseña estos límites para el agregado fino y un tamaño de agregado grueso.

A.1- Granulometría agregado fino

El análisis granulométrico de la arena se complementa calculando su modulo de finura, que es igual a la centésima parte de la suma de los porcentajes retenidos acumulados en cada una de las mallas de la serie estándar. Comúnmente se considera que la arena presenta un módulo de finura adecuado para la fabricación de concreto convencional, si no es menor de 2.30 ni mayor de 3.10.

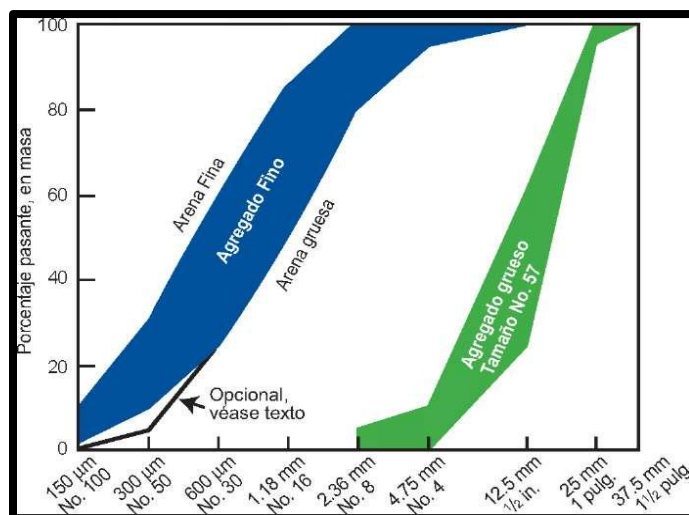


Figura 2.15 Límites granulométricos de agregado fino ASTM C-33 y tamaño granulométrico de agregado grueso comúnmente utilizado.

A.2- Granulometría agregado grueso

Al igual que en el caso de la arena es deseable que el agregado grueso en conjunto posea continuidad de tamaños en su composición granulométrica,

también los efectos que la granulometría de la grava produce sobre la manejabilidad de las mezclas de concreto no son tan notables como los que produce la arena. Lo cual concede ciertas libertades para integrar la curva granulométrica de la grava total, incluso fuera de los límites granulométricos establecidos, cuando existen deficiencias de tamaños, difíciles de subsanar.

En tales circunstancias, el juicio para establecer dicha curva suele apoyarse en pruebas que demuestren la obtención de mezclas de concreto manejables y cohesivas con grava de la granulometría propuesta, y que una vez endurecido, el concreto obtenga las propiedades requeridas a un costo conveniente.

B- FORMA Y TEXTURA SUPERFICIAL DE LAS PARTÍCULAS

La forma y la textura superficial de las partículas de un agregado (ASTM D-3398) influyen en las propiedades del concreto fresco más que las del concreto endurecido. Las partículas con textura áspera, angulares o elongadas requieren más agua para producir un concreto trabajable que agregados lisos, redondeados y compactos. Además, las partículas de agregado angulares requieren más cemento para mantener la misma relación agua-cemento. Sin embargo, con la granulometría satisfactoria, tanto los agregados triturados como los no triturados (de un mismo tipo de roca), generalmente, producen concretos con la misma resistencia, si se mantiene el contenido de cemento. Los agregados angulares o con granulometría pobre también pueden ser más difíciles de bombear. La adherencia entre la pasta de cemento y un determinado agregado generalmente aumenta con el cambio de partículas lisas y redondeadas por las ásperas y angulares.

La cantidad de vacíos de los agregados fino y grueso compactados se puede usar como un índice de las diferencias en la forma y la textura de los agregados con la misma granulometría. La demanda de agua de mezcla y cemento normalmente aumentan con el aumento de la cantidad de vacíos. Los vacíos entre las partículas de agregados aumentan con la angularidad del agregado.

C- MASA VOLUMÉTRICA (MASA UNITARIA) Y VACÍOS

La masa volumétrica (masa unitaria) de un agregado es la masa o el peso del agregado necesario para llenar un recipiente con un volumen unitario especificado. El volumen a que se refiere aquí es aquél ocupado por los agregados y por los vacíos entre las partículas de agregado.

La masa volumétrica aproximada del agregado comúnmente usado en el concreto de peso normal varía de 1200 a 1750 kg/m³ (75 a 110 lb/pie³). La cantidad de vacíos entre las partículas afecta la demanda de pasta en el diseño de la mezcla.

En El Salvador se utiliza la Norma ASTM C-29 para encontrar el peso unitario de los agregados.

D- MASA ESPECÍFICA RELATIVA (DENSIDAD RELATIVA, GRAVEDAD ESPECÍFICA)

La masa específica relativa (densidad relativa, gravedad específica) de un agregado es la relación entre su masa y la masa de agua con el mismo volumen absoluto. Se la usa en algunos cálculos de proporcionamiento y del control de la mezcla, tales como el volumen ocupado por el agregado en el método del volumen absoluto de diseño de mezcla. Normalmente no se la usa como una medida de la calidad del agregado, aunque algunos agregados porosos que exhiben deterioro acelerado por congelación-deshielo presentan baja gravedad específica. La mayoría de los agregados naturales tiene masas específicas relativas que varían de 2.4 a 2.9, con masa específica correspondiente de las partículas de 2400 a 2900 kg/m³ (150 y 181 lb/pie³). En nuestro país se utiliza la norma ASTM C-128 y ASTM C-127 para encontrar la gravedad específica de la arena y de la grava respectivamente.

E-ABSORCIÓN Y HUMEDAD

Se denomina absorción a la humedad del agregado cuando tiene todos sus poros saturados con agua pero la superficie del mismo está seca. Este estado se llama

saturado superficie seca (SSS), siendo en esta condición como se hacen los cálculos de dosificación para elaborar concreto.

Si la roca o arena tienen una humedad inferior a la absorción, se debe agregar más agua al concreto para compensar la que absorberán los agregados (Ver *Figura 2.16*). Por el contrario, si la humedad está por encima de la absorción, el agua a agregar al concreto será menor, ya que los agregados aportarán agua.

Los agregados grueso y fino generalmente tienen niveles de absorción (contenido de humedad a SSS) que varían del 0.2% al 4% y del 0.2% al 2%, respectivamente. Del mismo modo las normas ASTM C-128 y ASTM C-127 se utilizan para encontrar la absorción y humedad de arena y la grava.

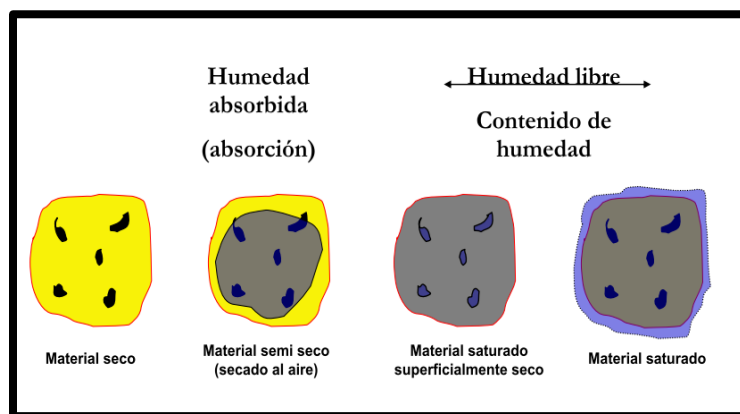


Figura 2.16 Humedad y absorción del agregado.⁷

F- ABRASIÓN

La resistencia a la abrasión (desgaste) de un agregado frecuentemente se usa como un índice general de su calidad. La resistencia a la abrasión es esencial cuando el agregado se usará en un concreto sujeto al desgaste, como en los pisos para servicio pesado (industriales) o pavimentos. La baja resistencia al desgaste de un agregado puede aumentar la cantidad de finos en el concreto durante el mezclado y, consecuentemente, puede haber un aumento en la demanda de agua, requiriéndose ajustes de la relación agua-cemento.

⁷ Práctica Estándar para Seleccionar el Proporcionamiento de concreto de peso normal, pesado y Masivo ACI 211.1. Instituto Salvador del Cemento y del Concreto (ISCCY) año 2007.

El ensayo más común de resistencia a la abrasión es el ensayo de abrasión Los Ángeles (método del tambor giratorio) realizado de acuerdo con la ASTM C-131. La especificación ASTM C-33 establece una pérdida máxima permisible de 50% en esta prueba.

2.4.3 CLASIFICACIÓN DE AGREGADOS DE PESO NORMAL

Los agregados de peso normal comúnmente proceden de la desintegración, por causas naturales o medios artificiales, de rocas con gravedad específica entre 2.4 y 2.8, aproximadamente; de manera que al utilizarlos se obtienen concretos con peso volumétrico, en estado fresco, en el intervalo aproximado de 2,240 kg/m³ a 2,400 kg/m³; a estos concretos se les conoce como concretos de peso normal.

Existen diversas características en los agregados, cuyas diferencias permiten clasificarlos e identificarlos. Las principales características que sirven a tal fin, se indican en la Figura 2.17.

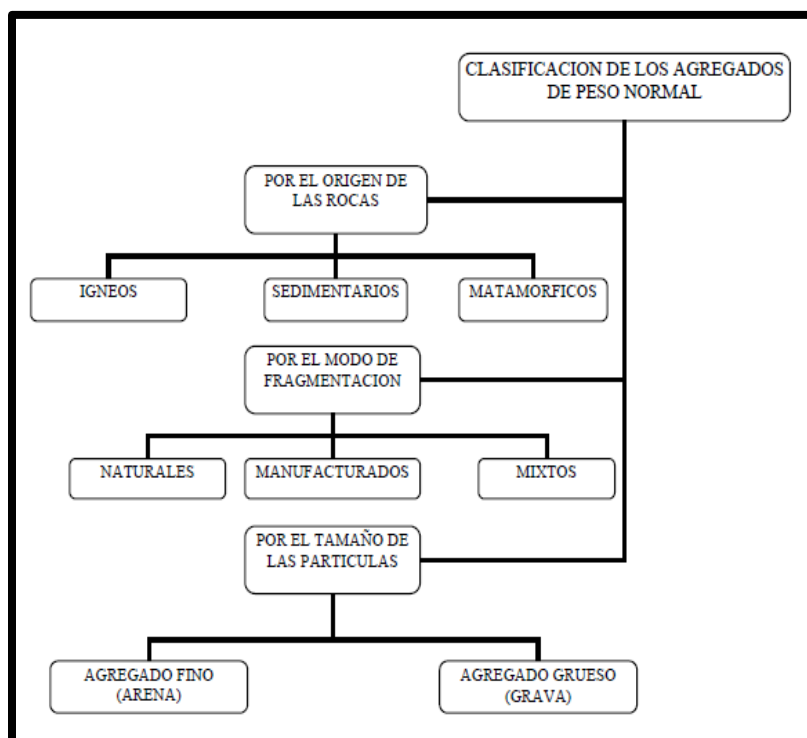


Figura 2.17 Clasificaciones de los Agregados de Peso Normal.⁸

⁸ Manual de Tecnología del Concreto, Sección 1. Comisión Federal De Electricidad (CFE), México 1994.

2.5 AGUA PARA CONCRETO HIDRÁULICO

“En relación con su empleo en el concreto, el agua tiene dos diferentes aplicaciones; como ingrediente en la elaboración de las mezclas y como medio de curado de las estructuras recién construidas. Al estudiar el primer caso el agua como elemento al reaccionar con el cemento, genera las propiedades aglutinantes, forma del 10% al 25% del volumen del concreto recién mezclado; dependiendo del tamaño máximo de agregado que se utilice y del revenimiento que se requiera”⁹. Además el agua provee la manejabilidad (trabajabilidad) de la mezcla, propiedad muy importante para formar un concreto homogéneo y compacto.

“Prácticamente cualquier agua natural que sea potable y no presente fuerte sabor u olor se la puede usar como agua de mezcla para la preparación del concreto. Sin embargo, también se pueden emplear en concreto algunas aguas que no se consideran potables”¹⁰ (*Ver Figura 2.18*).

Se puede emplear el agua dudosa en concreto, pero se debe verificar su desempeño. Por ejemplo, se aconseja que los cubos de mortero (ASTM C-109 o AASHTO T-106) preparados con el agua dudosa tengan la resistencia a los 7 días igual a por lo menos 90% de la resistencia de los especímenes de referencia preparados con agua potable o agua destilada. Además, se debe garantizar a través de ensayos del tiempo de fraguado que las impurezas en el agua de mezclado no van a disminuir o aumentar adversamente el tiempo de fraguado del cemento. Las normas ASTM C-94 (AASHTO M-157) y AASHTO T-26 presentan criterios de aceptación para el agua que será usada en el concreto. Además la norma ASTM C-1602 provee una guía en el uso del agua no potable o reciclada usada en la producción de concreto.

El exceso de impurezas en el agua de mezcla no sólo puede afectar el tiempo de

⁹ “ACI Comité 2007. Report 207.1R Mass Concrete”, American Concrete Institute, Detroit, Michigan, 1987.

¹⁰ Kosmatka, Steven H.; Kerkhoff, Beatrix; Panarese, William C.; y Tanesi, Jussara: Diseño y Control de Mezclas de Concreto, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, EE.UU., 2004. p.p. 95.

fraguado y las resistencia del concreto, sino también puede causar eflorescencias, manchado, corrosión del refuerzo, inestabilidad del volumen y reducción de la durabilidad. Por lo tanto, se pueden establecer ciertos límites opcionales para cloruros, sulfatos, álcalis y sólidos en el agua de mezcla o se pueden realizar ensayos adecuados para la determinación del efecto de las impurezas sobre varias propiedades. Algunas impurezas pueden tener un pequeño efecto sobre la resistencia y el tiempo de fraguado y aun afectar la durabilidad y otras propiedades.



Figura 2.18 Agua para concreto hidráulico.

2.6 ADITIVOS Y ADICIONES PARA CONCRETO HIDRÁULICO

Los aditivos son aquellos ingredientes del concreto que, además del cemento Portland, del agua y de los agregados, se adicionan a la mezcla inmediatamente antes o durante el mezclado. Los aditivos se pueden clasificar según sus funciones, como sigue (*Ver Figura 2.19*):

1. Aditivos incorporadores de aire (inclusores de aire)
2. Aditivos reductores de agua
3. Plastificantes (fluidificantes)
4. Aditivos aceleradores (acelerantes)
5. Aditivos retardadores (retardantes)
6. Aditivos de control de la hidratación
7. Inhibidores de corrosión
8. Reductores de retracción

9. Inhibidores de reacción álcali-agregado
10. Aditivos colorantes
11. Aditivos diversos, tales como aditivos para mejorar la trabajabilidad (manejabilidad), para mejorar la adherencia, a prueba de humedad, impermeabilizantes, para lechadas, formadores de gas, anti-deslave, espumante y auxiliares de bombeo.

El concreto debe ser trabajable, fácilmente acabado, fuerte, durable y resistente al desgaste. Estas cualidades se las puede obtener fácil y económicamente con la selección de los materiales adecuados, preferiblemente al uso de aditivos (a excepción de los inclusores de aire cuando son necesarios).



Figura 2.19 Diferentes tipo de aditivos para concreto hidráulico.

Las razones principales para el uso de aditivos son:

1. Reducción del costo de la construcción de concreto.
2. Obtención de ciertas propiedades en el concreto de manera más efectiva que otras.
3. Manutención de la calidad del concreto durante las etapas de mezclado, transporte, colado (colocación) y curado en condiciones de clima adverso.
4. Superación de ciertas emergencias durante las operaciones de mezclado, transporte, colocación y curado.

A pesar de estas consideraciones, se debe observar que ningún aditivo de

cualquier tipo o en cualquier cantidad se lo puede considerar como un sustituto de las buenas prácticas de construcción.

La eficiencia de un aditivo depende de factores tales como: tipo, marca y cantidad del material cementante; contenido de agua; forma, granulometría y proporción de los agregados; tiempo de mezclado y temperatura del concreto.

Los aditivos para uso en concreto deben cumplir con las especificaciones. Las mezclas que se van a ensayar, se las deben producir con los aditivos y materiales usados en la obra en la temperatura y humedad prevista para la obra. De esta manera, se puede observar la compatibilidad de los aditivos y de los materiales que se usarán en la obra, como los efectos de los aditivos sobre las propiedades del concreto endurecido. Se debe usar la cantidad de aditivo recomendada por el fabricante o la cantidad óptima determinada por los ensayos de laboratorio.

2.7 CONCRETO FRESCO

El concreto recién mezclado debe ser plástico o semifluido y generalmente capaz de ser moldeado a mano. Una mezcla de concreto muy húmeda se puede moldear en el sentido de que puede colarse (colocarse) en el molde o cimbras (encofrado), pero no está dentro de la definición de "plástico". En una mezcla plástica de concreto todos los granos de arena y las partículas de grava o piedra son envueltos y sostenidos en suspensión. Los ingredientes no son propensos a la segregación durante el transporte; y cuando el concreto se endurece, se transforma en una mezcla homogénea de todos los componentes. Durante la colocación, el concreto de consistencia plástica no se desmorona, mas fluye lentamente sin segregarse (*Ver Figura 2.20*).

En la práctica de la construcción, las piezas o elementos muy delgados de concreto y fuertemente armados (reforzados) requieren mezclas trabajables para facilitar su colocación, pero no con consistencia muy fluida. Es necesaria una mezcla plástica para la resistencia y el mantenimiento de la homogeneidad

durante el manejo y la colocación. Como una mezcla plástica es apropiada para la mayoría de las obras en concreto, se pueden usar los aditivos plastificantes (fluidificantes) para que el concreto fluya más fácilmente en elementos delgados y fuertemente reforzados.



Figura 2.20 Colocación de concreto en estado fresco.

A- MEZCLADO

En el mezclado de los componentes básicos del concreto son necesarios esfuerzo y cuidado para que se asegure que la combinación de estos elementos sea homogénea. La secuencia de carga de los ingredientes en la mezcladora puede desempeñar un papel importante en la uniformidad del producto acabado. La secuencia, sin embargo, puede variar y aún producir un concreto de buena calidad. Las diferentes secuencias requieren ajustes en el momento de la adición del agua, el número total de revoluciones del tambor de la mezcladora y la velocidad de la revolución (rotación).

El volumen del concreto mezclado en relación con el tamaño del tambor de la mezcladora, el tiempo transcurrido entre el proporcionamiento y el mezclado, y el diseño, configuración y condiciones del tambor y de las paletas de la mezcladora son otros factores importantes en el mezclado. Las mezcladoras aprobadas, correctamente operadas y conservadas garantizan un intercambio de materiales de extremo a extremo a través de la acción del rolado, plegado y mezclado

(amasado) del volumen del concreto sobre si mismo mientras que el concreto se mezcla (Ver Figura 2.21).



Figura 2.21 Obrero elaborando concreto mediante una concreteira.

B- TRABAJABILIDAD

La facilidad de colocación, consolidación y acabado del concreto fresco y el grado que resiste a la segregación se llama trabajabilidad. El concreto debe ser trabajable pero los ingredientes no deben separarse durante el transporte y el manejo.

El grado de la trabajabilidad que se requiere para una buena colocación del concreto se controla por los métodos de colocación, tipo de consolidación y tipo de concreto. Los diferentes tipos de colocación requieren diferentes niveles de trabajabilidad.

Los factores que influyen en la trabajabilidad del concreto son: (1) el método y la duración del transporte; (2) cantidad y características de los materiales cementantes; (3) consistencia del concreto (asentamiento en cono de Abrams o revenimiento); (4) tamaño, forma y textura superficial de los agregados finos y gruesos; (5) aire incluido (aire incorporado); (6) cantidad de agua; (7) temperatura del concreto y del aire y (8) aditivos. La distribución uniforme de las partículas de agregado y la presencia de aire incorporado ayudan considerablemente en el control de la segregación y en la mejoría de la trabajabilidad.

Las propiedades relacionadas con la trabajabilidad incluyen consistencia, segregación, movilidad, bombeabilidad, sangrado (exudación) y facilidad de acabado. La consistencia es considerada una buena indicación de trabajabilidad.

El revenimiento (asentamiento en cono de Abrams) se usa como medida de la consistencia y de la humedad del concreto. Un concreto de bajo revenimiento tiene una consistencia rígida o seca. Si la consistencia es muy seca y rígida, la colocación y compactación del concreto serán difíciles y las partículas más grandes de agregados pueden separarse de la mezcla. Sin embargo, no debe suponerse que una mezcla más húmeda y fluida es más trabajable (*Ver Figura 2.22*). Si la mezcla es muy húmeda, pueden ocurrir segregación y formación de huecos. La consistencia debe ser lo más seca posible para que aún se permita la colocación empleándose los equipos de consolidación disponibles.



Figura 2.22 Concreto con alto revenimiento.

C- SANGRADO Y ASENTAMIENTO

Sangrado (exudación) es el desarrollo de una lámina de agua en el tope o en la superficie del concreto recién colocado. Es causada por la sedimentación (asentamiento) de las partículas sólidas (cemento y agregados) y simultáneamente la subida del agua hacia la superficie. El sangrado es normal y no debería disminuir la calidad del concreto adecuadamente colocado, acabado y curado. Un poco de sangrado es útil en el control de la fisuración por contracción (retracción) plástica. Por otro lado, si es excesiva aumenta la relación agua-

cemento cerca de la superficie; puede ocurrir una capa superficial débil y con poca durabilidad, particularmente si se hace el acabado cuando el agua de sangrado aún está presente. Los vacíos y bolsas de agua pueden ocurrir, resultantes del acabado prematuro de la superficie (*Ver Figura 2.23*).



Figura 2.23 Agua de sangrado en la superficie de una losa.

D- CONSOLIDACIÓN

La vibración mueve las partículas del concreto recién mezclado, reduce el rozamiento (fricción) entre ellas y les da la movilidad de un fluido denso. La acción vibratoria permite el uso de mezclas más rígidas con mayores proporciones de agregado grueso y menores proporciones de agregados finos. Si el agregado es bien graduado, cuanto mayor es su tamaño máximo, menor es el volumen para llenarse por la pasta y menor es el área superficial para ser cubierta por la pasta, así menos agua y cemento son necesarios. El concreto con la granulometría óptima del agregado es más fácil de consolidarse y colocarse. La consolidación del agregado grueso, bien como de mezclas más rígidas mejoran la calidad y la economía. Por otro lado, la mala consolidación puede resultar en un concreto poroso y débil con poca durabilidad.

La vibración mecánica tiene muchas ventajas (*Ver Figura 2.24*). Los vibradores permiten una colocación económicamente viable de mezclas que no se pueden consolidar manualmente bajo muchas condiciones.



Figura 2.24 Vibrado del concreto en obra.

2.8 ETAPAS DE FRAGUADO DEL CONCRETO

Una vez que el cemento y el agua entran en contacto, se inicia una reacción química que determina el paulatino endurecimiento de la mezcla, mientras exista agua en contacto con el cemento, progresa el endurecimiento del concreto.

El fraguado de la pasta de cemento es un proceso físico-químico mediante el cual pasa de un estado de plasticidad inicial a otro de cierta rigidez y firmeza. Aunque la pasta en este último estado, puede manifestar una ligera resistencia, para fines prácticos se acostumbra distinguir la etapa de fraguado de la adquisición de resistencia.

Se considera que la etapa de fraguado se inicia en el momento en que el cemento entra en contacto con el agua y termina cuando la pasta se convierte en cuerpo rígido capaz de resistir una presión arbitraria.

Durante la fabricación del concreto interesa que el fraguado no ocurra demasiado rápido, de tal suerte que se tenga suficiente tiempo para mezclarlo, transportarlo y acomodarlo en moldes. Tampoco conviene que el fraguado resulte demasiado lento porque las operaciones subsecuentes de desmolde y puesta en servicio en la obra sufriría retrasos. El proceso de fraguado es muy susceptible de cambiar con las variaciones de temperatura ambiente, con algunas limitaciones pueden suponerse que las temperaturas bajas retardan el fraguado y las altas lo aceleran.

Resumiendo podemos decir que antes de su endurecimiento, la mezcla del concreto experimenta dos etapas dentro de su proceso general que son el fraguado inicial y el fraguado final.

A- FRAGUADO INICIAL

Típicamente, el fraguado inicial ocurre entre dos y cuatro horas después del colado, y nos define el límite de manejo, o sea el tiempo por el cual el concreto fresco ya no puede ser mezclado adecuadamente. El fraguado inicial indica el momento en el que la masa ha adquirido tanta rigidez que no puede ser vibrado sin dañar su estructura interna.

B- FRAGUADO FINAL

El fraguado final ocurre entre cuatro y ocho horas después del colado, y esta definido por el desarrollo de la resistencia, que se genera con gran velocidad.

La Norma ASTM C-403 proporciona el método de ensayo para determinar el tiempo de fraguado de mezclas de concreto.

2.9 CONCRETO ENDURECIDO

A- CURADO

El curado es el proceso por el cual se busca mantener saturado el concreto hasta que los espacios de cemento fresco, originalmente llenos de agua sean remplazados por los productos de la hidratación del cemento (*Ver Figura 2.25*).

El aumento de la resistencia con la edad continúa desde que (1) el cemento no hidratado aún esté presente, (2) el concreto permanezca húmedo o la humedad relativa del aire esté arriba de aproximadamente 80% (Powers 1948), (3) la temperatura del concreto permanezca favorable y (4) haya suficiente espacio para la formación de los productos de hidratación. Cuando la humedad relativa dentro del concreto baja hasta cerca de 80% o la temperatura del concreto baja para

menos del cero, la hidratación y la ganancia de resistencia se interrumpen.

Si se vuelve a saturar el concreto después del periodo de secado (desección), la hidratación empieza nuevamente y la resistencia vuelve a aumentar. Sin embargo, es mucho mejor que el curado húmedo sea aplicado continuamente desde el momento de la colocación hasta que el concreto haya alcanzado la calidad deseada; una vez que el concreto se haya secado completamente, es muy difícil volver a saturarlo.



Figura 2.25 Curado de especímenes de concreto.

B- VELOCIDAD DE SECADO DEL CONCRETO

El concreto no se endurece o se cura con el secado. El concreto (o más precisamente el cemento en él) necesita de humedad para hidratarse y endurecerse. Cuando el concreto se seca, la resistencia para de crecer; el hecho es que el secado no indica que haya ocurrido suficiente hidratación para que se obtengan las propiedades físicas deseables.

El conocimiento de la velocidad de desecación (tasa de secado) es útil para el entendimiento de las propiedades o condiciones físicas del concreto. Por ejemplo, como se mencionó, el concreto necesita tener suficiente humedad durante el periodo de curado para que el concreto se hidrate hasta que se puedan lograr las propiedades deseables. Los concretos recién colocados normalmente tienen abundancia de agua, pero a medida que el secado progresa de la superficie hacia el interior del concreto, el aumento de resistencia continúa solo hasta cada

profundidad, desde que la humedad relativa en aquella profundidad permanezca arriba de 80%. Un buen ejemplo de esto es la superficie de los pisos en concreto que no tuvo suficiente curado húmedo; como se ha secado rápidamente, el concreto en la superficie es débil y el tráfico sobre él crea polvo.

C- RESISTENCIA DEL CONCRETO

La resistencia a compresión se puede definir como la medida máxima de la resistencia a carga axial de especímenes de concreto. Normalmente, se expresa en kilogramos por centímetros cuadrados (kg/cm^2), mega pascales (MPa) o en libras por pulgadas cuadradas (lb/pulg^2 o psi) a una edad de 28 días. Un megapascal equivale a la fuerza de un newton por milímetro cuadrado (N/mm^2) o 10.2 kilogramos-fuerza por centímetro cuadrado. Se pueden usar otras edades para las pruebas, pero es importante saber la relación entre la resistencia a los 28 días y la resistencia en otras edades. La resistencia a los 7 días normalmente se estima como 75% de la resistencia a los 28 días y las resistencias a los 56 y 90 días son aproximadamente 10% y 15% mayores que la resistencia a los 28 días. La resistencia a compresión especificada se designa con el símbolo f'_c y la resistencia a compresión requerida del concreto f'_{cr} debe excederla.

La resistencia a compresión que el concreto logra, es función de la relación agua-cemento (o relación agua-materiales cementantes), de cuanto la hidratación ha progresado, del curado, de las condiciones ambientales y de la edad del concreto. La correspondencia entre resistencia y la relación agua-cemento ha sido estudiada desde el final del siglo XIX y principio del siglo XX (Ferret 1897 y Abrams 1918). La Figura 2.26 presenta las resistencias a compresión para una gran variedad de mezclas de concreto y relaciones agua-cemento a los 28 días de edad. Observe que las resistencias aumentan con la disminución de la relación agua-cemento. Estos factores también afectan la resistencia a flexión y la tracción y la adherencia entre concreto y acero. La correspondencia entre relación agua-cemento y resistencia a compresión en la Figura 2.26 son valores típicos para concretos sin aire incluido. Cuando valores más precisos son necesarios, se deben desarrollar

gráficos para materiales y proporciones de mezcla específicos para que sean usados en la obra.

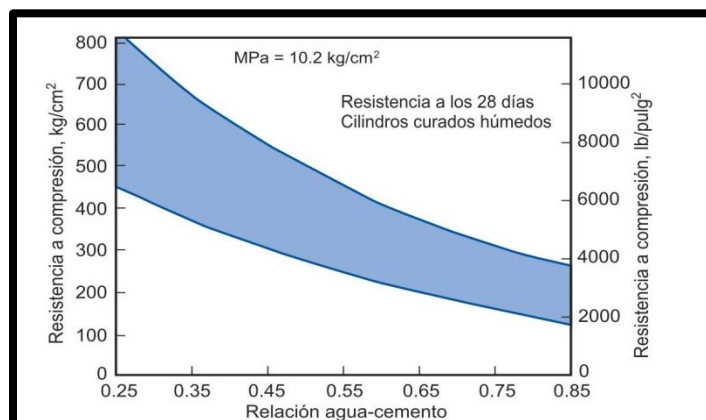


Figura 2.26 Variación de resistencias típicas para relaciones agua-cemento de concreto de cemento Portland basadas en mas de cien diferentes mezclas de concreto moldeadas entre 1985 y 1999¹¹.

Para una cierta trabajabilidad y un contenido de cemento, el concreto con aire incluido (incorporado) requiere menos agua de mezclado que un concreto sin aire incluido. La posibilidad de empleo de relaciones agua-cemento menores en el concreto con aire incluido compensa las resistencias menores en estos concretos, especialmente en mezclas pobres o con medio contenido de cemento.

La determinación de la resistencia a compresión se obtiene a través de ensayos (experimentación, prueba) en probetas (muestras de prueba, muestras de ensayo, especímenes) de concreto o mortero. En nuestro país, a menos que sea especificado de manera diferente, los ensayos en mortero se hacen en cubos de 50 mm (2 pulg.), mientras que los ensayos en concreto se realizan en cilindros de 150 mm (6 pulg.) de diámetro y 300 mm (12 pulg.) de altura (Ver Figura 2.27). Cilindros menores 100x200mm (4x8 pulg.) también se pueden usar para el concreto.

La resistencia a compresión es una propiedad principalmente física y

¹¹ Kosmatka, Steven H.; Kerkhoff, Beatrix; Panarese, William C.; y Tanesi, Jussara: Diseño y Control de Mezclas de Concreto, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, EE.UU., 2004. p.p. 8.

frecuentemente usada en los cálculos para diseño de puentes, edificios y otras estructuras. Los concretos para uso general tienen una resistencia a compresión entre 200 y 400 kg/cm² o 20 y 40 MPa (3000 y 6000 lb/pulg²). Concretos con resistencias a compresión de 700 y 1400 kg/cm² o 70 a 140 MPa (10,000 a 20,000 lb/pulg²) han sido empleados en puentes especiales y edificios altos.



Figura 2.27 Ensayo a compresión del concreto en cilindros de 150x300mm.

La resistencia a flexión o el módulo de ruptura (rotura) se usa en el diseño de pavimentos u otras losas (pisos, placas) sobre el terreno. La resistencia a compresión, la cual es más fácil de medir que la resistencia a flexión, se puede usar como un índice de resistencia a flexión, una vez que la relación empírica entre ambas ha sido establecida para los materiales y los tamaños de los elementos involucrados. La resistencia a flexión de concretos de peso normal es normalmente de 0.7 a 0.8 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión en megapascuales o de 1.99 a 2.65 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión en kilogramos por centímetros cuadrados, (7.5 a 10 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión en libras por pulgadas cuadradas).

La resistencia a la tensión (resistencia a tracción, resistencia en tracción) directa del concreto es aproximadamente de 8% a 12% de la resistencia a compresión y se estima normalmente como siendo de 0.4 a 0.7 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión en megapascuales o de 1.3 a 2.2 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión en kilogramos por centímetro cuadrado (5 a 7.5 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión en libras por pulgada

cuadrada). La resistencia a esfuerzos por cortante (cisallamiento, corte o cizalladura) es del 8% al 14% de la resistencia a compresión (Hanson 1968). La resistencia a tensión por cisallamiento en función del tiempo es presentada por Lange (1994). La resistencia a torsión en el concreto está relacionada con el módulo de ruptura y las dimensiones de los miembros de concreto.

D- MASA VOLUMÉTRICA (MASA UNITARIA, DENSIDAD)

El concreto convencional, normalmente usado en pavimentos, edificios y otras estructuras, tiene masa volumétrica (masa unitaria, densidad) que varía de 2200 hasta 2400 kg/m³ (137 hasta 150 libras/pies³). La masa volumétrica del concreto varía dependiendo de la cantidad y la densidad del agregado, la cantidad de aire atrapado (ocluido) o intencionalmente incluido y las cantidades de agua y cemento. Por otro lado, el tamaño máximo del agregado influye en las cantidades de agua y cemento. Al reducirse la cantidad de pasta (aumentándose la cantidad de agregado), se aumenta la masa volumétrica. En el diseño del concreto armado (reforzado), la masa volumétrica de la combinación del concreto con la armadura (refuerzo) normalmente se considera 2400 kg/m³ (150 libras/pie³).

E- PERMEABILIDAD Y ESTANQUIDAD

El concreto usado en estructuras de retención de agua o expuestas a condiciones del tiempo u otras condiciones severas de exposición deben ser casi impermeables o estancas. La estanquidad (hermeticidad) es normalmente conocida como la habilidad del concreto en retener el agua sin escurrimiento o escape visible. La permeabilidad es la cantidad de agua que migra a través del concreto, mientras que el agua está bajo presión o la habilidad del concreto en resistir a la penetración del agua u otra sustancia (líquidos, gases o iones). Generalmente, la misma propiedad que hace el concreto menos permeable también lo hace más estanco.

F- RESISTENCIA A ABRASIÓN

Los pisos, pavimentos y estructuras hidráulicas son expuestos a abrasión o al

desgaste, por lo que en estas aplicaciones el concreto necesita tener alta resistencia a abrasión. Los resultados de los ensayos (pruebas) indican que la resistencia a abrasión está fuertemente relacionada con la resistencia a compresión del concreto. Un concreto con mayor resistencia a compresión tiene más resistencia a abrasión que el concreto con menor resistencia a compresión. Como la resistencia a compresión depende de la relación agua-cemento y curado, una relación agua-cemento baja y el curado adecuado se hacen necesarios para la resistencia a abrasión (*Ver Figura 2.28*).

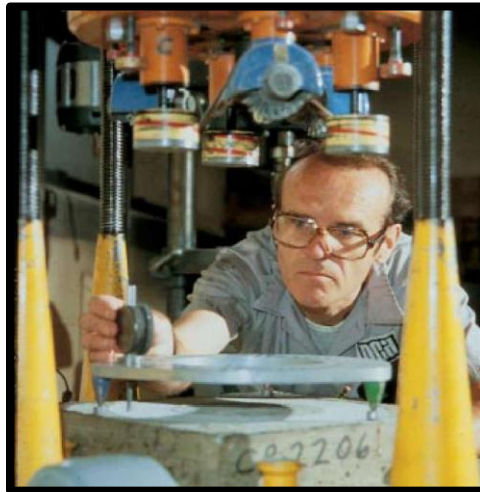


Figura 2.28 *Aparato para medir la resistencia a abrasión del concreto (ASTM C-779).*

G- ESTABILIDAD DE VOLUMEN Y CONTROL DE FISURACIÓN

El concreto endurecido cambia de volumen con los cambios de temperatura, humedad y tensiones. Este cambio de volumen o de longitud puede variar del 0.01% al 0.08%. Los cambios de volumen por temperatura en el concreto endurecido son similares a los de acero.

El concreto bajo tensión se deforma elásticamente. Si se mantiene la tensión (esfuerzo), va a ocurrir una deformación adicional llamada fluencia (deformación diferida, flujo plástico). La tasa de la fluencia (deformación por unidad de tiempo) disminuye con el tiempo. El concreto mantenido continuamente húmedo se expande (dilata) ligeramente. Pero cuando se permite su secado, el concreto se retrae. El factor que más influye en la magnitud de la contracción (retracción) por

secado es el contenido de agua en el concreto recién mezclado. La contracción por secado aumenta directamente con el aumento del contenido de agua, la magnitud de la contracción también depende de muchos otros factores, tales como: (1) la cantidad de agregado usado; (2) propiedades del agregado; (3) el tamaño y la forma del miembro de concreto; (4) la humedad relativa y la temperatura del medio ambiente; (5) el método de curado; (6) el grado de hidratación y (7) el tiempo.

Las dos causas básicas de la fisuración en el concreto son: (1) las tensiones por la aplicación de carga y (2) las tensiones resultantes de la contracción por secado o cambios de la temperatura cuando el concreto tiene alguna restricción (coacción, sujeción, fijeza).

H- DURABILIDAD

La durabilidad del concreto se puede definir como la habilidad del concreto en resistir a la acción del ambiente, al ataque químico y a la abrasión, manteniendo sus propiedades de ingeniería. Los diferentes tipos de concreto necesitan de diferentes durabilidades, dependiendo de la exposición del ambiente y de las propiedades deseables. Los componentes del concreto, la proporción de éstos, la interacción entre los mismos y los métodos de colocación y curado determinan la durabilidad final y la vida útil del concreto.

2.10 CONSIDERACIONES BÁSICAS SOBRE DOSIFICACIÓN DE CONCRETO

En la selección de las proporciones de la mezcla de concreto, el diseñador debe recordar que la composición de la misma está determinada por (*Ver Figura 2.29*):

- Las propiedades que debe tener el concreto endurecido, las cuales son determinadas por el ingeniero estructural y se encuentran indicadas en los planos y/o especificaciones técnicas.

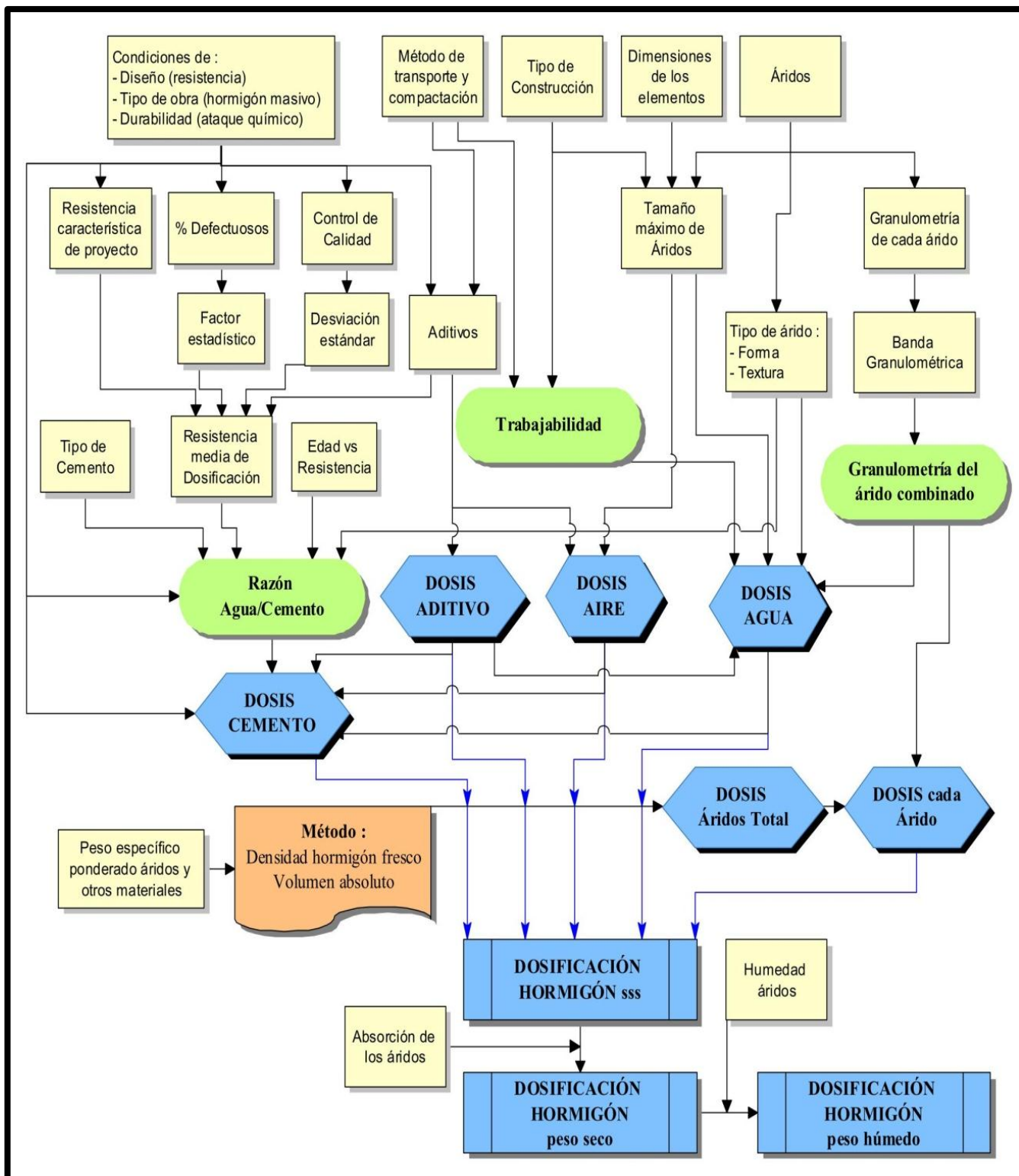


Figura 2.29 Diagrama de dosificación¹².

¹² Pontificia Universidad Católica de Chile, Departamento Ingeniería y Gestión de la Construcción.
“Dosificación de Hormigones”

- Las propiedades del concreto al estado no endurecido, las cuales generalmente son establecidas por el ingeniero constructor o residente en función del tipo y características de la obra y de las técnicas a ser empleadas en la colocación del concreto.
- El costo de la unidad cubica de concreto (m^3).
- La selección de los diferentes materiales que componen la mezcla de concreto y de la proporción de cada uno de ellos debe ser siempre el resultado de un acuerdo razonable entre la economía y el cumplimiento de los requisitos que debe satisfacer el concreto al estado fresco y el endurecido.

En conclusión, el diseño de mezclas viene a ser más que nada la elección de proporciones adecuadas para preparar concreto teniendo en cuenta a la clase de estructura de la que va a formar parte, y las condiciones ambientales a las que estará expuesto.

2.11 MÉTODO ACI 211.1 DE DOSIFICACIÓN DE CONCRETO

El método proporcionado por el Comité ACI 211.1, ha sido utilizado para el diseño de mezclas de "concreto de peso normal" ($2,240$ a $2,400 \text{ kg/m}^3$) en general, alcanzando su máxima optimización con el uso de la relación agua/cemento (A/C).

Se puede apreciar que para el diseño de mezclas se recurre tanto a datos reales como a datos empíricos o de experiencias previas, y que con la ayuda de tablas, graficas y abacos, se obtiene una guía para alcanzar combinaciones óptimas de materiales.

La capacidad para ajustar las propiedades del concreto a las necesidades de la obra, refleja un desarrollo tecnológico que no tuvo lugar sino a partir de los primeros años del pasado siglo. El empleo de la relación agua/cemento (A/C) como herramienta para estimar la resistencia, fue reconocido alrededor del año 1918. Las notables mejoras en la durabilidad, resultantes de la inclusión de aire,

fueron reconocidas a principios de los años cuarenta. Estos dos importantes adelantos en la tecnología del concreto, se han visto aumentados por las extensas investigaciones y el desarrollo de muchas áreas afines, incluido el empleo de aditivos para contrarrestar posibles deficiencias, desarrollar propiedades especiales o economizar.

Por lo común, las propiedades del concreto fresco, se rigen por el tipo de estructura a colar (vigas, muros, zapatas, pavimentos, etc.) y por las técnicas de colocación y transporte (bomba, banda transportadora, carretilla, etc.); así mismo, las propiedades del concreto en estado endurecido quedan especificadas por el ingeniero calculista, ya que él proporciona los datos, tales como: la resistencia a los esfuerzos (compresión y flexión), durabilidad y otros, para que respondan a las condiciones de los proyectos o de los reglamentos. Con estas condiciones y teniendo en cuenta también el grado de control que se ejerce sobre la obra, se puede determinar las proporciones de la mezcla.

Frecuentemente, los proporcionamientos existentes que no contienen aditivos y/o otros materiales diferentes al cemento hidráulico, son llevados a cabo para incluirles dichos materiales. El funcionamiento de los reproporcionamientos del concreto debe verificarse a través de mezclas de prueba en laboratorio o en el campo.

CAPÍTULO III

APLICACIÓN DEL MÉTODO DE

DISEÑO DE MEZCLAS DE

CONCRETO DE PESO NORMAL

SEGÚN ACI 211.1

3.1 INTRODUCCIÓN

Diseñar una mezcla de concreto consiste en determinar las cantidades relativas de materiales que hay que emplear en la mezcla para obtener un concreto adecuado para un uso determinado. El comité 211 del ACI (*American Concrete Institute*) ha desarrollado un procedimiento de diseño bastante simple, el cual, basándose en las tablas definidas permite obtener valores de los diferentes materiales que integran la unidad cúbica de concreto. Las propiedades del concreto se comprueban prácticamente y pueden hacerse después los ajustes necesarios para obtener las mezclas de proporciones adecuadas y la calidad deseada.

En este capítulo abordamos cada aspecto del método de diseño de mezclas de concreto de peso normal ACI 211.1 desde los ensayos que se le practican a los materiales (cemento, arena y grava) que conforman la mezcla, analizando los resultados para verificar que éstos sean los adecuados para la elaboración de concreto hidráulico, luego se exponen cada uno de los pasos que propone el método ACI 211.1 incluyendo aspectos para calcular la resistencia de diseño de las mezclas de concreto, además se proporciona un ejemplo de la aplicación del método y un cuadro resumen de los diferentes diseños de mezclas utilizadas para la elaboración de los especímenes cilíndricos de concreto.

3.2 GENERALIDADES

El proporcionamiento de mezclas de concreto, mas comúnmente llamado diseño de mezclas es un proceso que consiste de pasos dependientes entre si:

- a) Selección de los ingredientes convenientes (cemento, agregados, agua y aditivos).
- b) Determinación de sus cantidades relativas de “proporcionamiento” para producir un concreto, tan económico como sea posible, de trabajabilidad, resistencia a compresión y durabilidad deseada.

Estas proporciones dependerán de cada ingrediente en particular, los cuales a su vez dependerán de la aplicación particular del concreto. También podrían ser

considerados otros criterios, tales como minimizar la contracción y el asentamiento o ambientes químicos especiales.

Aunque se han realizado gran cantidad de trabajos relacionados con los aspectos teóricos del diseño de mezclas, en buena parte permanece como un procedimiento empírico. Y aunque hay muchas propiedades importantes del concreto, la mayor parte de procedimientos de diseño, están basados principalmente en lograr una resistencia a compresión para una edad especificada así como una trabajabilidad apropiada. Además es asumido que si se logran estas dos propiedades las otras propiedades del concreto también serán satisfactorias (excepto la resistencia al congelamiento y deshielo u otros problemas de durabilidad tales como resistencia al ataque químico).

3.3 ENSAYOS PREVIOS

La selección de las proporciones del concreto debe basarse sobre datos de ensayos o sobre la experiencia con los materiales a usar. Cuando los datos son limitados o no están disponibles, se usan las estimaciones dadas en el método ACI 211.1. A continuación mostramos todos los resultados de los ensayos al cemento y a los agregados, necesarios para la correcta aplicación del método de diseño de mezclas de concreto ACI 211.1:

3.3.1 CEMENTO

Como se ha mencionado en los capítulos anteriores, los cementos utilizados en esta investigación son los cementos que se fabrican bajo la norma ASTM C-1157 Tipo GU y ASTM C-1157 Tipo HE, proporcionados por la empresa Holcim El Salvador, bajo las marcas “Holcim CESSA Portland” y “Holcim CESSA Pav” respectivamente.

3.3.1.1 DENSIDAD DEL CEMENTO HIDRÁULICO (ASTM C-188)

La empresa fabricante de los cementos ASTM C-1157 Tipo GU y ASTM C-1157 Tipo HE nos proporcionó la densidad de los cementos a utilizar:

- Para cemento ASTM C-1157 Tipo GU la densidad es: **2.89**
- Para cemento ASTM C-1157 Tipo HE la densidad es: **2.94**

3.3.2 AGREGADOS

Los agregados empleados en el desarrollo de la investigación (arena y grava) son provenientes del río Jiboa específicamente del Plantel Jiboa, ubicado en el cantón El Tunal, municipio de Rosario, departamento de La Paz, en la carretera antigua a Zacatecoluca (Kilometro 41).

La materia prima es proveniente de un banco de aluvión, localizado a 5 kilómetros del plantel. Según el Mapa Geológico de la República de El Salvador, la zona de donde se extrae la materia prima es catalogada como un depósito sedimentario cuyas rocas son una mezcla de basaltos y andesitas predominando el componente basáltico, por lo que se denominan “agregados de origen basáltico andecítico”.

Antes de la realización de cada uno de los ensayos a los agregados se debe de realizar una adecuada homogenización del material, en la cual se utiliza la norma ASTM C-702 “Práctica Estándar para Reducir las Muestras de Agregados a Tamaño de Prueba”.

3.3.2.1 GRANULOMETRÍA Y MÓDULO DE FINURA DE AGREGADOS (ASTM C-136)

El método de prueba de la norma ASTM C-136 cubre la determinación de la distribución del tamaño de partículas de agregados finos y gruesos mediante tamizado.

Fundamentalmente, la información que se necesita obtener de los ensayos de granulometría de agregados (ASTM C-136) para la aplicación del método de diseño de mezclas de concreto de peso normal ACI 211.1 es:

- **Granulometría de agregado fino:** La granulometría de la arena está dentro de los límites especificados en la norma ASTM C-33.

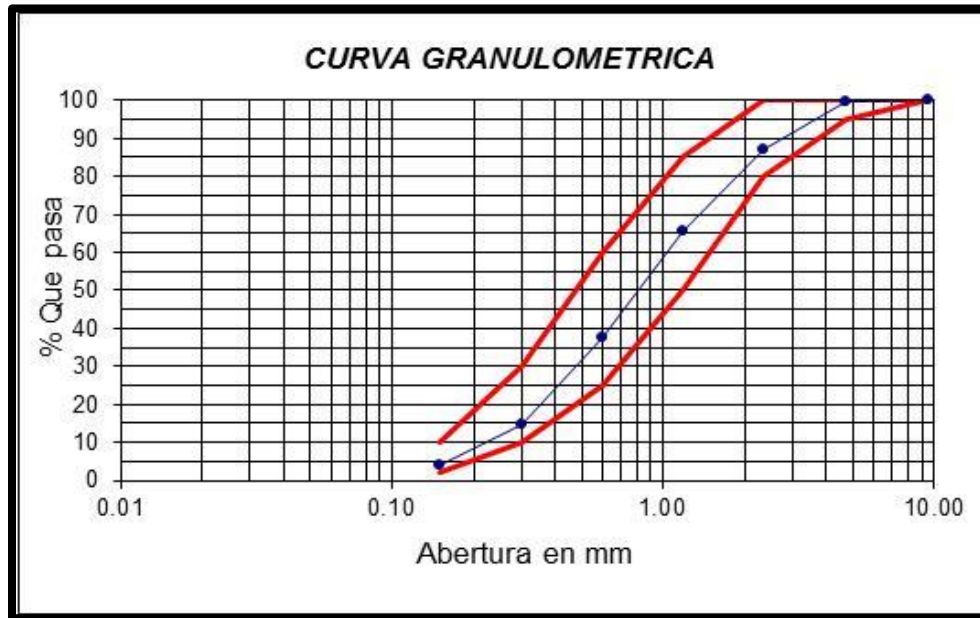


Figura 3.1 Granulometría de agregado fino que se utilizará en los especímenes de concreto.

- **Módulo de finura de agregado fino:** La arena que se utilizará en la elaboración de especímenes de concreto tiene un módulo de finura de **2.91**.
- **Tamaño máximo y tamaño máximo nominal del agregado grueso:** El tamaño máximo es **1½ pulgadas (38 mm)** ya que es el menor tamiz por el que pasa toda la muestra; y el tamaño máximo nominal es **1 pulgada (25 mm)** ya que es el menor tamaño de la malla por el cual pasa la mayor parte del agregado, o sea que es la malla donde se retiene el agregado de mayor tamaño.

Los resultados y cálculos completos de las pruebas de granulometría en agregados se presentan en el Anexo 3.1 y Anexo 3.2.

3.3.2.2 GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINO Y GRUESO (ASTM C-128/C-127)

Estos métodos de ensayo cubren la determinación de la densidad promedio de

una cantidad de partículas de agregado grueso y fino (no incluye el volumen de los vacíos entre las partículas), la densidad relativa (gravedad específica), y la absorción de agregados gruesos y finos. Dependiendo del procedimiento seguido, la densidad (kg/m^3) se expresa como condición de secado en horno, condición de saturado superficialmente seco (SSS), o como densidad aparente. De la misma manera, la densidad relativa (gravedad específica), una calidad adimensional, se expresa en condición secado en horno, condición de saturado superficialmente seco (SSS), o como densidad relativa aparente (gravedad específica aparente). La densidad y la densidad relativa secado al horno se determinan después de secar completamente el agregado. La densidad “SSS”, la densidad relativa “SSS” y la absorción se determinan después de remojar el agregado en agua durante un período previamente establecido.

Fundamentalmente, la información que se necesita obtener de los ensayos de gravedad específica y absorción de agregados (ASTM C-128/C-127) para la aplicación del método de diseño de mezclas de concreto de peso normal ACI 211.1 es:

- **Gravedad específica de agregado fino en condición saturado superficialmente seco:** La arena que se utilizará en esta investigación tiene una densidad relativa de **2.53**.
- **Absorción del agregado fino:** La arena que se utilizará en la elaboración de especímenes de concreto tiene una absorción del **4.30%**.
- **Gravedad específica de agregado grueso en condición saturado superficialmente seco:** La grava posee una densidad relativa de **2.68**.
- **Absorción del agregado grueso:** La grava que se utilizará en la elaboración de especímenes de concreto tiene una absorción del **1.70%**.

Los resultados y cálculos completos de las pruebas de gravedad específica y

absorción de agregados se presentan en el Anexo 3.3 y Anexo 3.4.

3.3.2.3 PESO VOLUMÉTRICO DE AGREGADOS (ASTM C-29)

Este método de ensayo se refiere a la determinación de la densidad en masa (peso unitario) de los agregados en condición compactada o suelta, y el cálculo de los huecos en agregados finos, gruesos o una mezcla de ambos, basándose en una misma determinación. Este método de prueba es aplicable a aquellos agregados que no excedan de 125 mm (5 pulgadas) como tamaño máximo nominal. Peso unitario es la terminología tradicional para describir la propiedad determinada por este método de prueba, y que representa el peso entre el volumen unitario (más correctamente, masa entre volumen unitario, o densidad).

Fundamentalmente, la información que se necesita obtener de los ensayos de peso volumétrico de agregados (ASTM C-29) para la aplicación del método de diseño de mezclas de concreto de peso normal ACI 211.1 es únicamente:

- **Peso volumétrico seco compactado (PVSC):** El peso volumétrico de la grava secada al horno y varillado según ASTM C-29 es **1546 kg/m³**.

Los resultados y cálculos completos de las pruebas de peso volumétrico de agregados se presentan en el Anexo 3.5 y Anexo 3.6.

3.3.2.4 CONTENIDO HUMEDAD AGREGADOS (ASTM C-566)

Este método de ensayo cubre la determinación del porcentaje de humedad evaporable en una muestra de agregado por secado, la humedad superficial y la humedad en los poros del agregado. Algunos agregados pueden contener agua que está químicamente combinada con los minerales en el agregado, dicha agua no es evaporable y no está incluida en el porcentaje determinado por este método de ensayo. Este ensayo se debe de hacer justo antes de realizar la mezcla de concreto, debido a que la humedad presente en los agregados es variable y depende de muchos factores, por lo que los resultados de éste son diferentes para

cada diseño de mezclas proyectado; en la Sección 3.4.12 de este documento presentamos el contenido de humedad de los agregados que se utilizaron en cada uno de los diseños de mezclas.

3.3.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS.

- Del análisis de granulometría se observa que al comparar la masa final de la muestra con la masa inicial (*Ver Anexo 3.1 y Anexo 3.2*) solamente difieren en un 0.06% para agregado fino y en un 0.04% para agregado grueso, por lo que los ensayos son admisibles, ya que la norma ASTM C-136 establece que no debe de diferir como máximo en un 0.30%, es así que este ensayo puede utilizarse como criterio de aceptación del ensayo.
- A través del análisis granulométrico se determinó que el módulo de finura de la arena a utilizar en la elaboración de especímenes de concreto es de 2.91, por lo tanto la arena es adecuada para la fabricación de concreto convencional ya que el módulo de finura de ésta debe estar entre 2.30 y 3.10 (*Ver Sección 2.4.2 literal “A” de este documento*).
- En las gráficas resultantes de los análisis de granulometría podemos observar que el agregado fino cumple con los límites granulométricos; mientras que para la grava el tamaño de agregado N°4, que establece la norma ASTM C-33 en la Tabla N° 2, es el que más se asemeja a la granulometría (*Ver Anexo 3.2*), aunque no cumple a cabalidad con los límites granulométricos que el tamaño de agregado N°4 requiere; sin embargo esto no impide el uso de éste agregado grueso (*Ver Sección 2.4.2 literal “A” de este documento*).
- Aunque la gravedad específica y la absorción no se utilizan como medida de calidad del agregado, estos parámetros de los agregados sometidos a ensayos se encuentran dentro de los parámetros normales (*Ver Sección 2.4.2 literal “D” y literal “E” de este documento*).

- El peso volumétrico aproximado del agregado comúnmente usado en el concreto de peso normal varía de $1,200 \text{ kg/m}^3$ a $1,750 \text{ kg/m}^3$; por lo que el agregado grueso a utilizar es aceptable para la elaboración de especímenes de concreto de peso normal.

3.4 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO (ACI 211.1)

El procedimiento para la dosificación de mezclas que se expone en esta sección es aplicable al concreto de peso normal, aunque pueden emplearse los mismos criterios y procedimientos básicos para seleccionar las proporciones de concretos pesados y masivos.

La estimación de los pesos de las mezclas de concreto requeridos implica una secuencia de pasos lógicos y directos que de hecho, ajustan las características de los materiales disponibles a una mezcla adecuada para el trabajo. El aspecto de la adaptabilidad no siempre permite al individuo seleccionar las proporciones. Las especificaciones de la obra pueden dictar todas o algunas de las siguientes recomendaciones:

- Máxima relación agua/cemento.
- Máximo contenido de cemento.
- Contenido de aire.
- Revenimiento.
- Tamaño máximo de agregado.
- Resistencia.
- Otros requerimientos relacionados con aspectos de sobre-diseño de resistencia, aditivos y tipos especiales de cemento o agregado.

Independientemente de si las características del concreto son prescritas a través de las especificaciones o si son dejadas al criterio individual de la persona que esta seleccionando las proporciones, el establecimiento de los pesos por metro

cúbico de concreto pueden ser adecuadamente logrados con la siguiente secuencia:

3.4.1 RESISTENCIA DE DISEÑO

La resistencia a compresión especificada (f_c) a los 28 días, es la resistencia que el promedio de cualquier conjunto de tres ensayos consecutivos de resistencia de especímenes de concreto debe lograr o superar. El ACI 318 requiere que el f_c sea, por lo menos, para elementos estructurales una resistencia de 175 kg/cm² o 17.25 MPa (2500 lb/pulg²). Ninguna prueba individual (promedio de dos cilindros) puede tener resistencia de 35 kg/cm² o 3.5 MPa (500 lb/pulg²) inferior a la resistencia especificada. Los especímenes se deben curar bajo las condiciones de laboratorio para una determinada clase de concreto (ACI 318). Algunas especificaciones permiten rangos alternativos.

La resistencia de diseño de una mezcla de concreto hidráulico debe ser igual a la resistencia especificada más una tolerancia que lleva en consideración las variaciones de los materiales, de los métodos de mezclado, del transporte y colocación del concreto y variaciones en la producción, curado y ensayo de probetas cilíndricas de concreto (*Ver ACI 301*). La resistencia de diseño, que es mayor que f_c , se llama f_{cr} , y se le conoce como la resistencia promedio requerida en obra de una mezcla de concreto hidráulico.

Si el fabricante del concreto tiene experiencia y una historia de resultados de ensayos de resistencia de los concretos fabricados con materiales semejantes a los que se va a emplear en la obra, realizados durante los últimos 12 meses con intervalos no menores a 60 días, con una resistencia de más de 70 kg/cm² (7MPa) de la resistencia especificada y con ellos se puede realizar un análisis estadístico, entonces la resistencia requerida se puede calcular con base en la desviación estándar de esos resultados calculada así:

- a) Datos de un solo grupo de por lo menos 15 ensayos de compresión

consecutivos:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{(n-1)}}$$

Ecuación 3.1

Donde:

S: Desviación estándar.

n: Número de resultados de ensayos considerados.

X: Promedio de los “n” resultados de ensayo considerados.

Xi: Resultados de ensayos individuales.

b) Datos de dos grupos de ensayos de resistencia a la compresión consecutivos que sumados sean por lo menos 30. Ninguno de los dos grupos debe tener menos de 10 resultados.

$$S = \sqrt{\frac{(n_1-1)s_1^2 + (n_2-1)s_2^2}{(n_1+n_2-2)}}$$

Ecuación 3.2

Donde:

S: Desviación estándar para los dos grupos combinados.

s₁, s₂: Desviaciones estándar para los grupos 1 y 2, calculados de acuerdo con la ecuación 3.1.

n₁, n₂: Número de resultados de ensayos de los grupos 1 y 2 respectivamente.

Cuando las instalaciones de producción de concreto no llevan registros de ensayos, pero si llevan un registro basado en 15 a 29 ensayos consecutivos. Se establecerá una desviación estándar afectada por un factor de modificación mostrado en la siguiente tabla (Interpolar si es necesario).

Número de Ensayos Considerados	Factor de modificación (t)
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30 o más	1.0

Tabla 3.1 Factor de modificación de la desviación estándar.

La resistencia a la compresión promedio requerida se calcula con las siguientes fórmulas:

a) Cuando $f_c \leq 350 \text{ kg/cm}^2$

$$f_{cr} = f_c + 1.34t^*S \quad \text{Ecuación 3.3}$$

$$f_{cr} = f_c + 2.33t^*S - 35 \quad \text{Ecuación 3.4}$$

a) Cuando $f_c \geq 350 \text{ kg/cm}^2$

$$f_{cr} = f_c + 1.34t^*S \quad \text{Ecuación 3.3}$$

$$f_{cr} = 0.9f_c + 2.33t^*S \quad \text{Ecuación 3.5}$$

Donde:

f_{cr} : Resistencia a la compresión promedio requerida en kg/cm^2 .

f_c : Resistencia a la compresión especificada en kg/cm^2 .

t : Factor de modificación de la tabla 3.1.

S : Desviación estándar calculada con las ecuaciones 3.1 ó 3.2 en kg/cm^2 .

Nota: Se debe de tomar el mayor valor de los f_{cr} calculados con las ecuaciones 3.3, 3.4 y 3.5.

Si no existe una historia de resultados de ensayos con los materiales en cuestión, que va a ser el caso más común para obras nuevas, entonces se puede empezar fijando una resistencia de diseño de mezcla f_{cr} acorde con la Tabla 3.2.

Resistencia a compresión especificada f_c	Resistencia promedio requerida f_{cr}
$f_c < 210 \text{ kg/cm}^2$	$f_{cr} = f_c + 70 \text{ kg/cm}^2$
$210 \text{ kg/cm}^2 \leq f_c \leq 350 \text{ kg/cm}^2$	$f_{cr} = f_c + 85 \text{ kg/cm}^2$
$f_c \geq 350 \text{ kg/cm}^2$	$f_{cr} = 1.10f_c + 50 \text{ kg/cm}^2$

Tabla 3.2 Resistencia promedio requerida f_{cr} cuando no hay datos disponibles de desviación estándar.

Una vez iniciada la obra, se pueden ir recopilando los datos de los ensayos de resistencia hasta tener un número suficiente que permita el estudio estadístico y con él calcular una nueva resistencia f_{cr} menos conservadora y por tanto más

económica, siguiendo el procedimiento arriba indicado.

Por otro lado, El ACI 214.3 propone otro procedimiento para escoger la resistencia requerida de diseño de la mezcla f_{cr} , fijando el número de ensayos que tengan resultados debajo de resistencia especificada, que se consideren tolerables, utilizando la fórmula:

$$f_{cr} = f_c + p \cdot S \quad \text{Ecuación 3.6}$$

Donde:

f_{cr} : Resistencia a la compresión promedio requerida en kg/cm^2 .

f_c : Resistencia a la compresión especificada en kg/cm^2 .

p : Factor probabilidad basado en el porcentaje de ensayos que el autor del proyecto permita que sean menores a f_c .

S : Desviación estándar esperada para el proyecto en kg/cm^2 .

La Tabla 3.3 registra los factores de probabilidad para varios porcentajes de ensayos menores a la resistencia especificada, determinados utilizando las propiedades de la curva de distribución normal.

Resistencia promedio requerida (f_{cr})	Porcentaje de ensayos debajo de f_c (p)	Resistencia promedio requerida (f_{cr})	Porcentaje de ensayos debajo de f_c (p)
$f_c + 0.00S$	50.0	$f_c + 1.60S$	5.5
$f_c + 0.10S$	46.0	$f_c + 1.70S$	4.5
$f_c + 0.20S$	42.1	$f_c + 1.80S$	3.6
$f_c + 0.30S$	38.2	$f_c + 1.90S$	2.9
$f_c + 0.40S$	34.5	$f_c + 2.00S$	2.3
$f_c + 0.50S$	30.9	$f_c + 2.10S$	1.8
$f_c + 0.60S$	27.4	$f_c + 2.20S$	1.4
$f_c + 0.70S$	24.2	$f_c + 2.30S$	1.1
$f_c + 0.80S$	21.2	$f_c + 2.40S$	0.80
$f_c + 0.90S$	18.2	$f_c + 2.50S$	0.60

$f_c + 1.00S$	15.9	$f_c + 2.60S$	0.45
$f_c + 1.10S$	13.6	$f_c + 2.70S$	0.35
$f_c + 1.20S$	11.5	$f_c + 2.80S$	0.25
$f_c + 1.30S$	9.7	$f_c + 2.90S$	0.19
$f_c + 1.40S$	8.1	$f_c + 3.00S$	0.13
$f_c + 1.50S$	6.7		

Tabla 3.3 Porcentaje esperado de ensayos más bajos que la resistencia especificada f_c .

Obsérvese que si se diseña la mezcla con un valor igual a la resistencia especificada, se debe esperar que un 50% de los resultados sean menores a esta resistencia, lo cual evidentemente resulta inaceptable para la mayoría de las obras, de aquí la necesidad de diseñar la mezcla con valores más altos que f_c en función de las condiciones de control en obra que se reflejará en la desviación estándar. Pero tampoco es aceptable exigir que ningún resultado sea menor que el especificado.

Aún en el caso de imponer una f_{cr} mayor a f_c en 3 veces la desviación estándar, deben esperarse 1.3 resultados en 1000, menores a f_c . A manera de ejemplo, si el proyecto requiere una $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$ y el control de calidad es bueno, obteniéndose una desviación estándar $S=41 \text{ kg/cm}^2$, con esta exigencia, la f_{cr} debería ser igual a: $210\text{kg/cm}^2 + 3*41\text{kg/cm}^2 = 333.0 \text{ kg/cm}^2$, lo cual a todas luces parece exagerado. Por lo tanto, dependerá de las condiciones y criterios de la persona encargada del diseño de mezclas de concreto la forma de calcular la resistencia promedio requerida.

Para nuestra investigación elegimos las resistencias promedio requeridas de **120kg/cm², 160kg/cm², 230kg/cm², 300kg/cm² y 370kg/cm²**; bajo el criterio que son las resistencias mas usadas en el diseño de mezclas de concreto en El Salvador.

3.4.2 ELECCIÓN DE REVENIMIENTO (PASO 1).

Si el revenimiento no se ha especificado, su valor apropiado para el trabajo puede ser seleccionado a partir de la Tabla 3.4. Los rangos del revenimiento que se muestran aplican cuando se usa vibración para consolidar el concreto. Deben emplearse mezclas de la consistencia más dura posible sin perder de vista que se puedan colocar con un buen rendimiento.

Tipos de Construcción	Revenimiento, cm	
	Máximo*	Mínimo
Muros de cimentación y zapatas reforzadas	7.5	2.5
Zapatas, campanas y muros de subestructura	7.5	2.5
Vigas y muros reforzados	10	2.5
Columnas para edificios	10	2.5
Pavimentos y losas	7.5	2.5
Concreto masivo	5	2.5

Tabla 3.4 Revenimientos recomendados para varios tipos de construcción (Tabla 6.3.1 ACI 211.1).

(*) Puede incrementarse en 2.5 cm (1.0 pulgada) cuando no se usa vibración para consolidar el concreto.

Nota: El revenimiento puede ser incrementado cuando se usan aditivos químicos siempre y cuando se halla incorporado al concreto y que el concreto tenga la misma o una más baja relación agua/cemento, además que no exhiba segregación potencial o excesivo sangrado.

En la realización de los diseños de mezclas de esta investigación se eligió un revenimiento de **5.0 cm (2")** ya que es un revenimiento promedio que se puede utilizar en cualquier tipo de construcción.

3.4.3 ELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO (PASO 2)

Los tamaños más grandes de agregados bien graduados tienen menos vacíos que

los tamaños más pequeños. Por esto, los concretos con agregados de tamaño mayores requieren menos mortero por volumen unitario de concreto. Por regla general, el tamaño máximo de agregado debe ser el mayor disponible económicamente y guardar relación con las dimensiones de la estructura. En ningún caso el tamaño máximo debe exceder de:

- a. $1/5$ de la menor dimensión entre los costados de las cimbras.
- b. $1/3$ del espesor de las losas.
- c. $3/4$ del espaciamiento mínimo libre entre varillas o alambres individuales de refuerzo, paquetes de varillas, cables o ductos de pretensado.

A veces, estas limitaciones se pasan por alto si la trabajabilidad y los métodos de compactación permiten que el concreto sea colado sin cavidades o huecos. Cuando se desea un concreto de alta resistencia, se pueden obtener mejores resultados con agregados de tamaño máximo reducido, ya que éstos producen resistencias superiores con una relación agua/cemento determinada.

El tamaño máximo del agregado a utilizar es de **38 mm (1½")**, lo cual es congruente con lo antes expuesto, ya que para nuestro caso la menor dimensión por la cual pasará el agregado es el diámetro del molde cilíndrico (15 cm ó 6").

3.4.4 ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE AGUA Y CONTENIDO DE AIRE (PASO 3)

La cantidad de agua por volumen unitario de concreto requerida para producir determinado revenimiento, depende del tamaño máximo, de la forma de la partícula, la granulometría de los agregados y de la cantidad de aire incluido (aire adicionado a través de aditivos químicos), no le afecta significativamente el contenido de cemento. La Tabla 3.5 provee valores estimados del agua de mezclado requerida para concretos hechos con varios tamaños máximos de agregados, con y sin aire incluido. Dependiendo de la forma y textura del agregado, los requerimientos de agua de mezclado pueden estar algunas veces por encima o por debajo de los valores tabulados, pero estos son suficientemente aproximados para la primera estimación. La diferencia en la demanda de agua no

se refleja necesariamente en la resistencia ya que pueden estar involucrados otros factores de compensación. Por ejemplo, entre un agregado redondeado y otro angular, ambos gruesos, bien graduados y de buena calidad, se espera que puedan producir concretos de aproximadamente la misma resistencia a la compresión para la misma cantidad de cemento, a pesar de la diferencia en la relación A/C resultante de los diferentes requerimientos de agua de mezclado. La forma de la partícula no indica por sí misma que el agregado estará por encima o por debajo del promedio en cuanto a su capacidad para obtener resistencia.

Revenimiento, cm	Agua, kg/m ³ para el concreto de agregado de tamaño nominal máximo (mm) indicado							
	9.5*	12.5*	19*	25*	38*	50* _i	75 _i +	150 _i +
CONCRETO SIN AIRE INCLUIDO								
2.5 a 5.0	207	199	190	179	166	154	130	113
7.5 a 10	228	216	205	193	181	169	145	124
15 a 17.5	243	228	216	202	190	178	160	-
Cantidad aproximada de aire atrapado en concreto, %	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2
CONCRETO CON AIRE INCLUIDO								
2.5 a 5.0	108	175	165	160	145	140	135	120
7.5 a 10	200	190	180	175	160	155	150	135
15 a 17.5	215	205	190	185	170	165	160	-
Promedio recomendado del contenido total de aire, porcentaje de acuerdo con el nivel de exposición**								
Exposición ligera	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5*** _i	1.0*** _i
Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5*** _i	3.0*** _i
Exposición severa++++	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5*** _i	4.0*** _i

Tabla 3.5 Requerimientos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales de agregado (Tabla 6.3.3 ACI 211.1).

(*) Las cantidades de agua de mezclado dadas para concreto con aire incluido son

basadas en los requerimientos totales de contenido de aire como son mostrados para “Exposición moderada” en la parte inferior de la tabla. Estas cantidades de agua de mezclado son para usarlas en el cálculo de los contenidos de cemento en mezclas de prueba de 20° a 25°C (68 a 77°F). Son cantidades máximas de agregados gruesos angulares, razonablemente bien formados y con granulometría dentro de los límites de las especificaciones aceptadas. Los agregados redondeados generalmente requieren 14 kg menos de agua para concreto sin aire incluido, mientras que para concreto con aire incluido requiere 11 kg menos de agua. El uso de aditivos reductores de agua, ASTM C-494, puede además reducir el agua de mezclado en el orden del 5% o más. El volumen de los líquidos de los aditivos es incluido como parte del volumen total del agua de mezclado. Los valores del revenimiento de más de 18 cm (7”) son solamente obtenidos a través del uso de aditivos reductores de agua, estos son para concretos que contienen agregados con tamaño nominal máximo de 25mm (1”).

(i) Los valores del revenimiento para concreto que contienen agregados mayores a 38 mm (1½”) están basados en las pruebas de revenimiento realizadas después de haber removido las partículas superiores a 38 mm (1½”) de diámetro.

(+) Estas cantidades de agua de mezclado se usan para el cálculo de los factores de cemento para mezclas de pruebas cuando se usan agregados con tamaño nominal de 75 mm (3”) ó 150 mm (6”). Son promedios para agregados gruesos razonablemente bien formados y con buena granulometría de grueso a fino.

(**) En varios documentos del ACI aparecen recomendaciones adicionales con respecto al contenido de aire y a las tolerancias necesarias de contenido de aire para control en el campo. Entre estos documentos están: ACI 201, ACI 345, ACI 318, ACI 301 y ACI 302. La norma ASTM C-94 para concretos premezclados también proporciona los límites de contenido de aire. Los requerimientos que aparecen en otros documentos no siempre pueden concordar exactamente, por lo que al proporcionar concreto debe prestarse atención a la selección de un

contenido de aire que se ajuste a las necesidades de la obra, así como a las especificaciones aplicables.

(***) Para concretos conteniendo agregados de gran tamaño que serán tamizados en húmedo a través de una malla de 38 mm (1½”) antes de someterse a la prueba de contenido de aire, el porcentaje de aire esperado en el material inferior al tamaño mencionado debe ser como el tabulado en la columna de 38 mm (1½”). Sin embargo, los cálculos iniciales de proporción deben incluir el contenido de aire como un porcentaje del total.

(ii) Cuando se emplea agregado grande en concretos con baja cantidad de cemento, la inclusión de aire no debe ir en detrimento de la resistencia. En la mayoría de los casos el requerimiento de agua de mezclado se reduce lo suficiente para mejorar la relación A/C y de esta manera, compensar el efecto reductor de resistencia del concreto con inclusión de aire. Generalmente, para dichos tamaños máximos de agregado, los contenidos de aire recomendados en caso de exposición severa deben tomarse en consideración aunque pueda haber poca o ninguna exposición a la humedad o al congelamiento.

(+++++) Estos valores se basan en el criterio de que es necesario un 9% de aire en el mortero del concreto. Si el volumen del mortero va a ser sustancialmente diferente del determinado en la obra, puede ser conveniente calcular el contenido de aire necesario tomando un 9% del volumen real del mortero.

El empleo de cantidades normales de aire incluido en concretos con resistencia especificada a 350 kg/cm² o aproximada, puede no ser factible debido al hecho de que cada porcentaje de aire adicional reduce la resistencia máxima que se puede obtener con determinada combinación de materiales. En estos casos la exposición al agua, sales descongelantes y temperaturas de congelación deben ser cuidadosamente evaluadas. Si un elemento no va a estar continuamente mojado ni expuesto a sales descongelantes, son apropiados los valores de contenido de

aire más bajos, como los que se señalan en la Tabla 3.5, para exposición moderada, aunque el concreto esté expuesto a temperaturas de congelación – deshielo. Sin embargo, en condiciones de exposición en las que el elemento puede estar saturado antes de la congelación, no debe sacrificarse el aire incluido en favor de la resistencia.

Cuando se emplean mezclas de prueba con el fin de establecer las relaciones de resistencia o verificar la capacidad para producir resistencia de una mezcla, debe emplearse la combinación menos favorable de agua de mezclado y aire incluido; es decir, el contenido de aire debe ser el máximo permitido y el concreto se debe mezclar para un revenimiento lo más elevado posible. Esto evitará la elaboración de un cálculo demasiado optimista de la resistencia, basado en la suposición de que en el campo prevalecerán las condiciones promedio en lugar de presentarse condiciones extremas. Para información sobre las recomendaciones relativas al contenido de aire, consúltense ACI 201, ACI 301 y ACI 302.

3.4.5 SELECCIÓN DE RELACIÓN AGUA/CEMENTO (PASO 4)

La relación A/C requerida se determina no sólo por los requisitos de resistencia, sino también por otros factores como la durabilidad y las propiedades del acabado. Puesto que diferentes agregados y cementos producen, generalmente, distintas resistencias empleando la misma relación A/C, es muy deseable establecer una relación entre la resistencia y la relación A/C para los materiales que de hecho van a emplearse. En ausencia de estos datos, valores aproximados y relativamente conservadores para concreto elaborado con cemento Portland Tipo I pueden tomarse de la Tabla 3.6. Con materiales comunes, las relaciones A/C tabuladas deben producir las resistencias indicadas, con base en pruebas a los 28 días de especímenes curados bajo condiciones estándar de laboratorio. La resistencia promedio seleccionada debe por supuesto exceder de la resistencia especificada por un margen suficiente para mantener dentro de los límites especificados las pruebas con bajos valores (*Ver ACI 214*).

Resistencia a la compresión a los 28 días, kg/cm ² *	Relación agua/cemento (A/C) por peso	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
420	0.41	----
350	0.48	0.40
280	0.57	0.48
210	0.68	0.59
140	0.82	0.74

Tabla 3.6 Relación Agua/Cemento (A/C) y la resistencia a la compresión del concreto (Tabla 6.3.4(a) ACI 211.1).

(*) Los valores son resistencias promedio estimadas para concreto que no contiene más del 2% de aire para concreto sin aire incluido y 6% de contenido total de aire para concreto con aire incluido. Para una relación A/C constante se reduce la resistencia del concreto en la medida que el contenido de aire es incrementado. Los valores de resistencia a 28 días pueden ser conservadores y pueden cambiar cuando varios materiales cementantes son usados. La resistencia está basada en su determinación a través del ensayo de especímenes estándar de 6" x 12" curados de acuerdo con ASTM C-31. Estos son cilindros curados con humedad a 23±1.7°C (73.4±3°F) previo a su ensayo. Las relaciones dadas en esta tabla asumen un tamaño nominal máximo del agregado de 3/4" a 1". Para una fuente de agregados dada, la resistencia producirá una relación A/C que se incrementará en la medida que se reduzca el tamaño máximo del agregado.

Además la Tabla 3.6 se puede representar en una gráfica, tal como se muestra a continuación:

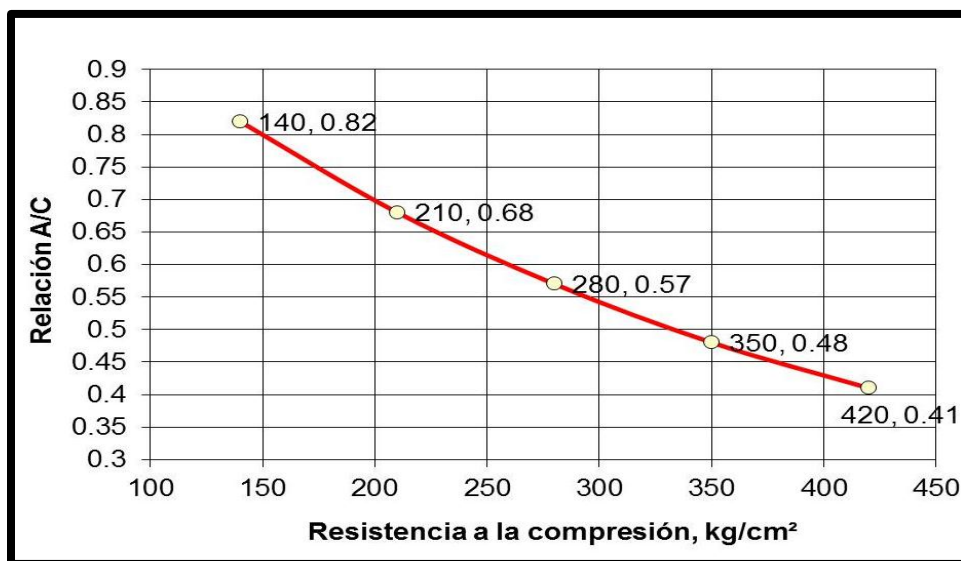


Figura 3.2 Relación Agua/Cemento (A/C) y la resistencia a la compresión del concreto sin aire incluido.

Para condiciones de exposición severas la relación A/C debe mantenerse baja, aun cuando los requerimientos de resistencia puedan cumplirse con valores mayores. En la Tabla 3.7 se muestran los valores límite.

Tipo de Estructura	Estructura continua o frecuentemente mojada y expuesta a congelación y deshielo+	
	Estructura expuesta al agua de mar o a sulfatos	
Secciones esbeltas (barandales, guarniciones, umbrales, ménsulas, trabajos ornamentales) y secciones con menos de 3cm de recubrimiento sobre el acero de refuerzo.	0.45	0.40++
Todas las demás estructuras	0.50	0.45++

Tabla 3.7 Máximas relaciones A/C permisibles para concreto expuesto a condiciones severas* (Tabla 6.3.4 (b) ACI 211.1).

(*) Basado en el informe del COMITÉ ACI 201, "Durability of Concrete in Service"

(+) El concreto también debe tener aire incluido.

(++) Si se emplea cemento resistente a los sulfatos (Tipo II y Tipo V de la norma ASTM C-150), la relación A/C permisible puede incrementarse en 0.05.

3.4.6 CALCULO DEL CONTENIDO DE CEMENTO (PASO 5)

La cantidad de cemento por volumen unitario de concreto se rige por las determinaciones expuestas en la Sección 3.4.4 y 3.4.5 de este procedimiento (cálculo del contenido de agua y selección de la relación A/C). El cemento requerido es igual al contenido estimado de agua de mezclado dividido entre la relación A/C.

El empleo de aditivos puzolánicos o químicos afectará las propiedades del concreto tanto en estado fresco como endurecido (*Ver ACI 212*).

3.4.7 ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE GRAVA (PASO 6)

Los agregados de esencialmente el mismo tamaño máximo nominal y granulometría producen concretos de trabajabilidad satisfactoria cuando se emplea un volumen dado de agregado grueso por volumen unitario de concreto, con base en el Peso Unitario Seco Varillado. En la Tabla 3.8 aparecen valores apropiados para estos volúmenes de agregado. Puede observarse que, para igual trabajabilidad, el volumen de agregado grueso en volumen unitario de concreto depende únicamente de su tamaño máximo y del módulo de finura del agregado fino. Las diferencias en la cantidad de mortero requerido para la trabajabilidad con diferentes agregados, debidas a diferencias en la forma y granulometría de las partículas, quedan compensadas automáticamente por las diferencias en el contenido de vacíos, obtenidas cuando se determina el Peso Unitario Varillado en seco.

En la Tabla 3.8 se muestra el volumen de agregado en metros cúbicos, con base al varillado en seco, para un metro cúbico de concreto. Este volumen se convierte a peso seco del agregado grueso requerido en un metro cúbico de concreto, multiplicándolo por el Peso Unitario Varillado en seco por metro cúbico de agregado grueso.

Para obtener un concreto de buena trabajabilidad, lo que a veces es necesario

para colar mediante bombeo o cuando el concreto se va a colocar alrededor de lugares congestionados de acero de refuerzo; es reducir aproximadamente en 10% el contenido estimado de agregado grueso determinado de la Tabla 3.8. Sin embargo, deben tomarse precauciones para garantizar que el revenimiento resultante, la relación A/C y las propiedades de resistencia del concreto concuerdan con las recomendaciones de las secciones 3.4.2 3.4.5 de este procedimiento y cumplan con los requisitos aplicables de las especificaciones de proyecto.

Tamaño máximo nominal de agregado, Pulg. (mm)	Volumen de agregado grueso* varillado en seco, por volumen unitario de concreto para distintos módulos de finura de arena.			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8 (10)	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2 (12.5)	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4 (20.0)	0.66	0.64	0.62	0.60
1 (25.0)	0.71	0.69	0.67	0.65
1½ (40.0)	0.75	0.73	0.71	0.69
2 (50.0)	0.78	0.76	0.74	0.72
3 (70.0)	0.82	0.80	0.78	0.76
6 (150.0)	0.87	0.85	0.83	0.81

Tabla 3.8 Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto (Tabla 6.3.6 ACI 211.1).

(*) Los volúmenes están basados en agregados en condición varillada en seco, como se describe en ASTM C-29. Estos volúmenes se han seleccionado a partir de relaciones empíricas para producir concreto con un grado de trabajabilidad adecuado en la construcción reforzada. Para concretos menos trabajables, como los requeridos en la construcción de pavimentos de concreto, los valores de esta tabla pueden incrementarse en un 10% aproximadamente. Como se ha mencionado arriba, para concretos más trabajables es necesario disminuir aproximadamente estos valores en un 10%.

3.4.8 ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE ARENA (PASO 7)

El agregado fino, cuya cantidad se determina por diferencia. Puede emplearse cualquiera de los dos procedimientos siguientes:

A- Método de Peso del concreto por unidad de volumen.

B- Método de volumen absoluto ocupado por los ingredientes del concreto.

Procedimiento A. Método de Peso del concreto por unidad de volumen

Si el peso del concreto por volumen unitario se supone o puede estimarse por experiencia, el peso requerido del agregado fino es, simplemente, la diferencia entre el peso del concreto fresco y el peso total de los demás componentes. A menudo se conoce con bastante precisión el peso unitario del concreto, por experiencia previa con los materiales. En ausencia de dicha información, puede emplearse la Tabla 3.9 para hacer un cálculo tentativo. Aun si el cálculo del peso del concreto por metro cúbico es aproximado, las proporciones de la mezcla serán suficientemente precisas para permitir un ajuste fácil con base en mezclas de prueba.

Tamaño máximo de agregado, pulg. (mm)	Primera estimación del peso del concreto fresco, kg/m ³ *	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
3/8 (10)	2285	2190
1/2 (12.5)	2315	2235
3/4 (20.0)	2355	2280
1 (25.0)	2375	2315
1½ (40.0)	2420	2355
2 (50.0)	2445	2375
3 (70.0)	2465	2400
6 (150.0)	2505	2435

Tabla 3.9 Primera estimación del peso del concreto fresco (Tabla 6.3.7.1 ACI 211.1).

(*) Valores calculados por medio de la Ecuación 3.7 para concreto de riqueza mediana (330 kg de cemento por m³ de concreto) y revenimiento medio con agregado de peso específico de 2.7. Los requerimientos de agua se basan en valores de la Tabla 3.5, para revenimiento de 3" a 4". Si se desea, el peso estimado puede afinarse como sigue, si la información necesaria está disponible: por cada 6 kg de diferencia en los valores del agua de mezclado de la Tabla 3.5, para revenimiento de 3" a 4", corregir el peso por m³ en 9 kg en dirección contraria; por cada 59 kg de diferencia en contenido de cemento a partir de 300 kg, corregir el peso en 9 kg en la misma dirección; por cada 0.1 que el peso específico del agregado se desvíe de 2.7, debe corregirse el peso del concreto en 59 kg en la misma dirección.

Cuando se desea un cálculo teóricamente exacto del peso del concreto fresco por metro cúbico, puede emplearse la siguiente formula:

$$U=10.0(Ga)*(100-A) + (c)*(1-Ga/Gc)-(w)*(Ga-1) \quad \text{Ecuación 3.7}$$

Donde:

U: Peso del concreto fresco por metro cubico, Kg.

Ga: Gravedad Específica Bulk (SSS) de los agregados finos y grueso combinados.

Gc: Gravedad Específica del cemento.

A: Contenido de aire, %.

C: Requerimiento de cemento por metro cúbico, Kg.

W: Requerimiento del agua de mezclado por metro cúbico, Kg.

Procedimiento B. Método de volumen absoluto ocupado por los ingredientes del concreto

Un procedimiento más exacto para calcular la cantidad requerida de agregados finos, implica el empleo de volúmenes desplazados por los componentes. En este caso, el volumen total desplazado por los componentes conocidos (agua, aire, cemento y agregado grueso) se resta del volumen unitario de concreto para obtener el volumen requerido de agregado fino. El volumen ocupado por cualquier componente en el concreto es igual a su peso dividido entre la densidad de este material (siendo ésta el producto de la Gravedad Específica del agua por el Peso Específico del material).

3.4.9 AJUSTES POR HUMEDAD DE LOS AGREGADOS (PASO 8)

Las cantidades de agregado que realmente deben pesarse para el concreto, deben considerar la humedad del agregado. Los agregados están generalmente húmedos y sus pesos secos deben incrementarse con el porcentaje de agua que contienen ya sea absorbida o libre en la superficie. Por lo tanto el agua de mezclado será corregida dependiendo de los valores de humedad y absorción que tengan los agregados, así:

- Si Absorción (%) > Humedad (%), el agregado absorberá agua del agua de mezclado obtenido de la Tabla 3.5, por lo tanto hay necesidad de agregar una cantidad de agua equivalente a la diferencia entre la absorción y la humedad de los agregados a fin de evitar que este consumo adicional de agua se refleje en mezclas poco manejables.
- Si Absorción (%) < Humedad (%), el agregado aportará agua al agua de mezclado por lo tanto, hay necesidad de disminuir el agua de mezclado en una cantidad equivalente a la diferencia entre la humedad y la absorción a fin de evitar que la mezcla a elaborar sobrepase el revenimiento previsto.
- Si Absorción (%) = Humedad (%), no se debe realizar ningún ajuste ya que los valores de la Tabla 3.5 son calculados bajo esta condición.

3.4.10 AJUSTES A LA MEZCLA DE PRUEBA (PASO 9)

Las proporciones calculadas de la mezcla deben verificarse mediante mezclas de prueba, preparadas y probadas de acuerdo con ASTM C-192 (Elaboración y Curado de Especímenes de Concreto en el Laboratorio para Ensayo) o por medio de mezclas reales en el campo. Sólo debe usarse el agua suficiente para producir el revenimiento requerido, independientemente de la cantidad supuesta al dosificar los componentes de la prueba. También debe tenerse cuidado de lograr la trabajabilidad apropiada, ausencia de segregación, así como las propiedades de acabado. Deben efectuarse los ajustes necesarios en las proporciones de las mezclas subsecuentes, de acuerdo con los siguientes procedimientos:

- (a) Si el revenimiento de la mezcla de prueba no es el correcto, increméntese o redúzcase el nuevo contenido estimado de agua a 2kg por metro

cúbico de concreto para cada centímetro de incremento o reducción del revenimiento.

(b) Si no se obtiene el contenido de aire deseado (para concreto con aire incluido), debe estimarse de nuevo el contenido requerido de aditivo para lograr el contenido apropiado de aire y reducirse o incrementarse el contenido de agua de mezclado que se indica en el (a), en 3kg por cada 1% en que debe reducirse o incrementarse el contenido de aire respecto al de la mezcla de prueba previa.

(c) El Peso Unitario de concreto fresco estimado nuevamente para el ajuste de las proporciones de la mezcla de prueba, es igual al peso unitario en kg/m^3 medido en la mezcla de prueba, reducido o incrementado por el porcentaje de incremento o reducción del contenido de aire de la mezcla ajustada respecto a la primera mezcla de prueba.

(d) Deben calcularse nuevos pesos de mezcla, comenzando con el literal 3.4.5; si es necesario, se modificará el volumen de agregado grueso de la Tabla 3.8 para obtener una trabajabilidad adecuada.

3.4.11 EJEMPLO DE DISEÑO DE MEZCLA

Se realizará a manera de ejemplo uno de los diez diseños de mezcla de concreto que se utiliza la investigación; el diseño es basado en los pasos que propone el método ACI 211.1 para una resistencia promedio requerida f_{cr} : **230kg/cm²** utilizando cemento ASTM C-1157 Tipo GU. En el siguiente cuadro presentamos el resumen de los datos de los materiales que se utilizaran en el diseño de la mezcla.

CEMENTO	ASTM C-1157 TIPO GU	
	Gravedad específica:	2.89
GRAVA	Tamaño Máximo:	1½ Pulgada
	Gravedad específica (SSS):	2.68
	Absorción:	1.70%
	Humedad:	0.83%
	PVSC:	1546 kg/m³

ARENA	Gravedad específica (SSS):	2.53
	Absorción:	4.30%
	Humedad:	10.78%
	Modulo de finura:	2.91

Tabla 3.10 Datos de los materiales para el diseño de mezcla de concreto.

- 1. ELECCIÓN DE REVENIMIENTO:** Como ya se mencionó en la Sección 3.4.2 el revenimiento elegido es de **5.0 cm (2")**, dato que se puede verificar en la Tabla 3.4 (Tabla 6.3.1 ACI 211.1).
- 2. ELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO.** El tamaño máximo del agregado es proporcionado en los datos iniciales del ejemplo: 1½" (38mm); por lo que el tamaño máximo nominal corresponde a **1" (25mm)**.
- 3. ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE AGUA Y CONTENIDO DE AIRE.** De la Tabla 3.5 (Tabla 6.3.3 ACI 211.1) obtenemos que para un revenimiento de 5.0cm y un tamaño máximo nominal del agregado de 25mm el agua de mezclado es de **179kg/m³** y el aire atrapado es de un **1.5%**.
- 4. SELECCIÓN DE RELACIÓN AGUA/CEMENTO.** La Gráfica (Figura 3.2) y/o la Tabla 3.6 (Tabla 6.3.4(a) ACI 211.1) de la relación agua/cemento (A/C) versus la resistencia a la compresión servirá de parámetro para la selección de la relación agua/cemento, ya que como se ha mencionado esta gráfica es elaborada con cemento bajo la norma ASTM C-150 Tipo I y el diseño de la mezcla se hará con cemento ASTM C-1157 Tipo GU; Por lo tanto para una resistencia a la compresión de 230 kg/cm² utilizaremos una relación agua/cemento de **0.65**.
- 5. CALCULO DEL CONTENIDO DE CEMENTO.** Con base a la información del tercero y cuarto paso, se determina el contenido de cemento.

Sustituyendo:

$$A/C = 0.65 \text{ -----} > C = A/0.65$$

Despejando C, entonces:

$$C = 179/0.65 = \mathbf{275.4 \text{ kg/m}^3 \text{ (6.48 bolsas)}}$$

- 6. ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE GRAVA.** El contenido de grava se obtiene con la información del módulo de finura de la arena igual a **2.91** y el Tamaño Máximo Nominal del Agregado grueso igual a **25 mm**, de la Tabla 3.8 (Tabla 6.3.6 ACI 211.1) se deduce (interpolando) que el volumen de agregados gruesos o grava (base PVSC) que se puede usar en un metro cúbico de concreto es igual a **0.66**. Puesto que el PVSC es igual a $1,546 \text{ kg/m}^3$, se requiere entonces de:

$$\mathbf{1,546 * 0.66 = 1,020.40 \text{ kg de grava secada al horno por m}^3 \text{ de concreto.}}$$

- 7. ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE ARENA.** Se utilizará el procedimiento B de la Sección 3.4.8 ya que es un procedimiento más exacto con el que se calculará el contenido de arena por metro cúbico de la mezcla de concreto:

MATERIAL	PESO ABSOLUTO (kg/m ³)	GRAVEDAD ESPECIFICA	VOLUMEN ABSOLUTO L/m ³
CEMENTO	275.4	2.89	95.3
AGUA	179.0	1.00	179.0
GRAVA	1020.4	2.68	380.7
AIRE	1.5%	N/A	15.0
TOTAL			670.0

Tabla 3.11 Volumen absoluto de los materiales por metro cúbico.

Si un 1 m^3 de concreto es igual a 1000 litros, entonces:

$$\text{Volumen de arena por metro cúbico} = 1,000\text{L} - 670.0\text{L} = 330.0\text{L}$$

$$\text{Peso de la arena por metro cúbico} = 330.0 * 2.53 = \mathbf{834.9 \text{ kg.}}$$

8. AJUSTES POR HUMEDAD DE LOS AGREGADOS. Empleando la proporción calculada, los pesos corregidos de los agregados quedarán:

$$\text{Peso grava húmeda} = 1,020.4\text{kg} (1+0.0083) = \mathbf{1,028.9\text{kg/m}^3}$$

$$\text{Peso arena húmeda} = 834.9\text{kg} (1+0.1078) = \mathbf{924.9\text{kg/m}^3}$$

Puesto que el agua de absorción no forma parte del agua de mezcla, ésta debe excluirse del ajuste del agua adicional, por tanto el agua superficial aportada por el agregado será:

$$\text{Grava} = 1.70\%(\text{absorción}) - 0.83\%(\text{humedad}) = 0.87\% * 1,020.4 = \mathbf{8.9L}$$

$$\text{Arena} = 4.30\%(\text{absorción}) - 10.78\%(\text{humedad}) = -6.48\% * 834.9 = \mathbf{-54.1L}$$

Entonces el agua total de la mezcla por metro cúbico será:

$$\text{Agua} = 179L + 8.9L - 54.1L = \mathbf{133.8L}$$

Conforme a lo anterior, los pesos estimados de materiales para un metro cúbico de concreto, corregidos por humedad, serán:

Cemento	=	275.4 kg
Agua	=	133.8 L
Arena	=	924.9 kg
<u>Grava</u>	=	<u>1028.9 kg</u>
Suma	=	2363.0 kg

3.4.12 RESUMEN DE DISEÑOS DE MEZCLA A UTILIZAR EN LA INVESTIGACIÓN

De la misma manera tal como se ejemplificó el diseño de mezcla de concreto en la Sección 3.4.11 se realizaron todos los diseños de mezcla de la investigación, los cuales se presentan en la siguiente tabla.

	CONCRETO F'cr (kg/cm ²)	DATOS DE LOS ENSAYOS DE MATERIALES										DOSIFICACIÓN DE CONCRETO POR METRO CÚBICO			
		CEMENTO	GRAVA					ARENA							
		Gravedad específica	Tamaño Máximo nominal	Gravedad específica (SSS)	Absorción (%)	Humedad (%)	PVSC (kg/m ³)	Gravedad específica (SSS)	Absorción (%)	Humedad (%)	Módulo de finura	Cemento (kg/m ³)	Agua (L/m ³)	Arena (kg/m ³)	Grava (kg/m ³)
ASTM TIPO GU C-1157	120	2.89	1"	2.68	1.7	0.78	1546	2.53	4.30	8.61	2.91	210.6	150.0	968.4	1028.4
	160	2.89	1"	2.68	1.7	0.44	1546	2.53	4.30	8.56	2.91	232.5	154.7	947.3	1024.9
	230	2.89	1"	2.68	1.7	0.83	1546	2.53	4.30	10.78	2.91	275.4	133.8	924.9	1028.9
	300	2.89	1"	2.68	1.7	0.82	1546	2.53	4.30	12.4	2.91	331.5	124.4	883.2	1028.8
	370	2.89	1"	2.68	1.7	0.60	1546	2.53	4.30	13.55	2.91	397.8	122.9	826.5	1026.5
ASTM TIPO HE C-1157	120	2.94	1"	2.68	1.7	1.64	1546	2.53	4.30	12.32	2.91	210.6	107.8	1005.2	1037.1
	160	2.94	1"	2.68	1.7	0.49	1546	2.53	4.30	10.59	2.91	232.5	136.2	968.7	1025.4
	230	2.94	1"	2.68	1.7	1.54	1546	2.53	4.30	9.31	2.91	275.4	138.6	917.0	1036.1
	300	2.94	1"	2.68	1.7	0.69	1546	2.53	4.30	13.68	2.91	331.5	115.1	898.8	1027.4
	370	2.94	1"	2.68	1.7	0.65	1546	2.53	4.30	11.57	2.91	397.8	136.4	818.6	1027.0

Tabla 3.12 Resumen de diseños de mezcla a utilizar en la investigación.

CAPÍTULO IV

ELABORACIÓN Y ENSAYO DE ESPECÍMENES DE CONCRETO HIDRÁULICO

4.1 INTRODUCCIÓN

La construcción y el desempeño satisfactorios del concreto requieren que éste posea propiedades específicas. Para garantizar que se logren estas propiedades, los ensayos de control de calidad y aceptación son partes indispensables del proceso constructivo. Los resultados de los ensayos proporcionan información importante para basar las decisiones con respecto a los ajustes del diseño de la mezcla. Sin embargo, la experiencia y el buen juicio se deben basar en la evaluación de las pruebas y de su significado en el control de los procesos de diseño, mezclado y colocación, los cuales influyen el comportamiento final del concreto.

En este capítulo se abordan los ensayos realizados al concreto fresco, con los cuales se garantiza un estricto control de calidad en la elaboración de los especímenes cilíndricos de concreto; además se expone el ensayo de resistencia a la compresión en el concreto endurecido de los diferentes diseños de mezcla y la resistencia a la compresión de los especímenes de mortero hidráulico para cada tipo de cemento.

4.2 ENSAYOS DE LABORATORIO AL CONCRETO FRESCO

Las pruebas al concreto fresco permiten verificar la calidad del mismo y son una voz de alerta temprana que posibilita la revisión de procedimientos constructivos que ayudan a plantear mejoras.

Las pruebas al concreto fresco aseguran la precisión en la identificación del concreto de buena calidad y del concreto que no cumple con los requerimientos especificados. En esta sección se muestra las pruebas realizadas en el concreto fresco utilizado en la elaboración de los especímenes cilíndricos de concreto.

4.2.1 REVENIMIENTO DEL CONCRETO RECIÉN MEZCLADO (ASTM C-143)

Este método de prueba comprende la determinación del revenimiento en el concreto elaborado con cemento hidráulico, tanto en laboratorio como en campo.

El propósito de la prueba de revenimiento es determinar la consistencia del concreto que es una medida de la fluidez o movilidad relativa de la mezcla. El revenimiento no mide el contenido de agua o la trabajabilidad del concreto. Es verdad que el incremento o disminución en el contenido de agua causará el correspondiente aumento o disminución en el revenimiento del concreto, siempre y cuando todos los otros materiales y condiciones permanezcan constantes. Sin embargo, muchos factores pueden causar que el revenimiento del concreto cambie sin que cambie el contenido de agua.

Además, el contenido de agua puede aumentar o disminuir sin sentirse un cambio aparente en el revenimiento del concreto. Ciertos factores como el cambio de las propiedades de los agregados o granulometría, proporciones de la mezcla, contenido de aire, temperatura del concreto o el uso de aditivos especiales pueden influir en el revenimiento del concreto, o inversamente, pueden resultar en un cambio en el requerimiento de contenido de agua para mantener un revenimiento dado.

Por ejemplo, una mezcla con exceso de arena puede requerir más agua de mezclado que las proporciones especificadas en el diseño de mezcla original, pero el revenimiento puede permanecer igual. Por lo tanto, no se puede suponer que la relación agua/cemento sea mantenida simplemente porque el revenimiento está entre los límites de la especificación.

El ensayo de revenimiento o asentamiento del cono de Abrams (ASTM C-143) es el método más ampliamente aceptado y utilizado para medir la consistencia del concreto (*Ver Figura 4.1*). El equipo de prueba consiste en un cono de revenimiento (molde cónico de metal 300 mm (12") de altura, con 200 mm (8") de diámetro de base y 100 mm (4") de diámetro de la parte superior) y una varilla de metal con 16 mm de diámetro (5/8") y 600 mm (24") de longitud con una punta de forma hemisférica. El cono húmedo, colocado verticalmente sobre una superficie plana, rígida y no absorbente, se debe llenar en tres capas de volúmenes

aproximadamente iguales. Por lo tanto, se debe llenar el cono hasta una profundidad de 70 mm ($2\frac{1}{2}$ ") en la primera capa, una profundidad de 160 mm (6") en la segunda y la última capa se debe sobrellenar. Se aplican 25 golpes en cada capa. Después de los golpes, se enrasa la última capa y se levanta el cono lentamente aproximadamente 300 mm (12") en 5 ± 2 segundos. A medida que el concreto se hunde o se asienta en una nueva altura, se invierte el cono vacío y se lo coloca cuidadosamente cerca del concreto asentado. El revenimiento o el asentamiento es la distancia vertical que el concreto se ha asentado, medida con una precisión de 5 mm ($\frac{1}{4}$ "). Se usa una regla para medir de la parte superior del molde del cono hasta en centro original desplazado del concreto asentado.

Los resultados de las pruebas de revenimiento en el concreto fresco se presentan en el Anexo 4.1.



Figura 4.1 Ensayo de revenimiento en mezcla de concreto hidráulico.

4.2.2 MEDICIÓN DE TEMPERATURA DEL CONCRETO RECIÉN MEZCLADO (ASTM C-1064)

Este método de ensayo trata sobre la determinación de la temperatura de concreto de cemento hidráulico recién mezclado. La temperatura es uno de los factores más importantes que influyen en la calidad, tiempo de fraguado y resistencia del concreto. Sin el control de la temperatura del concreto, predecir su comportamiento es muy difícil, sino imposible.

Un concreto con una temperatura inicial alta, probablemente tendrá una resistencia superior a lo normal a edades tempranas y más baja de lo normal a edades tardías. La calidad final del concreto probablemente se verá también disminuida. Por el contrario, en diferentes tipos de concreto, la temperatura de las mezclas de cada concreto debe ser tan idéntica como sea posible. La temperatura del concreto afecta el comportamiento de los aditivos químicos, los aditivos inclusores de aire, los materiales puzolánicos y otros tipos de aditivos y adicionantes.



Figura 4.2 Medición de temperatura en mezcla de concreto hidráulico.

Como la temperatura del concreto tiene una gran influencia sobre las propiedades tanto del concreto fresco como del endurecido, muchas especificaciones limitan la temperatura del concreto fresco. El termómetro a utilizar en la prueba debe tener precisión de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ($\pm 1^{\circ}\text{F}$) y debe permanecer en una muestra representativa de concreto, por lo menos, 2 minutos o hasta que la lectura se estabilice. Un mínimo

de 75 mm de concreto debe rodear la porción sensitiva del termómetro. También están disponibles los medidores de temperatura electrónicos con lectura digital. La medición de la temperatura (ASTM C-1064) se debe terminar en un periodo de 5 minutos después de tomada la muestra.

Los resultados de las pruebas de temperatura en el concreto fresco se presentan en el Anexo 4.1.

4.2.3 DENSIDAD EN UNA MEZCLA DE CONCRETO (ASTM C-138)

Este método de ensayo trata sobre la determinación de la densidad del concreto recién mezclado y que mediante fórmulas se puede calcular el rendimiento, el contenido de cemento y el contenido de aire del concreto. La prueba de densidad o masa volumétrica es una determinación importante para controlar la calidad del concreto recién mezclado. Después de que se ha establecido un proporcionamiento para la mezcla de concreto, un cambio en la masa volumétrica indicará un cambio en uno o más de los otros requisitos del desempeño del concreto. Una masa volumétrica más baja puede indicar, 1) que los materiales han cambiado, 2) un mayor contenido de aire, 3) un mayor contenido de agua, 4) un cambio en las proporciones de los ingredientes y/o, 5) un menor contenido de cemento. Inversamente, la masa volumétrica más alta indicará lo contrario de las características del concreto antes mencionadas.

Una masa volumétrica más baja que las proporciones de la mezcla de concreto establecidas, en general indicará un "sobrerendimiento"; esto significa que el contenido de cemento requerido para un metro cúbico disminuye para producir un mayor volumen de concreto. Por lo tanto, son de esperarse resistencias más bajas así como una reducción de las otras cualidades deseables del concreto. Si la reducción de la masa unitaria del concreto se debe a un incremento en el contenido de aire, posiblemente el concreto será más durable en su resistencia a ciclos de congelación y deshielo, pero las cualidades de resistencia a la compresión, a la abrasión, al ataque de químicos, a la contracción y al

agrietamiento del concreto, se verán adversamente afectadas.

La prueba de masa volumétrica se debe usar para controlar concretos ligeros y pesados. Un cambio en la masa unitaria podría afectar inversamente la bombeabilidad, colocación, acabado y resistencia de todos los tipos de concreto.

Ya que la prueba de la masa volumétrica es tan importante para regular la calidad del concreto, es fundamental que la prueba se realice de acuerdo con los procedimientos estándar especificados. Se debe conocer el volumen exacto del contenedor; después de que la muestra de concreto se enrase al nivel del recipiente, todo el concreto adherido a la parte exterior del recipiente debe removerse antes de pesar la muestra.

La masa volumétrica y el rendimiento del concreto fresco (*Ver Figura 4.3*) se determinan de acuerdo con ASTM C-138. Los resultados deben ser suficientemente precisos para determinar la cantidad volumétrica (rendimiento) del concreto producido en cada mezcla. La prueba también presenta una indicación del contenido de aire, desde que se conozcan la masa volumétrica (masa unitaria) de los ingredientes. Se requiere una balanza o una báscula con precisión de 0.3% de la masa prevista de la muestra y del recipiente. Por ejemplo, un recipiente con 7 litros (0.25 pies³) requiere una balanza con precisión de 50g (0.1 lb). El tamaño del recipiente empleado en la determinación de la masa volumétrica y del rendimiento varía con el tamaño del agregado. Por ejemplo, el recipiente del medidor de aire con capacidad para 7 litros (0.25 pies³) se puede utilizar con agregados de hasta 25 mm (1”), mientras que el recipiente de 14 litros (0.5 pies³) se usa con agregados de hasta 50 mm (2”). El recipiente se debe calibrar por lo menos una vez al año (ASTM C-1077). Se debe tener cuidado para consolidar el concreto adecuadamente, sea a través de golpes, o de vibración interna. Se debe utilizar una llana o placa plana para enrasar la superficie superior del concreto, a fin de que el recipiente esté lleno y con acabado plano y liso. La masa volumétrica se expresa en kilogramos por metro cúbico (libras por pie cúbico) y el rendimiento en metros cúbicos (pies cúbicos). La masa volumétrica del concreto fresco y del

concreto endurecido, se puede determinar por métodos nucleares ASTM C-1040.



Figura 4.3 Ensayo de peso unitario en mezcla de concreto hidráulico.

Los resultados de las pruebas de peso unitario en el concreto fresco se presentan en el Anexo 4.1.

4.3 ELABORACIÓN Y CURADO EN EL LABORATORIO DE ESPECÍMENES DE CONCRETO (ASTM C-192)

Los especímenes elaborados y curados bajo la norma ASTM C-192 pueden ser usados como información para los siguientes propósitos:

- Proporcionamientos de mezcla para proyecto de concreto
- Evaluación de diferentes mezclas y materiales
- Correlación con ensayos no destructivos
- Suministrar especímenes para propósitos de investigación

Los especímenes moldeados para los ensayos de resistencia se deben preparar de acuerdo con ASTM C-31 (probetas moldeadas en la obra) o ASTM C-192 (probetas moldeadas en el laboratorio). La preparación de los especímenes debe empezar, como máximo, 15 minutos después del mezclado de la muestra del concreto.

La probeta estándar para la resistencia a compresión del concreto con agregado de dimensión máxima de 50 mm (2") o menor es un cilindro de 150 mm (6") de diámetro por 300 mm (12") de altura (cilindros utilizados en esta investigación). Para agregados mayores, el diámetro del cilindro debe ser, por lo menos, tres veces mayor que la dimensión máxima del agregado y la altura debe ser dos veces el diámetro. Aunque se utilizaran moldes metálicos rígidos, se puede usar moldes de plástico, de cartón parafinado u otro tipo de molde desechable, conforme ASTM C-470. Se deben colocar los moldes sobre una superficie lisa, nivelada y rígida y se los deben llenar cuidadosamente para evitar distorsiones en su forma.

Los cilindros de prueba de 150 mm (6") de diámetro se compactan con golpes cuando tienen un revenimiento de 25 mm (1") o más y se deben llenar en tres capas aproximadamente iguales, donde cada capa debe recibir 25 golpes. Si la varilla deja agujeros, los lados de los moldes se deben golpear ligeramente con un mazo de hule o con la mano abierta. Inmediatamente después del llenado, la parte superior del espécimen debe: (1) cubrirse con un vidrio o placa de acero aceitado, (2) sellarse con una bolsa de plástico o (3) sellarse con una cubierta de plástico. La resistencia de los especímenes de prueba se puede afectar considerablemente con golpes, cambios de temperatura y exposición al secado, principalmente en las primeras 24 horas después de su moldeo. Por lo tanto, los especímenes de prueba se deben colar en sitios donde no sean necesarios movimientos y donde sea posible su protección. Los cilindros se deben proteger contra manejos bruscos a cualquier edad. Es importante la identificación de los especímenes en la parte externa de los moldes para prevenir confusión y errores en la información.

Los procedimientos normalizados de prueba requieren que las probetas se curen bajo condiciones controladas. El curado controlado en el laboratorio en un cuarto húmedo o en un tanque de almacenamiento con agua proporciona una indicación precisa de la calidad del concreto entregado.



Figura 4.4 Secuencia de elaboración de especímenes de concreto hidráulico.

4.4 ENSAYOS DE LABORATORIO AL CONCRETO ENDURECIDO

Los especímenes premoldeados descritos en la sección anterior (ASTM C-192) se pueden utilizar en las pruebas del concreto endurecido que se mencionan a continuación:

4.4.1 ESFUERZO DE COMPRESIÓN EN ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO (ASTM C-39)

La resistencia a la compresión se puede definir como la máxima resistencia medida de un espécimen de concreto a carga axial. Generalmente se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm^2) a una edad de 28 días y se le designa con el símbolo f'_c .

Los ensayos de resistencia del concreto endurecido se pueden realizar en las siguientes condiciones: (1) especímenes curados y moldeados de acuerdo con ASTM C-31 y ASTM C-192, (2) especímenes extraídos o aserrados de la estructura de concreto endurecido, de acuerdo con ASTM C-42, (3) especímenes producidos con moldes de cilindros colados in situ (estructura), ASTM C-873.

Para todos los métodos, los cilindros deben tener el diámetro, por lo menos, tres veces mayor que el diámetro máximo del agregado grueso y la longitud debe ser lo más cerca posible de dos veces el diámetro. No se deben usar núcleos y cilindros con altura menor que 95% del diámetro, antes o después del cabeceo.

Los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión del concreto endurecido se presentan en el Anexo 4.1.



Figura 4.5 Ensayo a compresión de especímenes de concreto hidráulico.

4.5 RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE MORTEROS DE CEMENTO HIDRÁULICO (ASTM C-109)

Este ensayo busca conocer los resultados de la resistencia a la compresión de los cementos hidráulicos sometidos a estudio, con el objetivo de verificar el comportamiento del cemento en las dosificaciones de concreto. La resistencia a la compresión se puede definir como la máxima resistencia medida de un espécimen de mortero a carga axial. Generalmente se expresa en libras por pulgada cuadrada (psi) a una edad de 28 días.

El mortero usado consiste en una parte de cemento y 2.75 partes de arena proporcionadas en masa, la arena que se usará para hacer especímenes debe estar constituida de sílice natural y deberá ser originaria de los yacimientos de Ottawa, Illinois (USA). El contenido de agua del cemento debe ser lo suficiente para obtener un flujo de 110 ± 5 en 25 golpes de la mesa de flujo. Los cubos de prueba de 50 mm (2") de arista son compactados ó apisonado en dos capas. Los cubos son desenmoldados e inmersos en agua con cal hasta la prueba.

El método ASTM C-109 provee un medio de determinación de la resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico y los resultados pueden ser usados para la determinación del cumplimiento de las especificaciones como por ejemplo ASTM C-1157 y ASTM C-150.

Los resultados de las pruebas de compresión en los cubos de mortero se presentan en el Anexo 4.2.



Figura 4.6 Elaboración de cubos de mortero hidráulico.



Figura 4.7 Cubos de mortero hidráulico sometidos a ensayo de compresión.

CAPÍTULO V

TRATAMIENTO ESTADÍSTICO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 INTRODUCCIÓN

El concreto es un material de comportamiento variable, las variaciones surgen por la falta de uniformidad de sus agregados, de su proporcionamiento y de los métodos de prueba aplicados. Esta variabilidad debe tomarse en cuenta al especificar la resistencia del concreto y la única forma racional de hacerlo es por métodos estadísticos.

El análisis estadístico de los distintos valores que se obtienen de las pruebas, permite determinar con cierto grado de confianza, si estos se encuentran dentro de rangos aceptables o si cumplen con una especificación. Es importante disponer de un método sistemático para detectar desviaciones serias con respecto al estado de control estadístico y detectarlas cuando se presenten o antes de que ocurran, si esto fuera posible.

En este capítulo se presentan las técnicas estadísticas que se utilizaron para el análisis de los resultados de la resistencia a la compresión del concreto, desde los conceptos básicos de estadística hasta criterios del comité ACI 214 para la evaluación de los resultados de las pruebas de resistencia del concreto.

5.2 TRATAMIENTO ESTADISTICO Y GRÁFICOS DE LOS RESULTADOS

Los procedimientos estadísticos nos proporcionan medios valiosos para la evaluación de los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión del concreto y la información que se deriva de dichos procedimientos, también sirve para reafirmar los criterios y las especificaciones de diseño.

A fin de mantener coherente la estructura teórica que se sigue en la exposición de la investigación, se ha considerado oportuno incluir anotaciones acerca del procedimiento que se emplea para llevar a cabo el análisis estadístico de los resultados de la resistencia a la compresión del concreto, así como algunas justificaciones y conceptos que se presentan a continuación:

- **La estadística o métodos estadísticos:** Son los métodos que se aplican a la recolección, organización, presentación y análisis de datos numéricos.
- **Población y muestra:** Se da el nombre de población a un conjunto de individuos u objetos acerca del cual se quiere saber algo.
- **Muestra:** Cuando no es conveniente considerar todos los elementos de la población, lo que se hace es estudiar una parte de esa población. Una parte de la población se llama muestra. Los resultados obtenidos en la muestra sirven para estimar los resultados que se obtendrían con el estudio completo de la población.
- **Muestra Aleatoria:** Se llama así, aquella que se obtiene cuando todos los elementos de la población tienen iguales posibilidades de ser elegidos de la muestra. Las muestras aleatorias son, generalmente, representativas de la población.
- **Media aritmética:** Es el valor característico de una serie de datos cuantitativos objeto de estudio que parte del principio de la esperanza matemática o valor esperado, se obtiene a partir de la suma de todos sus valores dividida entre el número de sumandos.
- **Desviación estándar:** Es una medida de lo que se apartan los datos de su media, y por tanto, se mide en las mismas unidades de la variable. La desviación estándar se calcula utilizando la siguiente fórmula (*Ver Sección 3.4.1 de este documento*):

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{(n-1)}}$$

Ecuación 3.1

Donde:

S: Desviación estándar.

n: Número de resultados de ensayos considerados.

X: Promedio de los “n” resultados de ensayo considerados.

Xi: Resultados de ensayos individuales.

- **Varianza:** Es una medida de dispersión definida como la esperanza del cuadrado de la desviación de dicha variable respecto a su media (**S²**).
- **Coeficiente de Variación:** La medida de la variabilidad, cualquiera que sea, acusara menor dispersión cuanto menor sea su valor, pero se necesita de una medida relativa para poder distinguir el grado de variabilidad o dispersión de dos o más variables. Esta medida la representamos con la siguiente simbología:

$$C.V. = \frac{S}{X} \quad \text{Ecuación 5.1}$$

Donde:

C.V.: Coeficiente de Variación.

S: Desviación estándar.

X: Promedio de los “n” resultados de ensayo considerados.

- **Regresión:** es una técnica estadística utilizada para simular la relación existente entre dos o más variables. Por lo tanto se puede emplear para construir un modelo que permita predecir el comportamiento de una variable dada.
- **Distribución normal:** Distribución de probabilidad de variable continua que con más frecuencia aparece aproximada en fenómenos reales. La gráfica de su función de densidad tiene una forma acampanada y es simétrica respecto de un determinado parámetro estadístico. Esta curva se conoce como campana de Gauss y es el gráfico de una función gaussiana (Ver *Figura 5.1*). El comportamiento de la resistencia del concreto a compresión se ajusta a la Distribución Normal, cuya expresión matemática es:

$$Y = \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} e^{-0.5\left(\frac{Xi-X}{S}\right)^2} \quad \text{Ecuación 5.2}$$

Donde:

S: Desviación estándar.

X: Promedio de los “n” resultados de ensayo considerados.

Xi: Resultados de ensayos individuales.

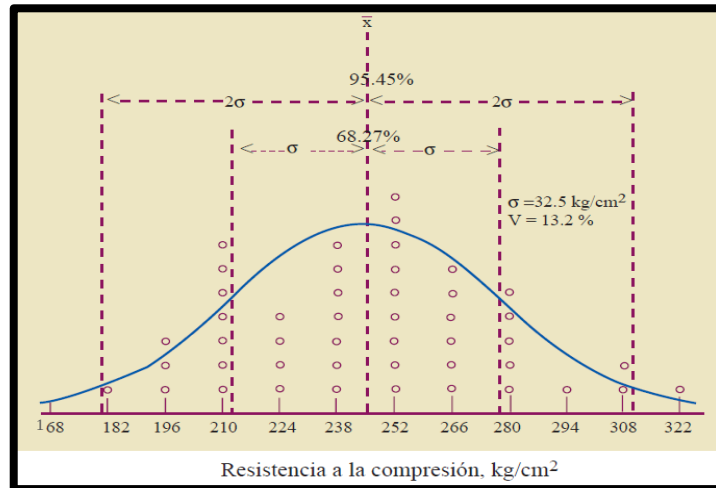


Figura 5.1 Distribución de frecuencias de 46 resultados de resistencia y su correspondiente distribución normal (Figura 3.3(a) ACI 214).

Donde existe un buen control, los valores de la resistencia a compresión del concreto estarán agrupados cerca de la media y la curva será alta y estrecha. Conforme aumentan las variaciones en la resistencia, los valores se apartan y la curva se vuelve baja y alargada (Ver Figura 5.2).

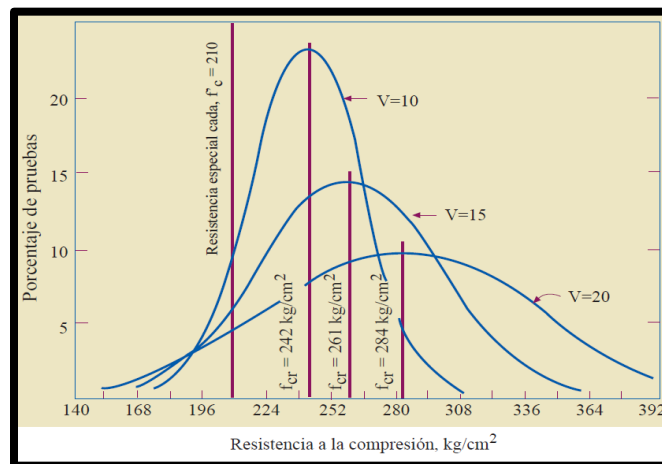


Figura 5.2 Curva normal para diferentes coeficientes de variación (Figura 4.1(c) ACI 214).

Cuando se diseñan las mezclas de concreto se debe ejercer un buen control de calidad sobre los factores que inciden en el comportamiento de la variable

resistencia. Existen normas que permiten evaluar el concreto, por ejemplo el Comité ACI 214 muestra las diferentes normas para el control del concreto:

VARIACIÓN TOTAL					
CLASE DE OPERACIÓN	DESVIACIÓN ESTÁNDAR PARA DIFERENTES NORMAS DE CONTROL (kg/cm ²)				
	EXCELENTE	MUY BUENA	BUENA	ACEPTABLE	POBRE
PRUEBAS DE CONTROL EN CAMPO	Por debajo de 28.1	De 28.1 a 35.2	De 35.2 a 42.2	De 42.2 a 49.2	Sobre 49.2
MEZCLAS DE PRUEBA EN LABORATORIO	Por debajo de 14.1	De 14.1 a 17.6	De 17.6 a 21.1	De 21.1 a 24.6	Sobre 24.6

Tabla 5.1. Normas para el control del concreto con $f'c \leq 350$ kg/cm² (Tabla 3.2 ACI 214).

VARIACIÓN TOTAL					
CLASE DE OPERACIÓN	COEFICIENTES DE VARIACIÓN PARA DIFERENTES NORMAS DE CONTROL (%)				
	EXCELENTE	MUY BUENA	BUENA	ACEPTABLE	POBRE
PRUEBAS DE CONTROL EN CAMPO	Por debajo de 7.0	De 7.0 a 9.0	De 9.0 a 11.0	De 11.0 a 14.0	Sobre 14.0
MEZCLAS DE PRUEBA EN LABORATORIO	Por debajo de 3.5	De 3.5 a 4.5	De 4.5 a 5.5	De 5.5 a 7.0	Sobre 7.0

Tabla 5.2. Normas para el control del concreto con $f'c > 350$ kg/cm² (Tabla 3.3 ACI 214).

El comité de ACI 214 recomienda descartar un cilindro de una prueba de tres o más de ellos, solamente cuando su desviación respecto a la media es superior a 3S y debe considerarse sospechosa si su desviación es superior a 2S; técnicamente, un resultado sospechoso no debe retirarse a menos que se encuentre una causa probable para justificar esta acción (Ver Anexo 5.1).

La norma ASTM C-1157 proporciona los requisitos específicos de los cementos

utilizados en la investigación, poniendo especial atención a la resistencia a la compresión mínima según el método de ensayo descrito en ASTM C-109 de los cementos ASTM C-1157 Tipo GU y Tipo HE.

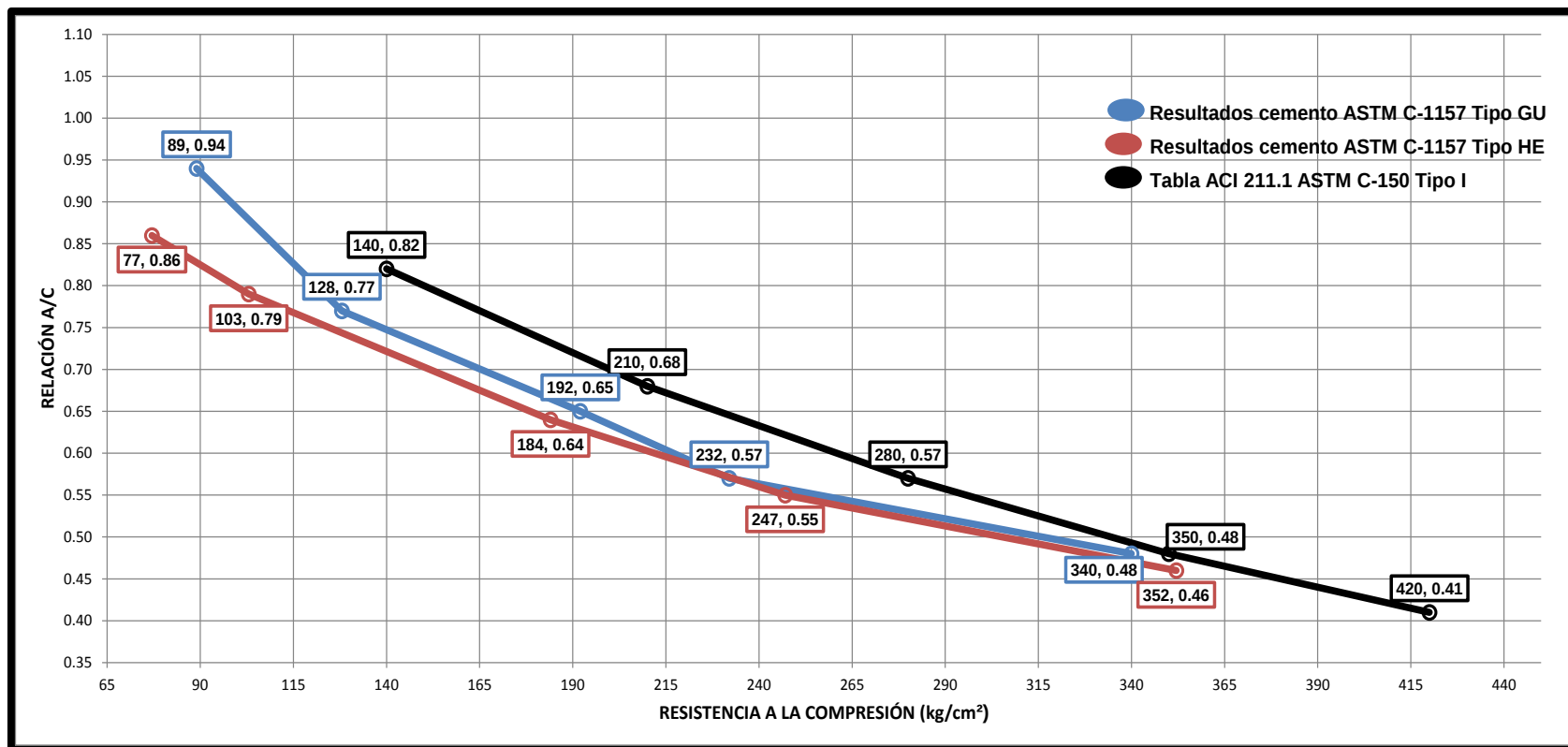
PROPIEDADES	MÉTODO DE ENSAYO	TIPO DE CEMENTO					
		GU	HE	MS	HS	MH	LH
AUTOCLAVE, CAMBIO DE LONGITUD, MÁXIMO (%)	C151	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
TIEMPO DE AJUSTE Inicial, no menos de (minutos) Inicial, no mas de (minutos)	C191	45	45	45	45	45	45
		420	420	420	420	420	420
CONTENIDO DE AIRE POR VOLUMEN DE MORTERO	C185						
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Mínimo (Mpa) [psi] 1 Día 3 Días 7 Días 28 Días	C109/ C109M	---	12.0 [1740]	---	---	---	---
		13.0 [1890]	24.0 [3480]	11.0 [1600]	11.0 [1600]	5.0 [725]	
		20.0 [2900]	---	18.0 [2610]	18.0 [2610]	11.0 [1600]	11.0 [1600]
		28.0 [4060]	---	---	25.0 [3620]	---	21.0 [3050]
CALOR DE HIDRATACIÓN 7 días, máx, kJ/kg [kcal/kg] 28 días, máx, kJ/kg [kcal/kg]	C186	---	---	---	---	290 [70]	250 [60]
		---	---	---	---	---	290 [70]
EXPANSIÓN DEL MORTERO 14 Días (% máx)	C1038	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
RESISTENCIA A SULFATOS 6 meses, máx (%) 1 año, máx (%)	C1012	---	---	0.1	0.5	---	---
		---	---	---	0.1	---	---

Tabla 5.3. Requerimientos físicos de los cementos ASTM C-1157 (Tabla 1 ASTM C-1157).

5.2.1 GRÁFICOS DE RESULTADOS

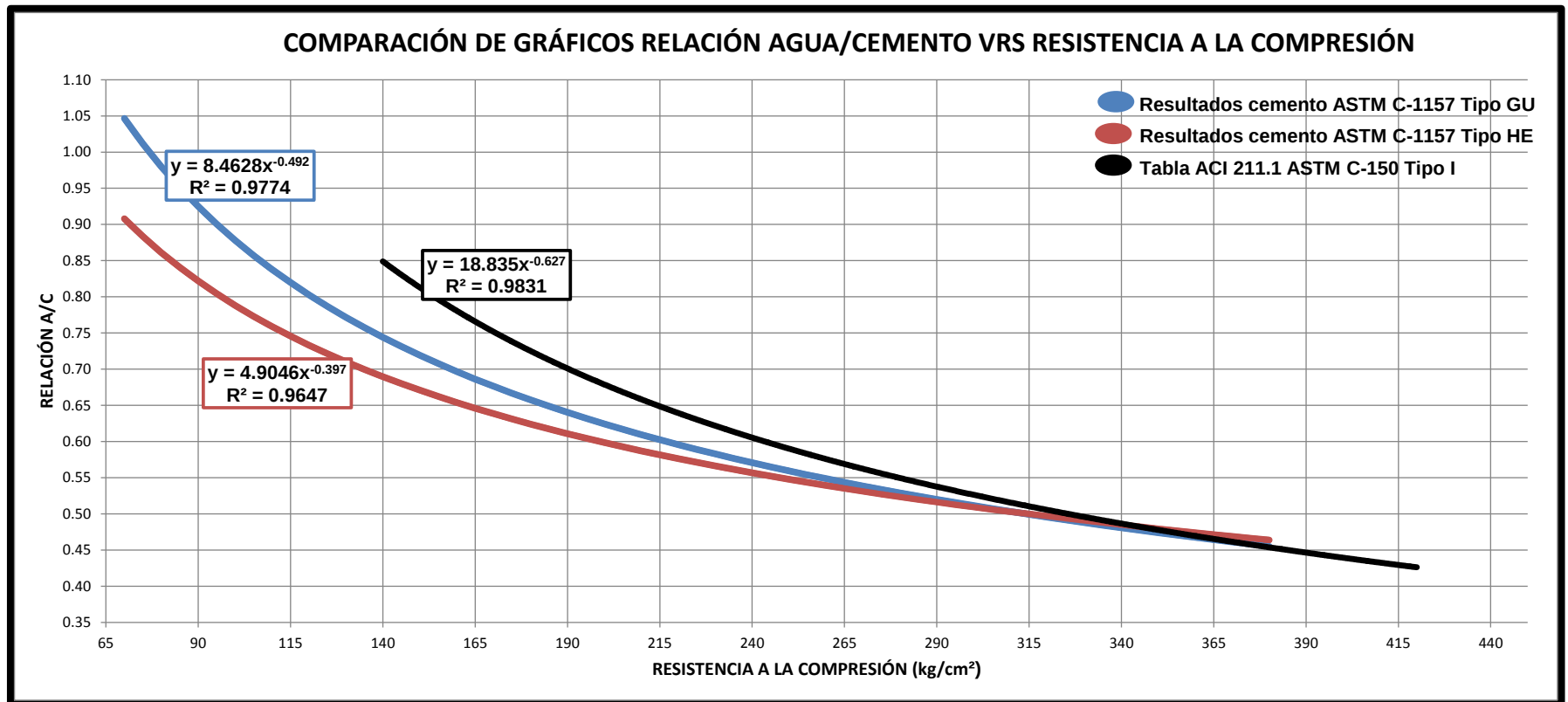
Se presentan las gráficas de las curvas encontradas de la relación Agua/Cemento versus la resistencia a la compresión en dos enfoques diferentes:

- a) Se presenta la gráfica con los promedios de los resultados de la resistencia a la compresión de los cementos ASTM C-1157 Tipo GU y Tipo HE y se compara con la gráfica presentada en ACI 211.1 del cemento ASTM C-150 Tipo I.



Gráfica 5.1 Comparación de gráficas relación agua/cemento vrs resistencia a la compresión utilizando promedios.

b) De la misma manera en la Gráfica 5.2 se presentan las funciones encontradas a través de una regresión potencial que describe el comportamiento de la resistencia a compresión del concreto a los veintiocho días versus la relación Agua/Cemento de los cementos ASTM C-1157 Tipo GU, ASTM C-1157 Tipo HE y ASTM C-150 Tipo I (presentada en ACI 211.1).



Gráfica 5.2 Comparación de gráficos relación agua/cemento vs resistencia a la compresión utilizando regresión potencial.

5.3 ANÁLISIS Y CRITERIOS DE ADAPTACIÓN DEL MÉTODO

DISEÑO DE MEZCLAS DE PESO NORMAL ACI 211.1

Durante la investigación se realizaron ensayos de laboratorio a mezclas de concreto diseñadas a partir del método propuesto por el Comité ACI 211.1, estos diseños de mezclas se realizaron con cementos ASTM C-1157 Tipo GU y Tipo HE; al no emplear el cemento ASTM C-150 Tipo I (propuesto en ACI 211.1) es de esperar que los resultados de la resistencia a la compresión de los diferentes diseños de mezclas tengan variaciones debido a las diferentes propiedades físicas de cada uno de los cementos en estudio, especialmente la resistencia a la compresión; entonces, para adaptar el método ACI 211.1 a los cementos antes expuestos se plantean arreglos que se deberán de aplicar en el método ACI 211.1 para que los resultados de los diseños de mezclas sean equivalentes al método original.

Luego de haber realizado la caracterización de agregados, los diseños de mezclas de concreto en base al método ACI 211.1, la elaboración de los especímenes de concreto, los ensayos al concreto fresco y al concreto endurecido correspondientes a la investigación, obtener y analizar resultados; podemos decir que para que una mezcla de concreto elaborada con cemento ASTM C-1157 Tipo GU y Tipo HE sea equivalente en cuanto a resistencia a la compresión con una mezcla de concreto elaborada con cemento ASTM C-150 Tipo I, será necesario modificar la relación agua/cemento. Por tal razón se presenta a continuación las tablas de la resistencia a la compresión a los veintiocho días con la correspondiente relación agua/cemento de los cementos ASTM C-1157 Tipo GU y ASTM C-1157 Tipo HE que habría que usar en la elección de relación agua/cemento (Paso 4 ACI 211.1) de tal manera que permita obtener una resistencia a la compresión de la mezcla de concreto equivalente a la resistencia a la compresión de un concreto elaborado con cemento ASTM C-150 Tipo I. De la misma manera en las Gráficas 5.1 y 5.2 se muestran gráficamente los resultados presentados en las Tablas 5.4 y 5.5.

Cemento ASTM C-1157 Tipo GU	
Resistencia a la compresión a los 28 días, kg/cm²	Relación agua/cemento (A/C) por peso (sin aire incluido)
89	0.94
128	0.77
192	0.65
232	0.57
340	0.48

Tabla 5.4. Resultados obtenidos de la Relación Agua/Cemento (A/C) y la resistencia a la compresión del concreto usando cemento ASTM C-1157 Tipo GU (Ver Gráfica 5.1).

Cemento ASTM C-1157 Tipo HE	
Resistencia a la compresión a los 28 días, kg/cm²	Relación agua/cemento (A/C) por peso (sin aire incluido)
77	0.86
103	0.79
184	0.64
247	0.55
352	0.46

Tabla 5.5. Resultados obtenidos de la Relación Agua/Cemento (A/C) y la resistencia a la compresión del concreto usando cemento ASTM C-1157 Tipo HE (Ver Gráfica 5.1).

Prácticamente, los principales arreglos que deben de hacerse en el método de diseño de mezclas de concreto de peso normal ACI 211.1 es la elección de la relación agua/cemento (Paso N°4 ACI 211.1) a través de las gráficas o las tablas

establecidas para cada tipo de cemento, lo que conlleva al cálculo del contenido de cemento (Paso N°5 ACI 211.1); a la hora de calcular el volumen de cemento por metro cúbico de concreto (Paso N°7 ACI 211.1) es necesario tomar muy en cuenta que la gravedad específica es diferente para cada tipo de cemento.

Evidentemente se puede observar que para resistencias menores a 340 kg/cm^2 , los cementos bajo la norma ASTM C-1157 necesitan la elección de una relación agua/cemento (Paso 4 ACI 211.1) menor para lograr una resistencia equivalente a la de un concreto elaborado con cemento ASTM C-150 Tipo I. Sin embargo para resistencias mayores a 340 kg/cm^2 los resultados tienden a ser prácticamente los mismos (*Ver Gráficas 5.1, 5.2 y Tablas 5.4, 5.5*).

Hay que tomar en cuenta que la gráfica propuesta en el método ACI 211.1 con cemento ASTM C-150 Tipo I, utiliza en los ensayos de laboratorio agregados con una tamaño máximo nominal de 3/4" a 1" (*Ver Tabla 3.6 de este documento*) en condiciones específicas de laboratorio; mientras que las gráficas producto de la investigación utilizan concretos con agregados de un tamaño máximo nominal de 1" en las condiciones mostradas en el Anexo 4.1. Indiscutiblemente las Gráficas 5.1 y 5.2 pueden variar al utilizar agregados con diferentes características a las estudiadas y/o alterarse las condiciones de ensayo.

La resistencia a la compresión del concreto es afectada directamente por la resistencia a la compresión del cemento, por lo que es importante mencionar que la norma ASTM C-1157 no presenta valores de resistencia a la compresión mínima a los veintiocho días del cemento ASTM C-1157 Tipo HE (*Ver Tabla 5.3*) y que la resistencia de los cementos varían en el tiempo.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

Luego de haber realizado las pruebas de laboratorio y en base a los resultados, podemos concluir lo siguiente:

- Es muy importante realizar un buen análisis de los agregados, que nos permita conocer sus propiedades físicas y llevar a cabo un adecuado diseño de la mezcla de concreto.
- De acuerdo con los resultados obtenidos podemos observar que no hay una diferencia significativa de temperatura entre las distintas mezclas. La máxima variación encontrada fue de 3°C, por lo que se puede afirmar que se tomaron las medidas adecuadas para la correcta elaboración de cada una de las mezclas, ya que la temperatura recomendable para colocar el concreto fresco fluctúa entre 20°C y 28°C, rango dentro del que se encuentran las temperaturas obtenidas (*Ver Anexo 4.1*). Por lo tanto se puede decir que la temperatura y su variación no representaron ningún problema en las propiedades del concreto en estado fresco y posteriormente del concreto endurecido, tomando en cuenta que la temperatura es un factor que puede influir en la resistencia del concreto y en la contracción por secado.
- Los resultados obtenidos en las pruebas de revenimiento mostrados en el Anexo 4.1 muestran que en todos los diseños de mezclas se logró alcanzar el revenimiento de diseño, aun cuando se ajustó el revenimiento quitando o agregando agua a cada una de las mezclas.
- En los resultados de cada uno de los diseños de mezclas presentados en el Anexo 4.1 se comprueba que el peso volumétrico de concreto en estado endurecido es mayor al peso volumétrico del concreto fresco, esto debido a las reacciones químicas entre el cemento y el agua.

- Según las normas para el control del concreto ACI 214 (*Ver Tabla 5.1 y 5.2*), los resultados mostrados en el Anexo 5.1 son excelentes, a excepción de los resultados del diseño de mezclas $f'_{cr} = 230 \text{ kg/cm}^2$ con cemento ASTM C-1157 Tipo GU y $f'_{cr} = 370 \text{ kg/cm}^2$ con cemento ASTM C-1157 Tipo HE que son resultados muy buenos.
- En el Anexo 5.1 se puede observar que ningún valor de cada uno de los resultados de los diseños de mezclas es superior a la desviación de más o menos tres veces la desviación estándar respecto a la media, por lo tanto, según ACI 214 ningún resultado podría ser descartado.
- Según ACI 214 los valores de los resultados que sean superiores a la desviación de más o menos dos veces la desviación estándar respecto a la media se consideran sospechosos, tal como lo muestra el Anexo 5.1, sin embargo estos valores no alteran significativamente los resultados y no hay justificación alguna que sugieran que estos valores sean retirados, por lo que estos resultados son incluidos en el análisis e interpretación de los resultados.
- La resistencia a la compresión de los cementos utilizados en la investigación varía considerablemente respecto a la fecha de empaque (*Ver Anexo 4.2*) y es diferente a la resistencia mostrada en la ficha técnica del producto.
- La resistencia a compresión de los concretos sometidos a evaluación indican que entre mayor es la resistencia del cemento, mayor será la resistencia del concreto (*Ver Anexo 4.1 y 4.2*).
- Es evidente que cuando mayor sea la relación agua/cemento, la resistencia a la compresión del concreto a los veintiocho días disminuye; asimismo las

mezclas de concreto elaboradas con relaciones agua/cemento bajas, nos dan resultados de resistencia a la compresión mayores y muy aproximados entre cada una de las curvas (*Ver Gráfico 5.1 y 5.2*).

- Este estudio bajo condiciones controladas de laboratorio puede tomarse en cuenta para futuras investigaciones que busquen identificar la aplicabilidad del método de diseño de mezclas de concreto ACI 211.1 en condiciones reales o de campo.
- En cada diseño de mezclas de concreto realizados en esta investigación, se puede constatar que en ninguno de ellos se alcanzó la resistencia de diseño planteada, ya que los cementos bajo la norma ASTM C-1157 Tipo GU y Tipo HE tienen menor resistencia a la compresión a los veintiocho días, en relación al cemento bajo la norma ASTM C-150 Tipo I (cemento utilizando en ACI 211.1); Sin embargo es de tomar en cuenta que el cemento ASTM C-1157 Tipo HE no posee ninguna restricción en cuanto a la resistencia que éste deba tener a los veintiocho días (*Ver Tabla 5.3 de este documento*).
- Las curvas encontradas de la relación agua/cemento versus la resistencia a la compresión a los veintiocho días de los cementos ASTM C-1157 Tipo GU y Tipo HE (*Ver Gráfico 5.1 y 5.2*) son propias de las características de los agregados y de los cementos utilizados, sin embargo estas curvas pueden utilizarse como parámetro para el diseño mezclas de concreto con diferentes características en los agregados, siempre y cuando se compruebe el diseño inicial, tal como lo establece el método ACI 211.1 y se tomen en cuenta los criterios para la adaptación del método ACI 211.1 presentados en la Sección 5.3 de este documento.

6.2 RECOMENDACIONES

Para contribuir a la tecnología del concreto en El Salvador hacemos las siguientes recomendaciones:

- Se debe implementar un proceso de acopio total de los materiales a utilizar en la elaboración del concreto hidráulico, principalmente en el caso de los agregados y el cemento, para garantizar la calidad y uniformidad de los mismos y evitar las variaciones en las propiedades utilizadas en la etapa de diseño.
- Deben realizarse las mediciones de temperatura ambiental y humedad relativa del lugar de trabajo, en especial, durante los días de elaboración del concreto y realización de los ensayos al concreto fresco y endurecido.
- Las pruebas de laboratorio en agregados, concreto fresco, concreto endurecido y cemento deben basarse en las normas y procesos vigentes aplicables en la región que se realiza el estudio y así tener un criterio certero a la hora de realizar análisis y comparaciones de los resultados.
- Es recomendable que durante el trabajo de laboratorio para la elaboración de los cilindros de concreto, sea una sola persona la que realice el varillado de la mezcla de concreto en los moldes, tal y como lo recomiendan las normas ASTM en donde se define esto como “unilaboratorio”, al ser una sola persona la que suministra energía de compactación al concreto en estado fresco
- A la hora de realizar un diseño de mezclas de concreto mediante el método ACI 211.1 es recomendable verificar las características de los cementos a utilizar, usando pruebas de laboratorio para comprobar los datos presentados por el fabricante en la ficha técnica del producto.

- Se recomienda hacer una investigación con estas mismas variables, pero con agregados diferentes y establecer las similitudes/diferencias entre los resultados de cada investigación.
- A los profesionales y empresas que se dedican a la elaboración de concreto se recomienda que consideren en sus diseños de mezclas de concreto los datos obtenidos en esta investigación, ya que les permitirá tener resultados más precisos y en consecuencia un balance entre economía y los requisitos específicos de la obra.
- Para mezclas de concreto elaboradas en campo, se recomienda hacer una adecuada planificación del proceso de diseño, elaboración, colado y curado de la estructura de concreto, con el fin de controlar en la medida de lo posible todas las variables que afecten la resistencia y durabilidad del concreto, para lograr resultados similares a los obtenidos en laboratorio.

BIBLIOGRAFÍA

- Diseño y control de mezclas de concreto. Portland Cement Association. Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, William C. Panarese, y Jussara Tanesi. Año 2004.
- Práctica Estándar para Seleccionar el Proporcionamiento de Concreto de Peso Normal. ACI 211.1
- Análisis experimental del uso de un aditivo reductor de agua de alto rango y retardante, para el control de la consistencia y resistencia del concreto hidráulico utilizado en carreteras. José Eduardo García Rojas, Walter Iván Guerrero Contreras. Universidad de El Salvador. Año 2009.
- Aplicaciones del concreto lanzado en estabilización de taludes anclados y revestimiento de elementos estructurales. Boanerges Mauricio Alvarado Velásquez, Henry Ruben Arteaga Mena, Lorenzo Antonio Coreas. Universidad de El Salvador. Año 2004.
- Comportamiento de arenas de trituración como sustituto de arena natural en la elaboración de concreto hidráulico. Steve Ludovico Domínguez Portillo, Cecilia Gisela Navarro Rivas, Tania Ibett Ramírez Mejía. Universidad de El Salvador. Año 2005.
- Oliver Bowles, A. Taeves. Cement in Latin America. U.S. Dept. of the Interior, Bureau of Mines. Año 1986.
- Estudio de Concreto Con Alta Resistencia a la Agresión Provocada por la Contaminación del Medio Ambiente. Santos Fernando Alberto Santos. Universidad de El Salvador. Año 1994.

- Comparación de diferentes métodos de diseño de mezclas de concreto hidráulico utilizados en El Salvador con aplicación particular a pavimentos. Cañas Lazo, Manuel Antonio y Retana Martínez, Manuel Edgardo. Universidad Politécnica de El Salvador. Año 1999.
- Estudio de coeficientes de expansión y contracción del concreto hidráulico, y su influencia en el comportamiento de mezclas de concreto utilizadas en pavimentos y pisos industriales. Rudy Ernesto Alegría Rodríguez, Juan Carlos Álvarez Herrera, María Elena Peñate Castro. Universidad de El Salvador. Año 2011.
- Criterios para determinar la resistencia de diseño de las mezclas de hormigón en laboratorio: f'_{cr} . LAFARGE, Quito, Ecuador. Año 2007.
- Pruebas al concreto fresco ¿Porqué y por quiénes deben ser realizadas? Ing. Karla López Achio, MBA. Coordinadora del Área de Investigación Competitiva y Tecnología del Concreto del Instituto Costarricense del Cemento y del Concreto. Año 2008.

REFERENCIAS A NORMAS ASTM (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS)

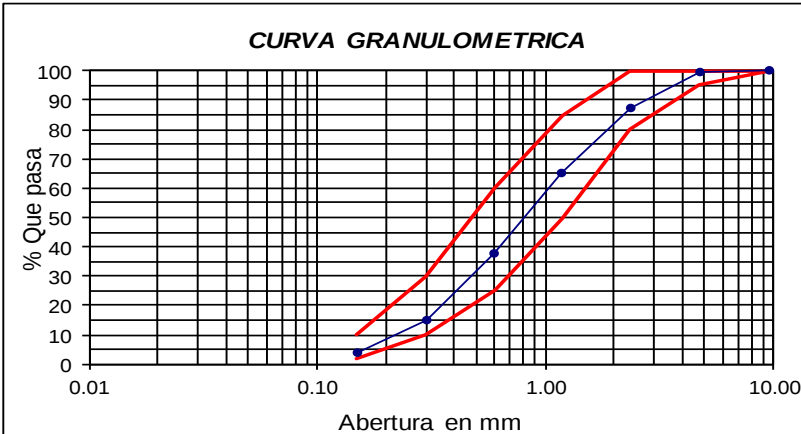
- **ASTM C-29** Método de Ensayo Estándar para Densidad Bruta (Peso Unitario) y Vacíos en los Agregados.
- **ASTM C-33** Especificación Normalizada para Agregados para Concreto.
- **ASTM C-39** Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto.
- **ASTM C-42** Método Normalizado de Ensayo de Obtención y Ensayo de Núcleos Perforados y Vigas Aserradas de Concreto.
- **ASTM C-91** Especificación Estándar para Cemento de Albañilería.
- **ASTM C-94** Especificación Normalizada para Concreto Premezclado.
- **ASTM C-109** Método Normalizado de Ensayo de Resistencia a Compresión de Morteros de Cemento Hidráulico (Utilizando Especímenes Cúbicos de 2 in. o [50-mm]).
- **ASTM C-114** Método de Ensayo para Análisis Químico del Cemento Hidráulico.
- **ASTM C-127** Método de Ensayo Normalizado para Determinar la Densidad, la Densidad Relativa (Gravedad Específica), y la Absorción de Agregados Gruesos.
- **ASTM C-128** Método de Ensayo Normalizado para Determinar la Densidad, la Densidad Relativa (Gravedad Específica), y la Absorción de Agregados Finos.
- **ASTM C-131** Método de Ensayo Estándar para la Resistencia a la Degradación del Agregado por Abrasión en la Máquina de Los Ángeles.
- **ASTM C-136** Método de Ensayo Normalizado para la Determinación Granulométrica de Agregados Finos y Gruesos.
- **ASTM C-138** Método de Ensayo Normalizado de Densidad (Peso Unitario), Rendimiento, y Contenido de Aire (Gravimétrico) del Concreto.

- **ASTM C-143** Método de Ensayo Estándar para Revenimiento del Concreto de Cemento Hidráulico.
- **ASTM C-150** Especificación Normalizada para Cemento Portland.
- **ASTM C-151** Método de Ensayo Estándar para Expansión en Autoclave del Cemento Hidráulico.
- **ASTM C-185** Método de Prueba Estándar para el Contenido de Aire de Mortero de Cemento Hidráulico.
- **ASTM C-186** Método Estándar de Ensayo para Hidratación del Cemento Hidráulico.
- **ASTM C-188** Método de Ensayo Estándar para Densidad del Cemento Hidráulico.
- **ASTM C-191** Método Estándar de Ensayo para Tiempo de Fraguado del Cemento Hidráulico por Aguja de Vicat.
- **ASTM C-192** Práctica Normalizada para Preparación y Curado de Especímenes de Concreto para Ensayo en Laboratorio.
- **ASTM C-230** Especificación Estándar para la Mesa de Flujo para Uso en Pruebas de Cemento Hidráulico.
- **ASTM C-266** Método Estándar de Ensayo para Tiempo de Fraguado de Pasta de Cemento Hidráulico por Aguja de Gillmore.
- **ASTM C-403** Método de Prueba Estándar para el Tiempo de fraguado de Mezclas de Concreto por Resistencia a la Penetración.
- **ASTM C-451** Método Estándar de Prueba para el Fraguado. Temprano del Cemento Hidráulico.
- **ASTM C-470** Especificación Estándar para Moldes para Encofrado Vertical de Cilindros de Concreto.
- **ASTM C-494** Especificación Normalizada de Aditivos Químicos para Concreto.
- **ASTM C-566** Método de Ensayo Estándar para Contenido de Humedad Total del Agregado por Secado.
- **ASTM C-595** Especificación Normalizada para Cementos Adicionados Hidráulicos.

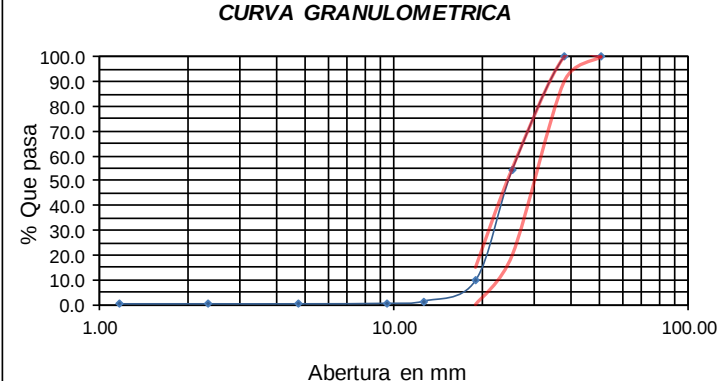
- **ASTM C-702** Practica Estándar para Reducción de las Muestras de Agregado a Tamaños de Prueba.
- **ASTM C-779** Método Estándar de Ensayo para Resistencia a la Abrasión en Superficies de Concreto.
- **ASTM C-845** Especificación Normalizada para Cemento Hidráulico Expansivo.
- **ASTM C-873** Método de Prueba Estándar para Resistencia a la Compresión de Cilindros de Concreto Colados In Situ en Moldes Cilíndricos.
- **ASTM C-1038** Método de Prueba Estándar para Pruebas de Dureza por el Método de Impedancia de Contacto Ultrasónico.
- **ASTM C-1040** Métodos de Prueba Estándar para Determinar la Densidad In Situ de Concreto Fresco y Endurecido, Incluyendo el Concreto Compactado con Rodillo, por Métodos Nucleares.
- **ASTM C-1064** Método de Ensayo Normalizado de Temperatura de Concreto de Cemento Hidráulico recién Mezclado.
- **ASTM C-1077** Práctica estándar para Técnicos de Pruebas Concreto y Agregados del concreto para su Uso en la Construcción y Criterios de Evaluación.
- **ASTM C-1157** Especificación Normalizada de Desempeño para Cemento Hidráulico.
- **ASTM C-1602** Especificación para el Agua de Mezcla Utilizada en la Fabricación de Concreto de Cemento Hidráulico.
- **ASTM D-3398** Método de Prueba Estándar para el Índice de la Forma y Textura del Agregado.

ANEXOS

ANEXO 3.1 RESULTADOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO (ASTM C-136)

 Universidad de El Salvador Por la libertad por la cultura Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto Centro de Investigaciones ISCYC <i>Urb. Madre Selva, 3^{ra} etapa Av. El espinoso y Boulevard Sur, Antiguo Cuscatlan La Libertad Tel. 2505-0162 y 2505-0163 Fax. 2505-0164</i> 					
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO ASTM C-136 AGREGADO FINO					
PROYECTO :		"ADAPTACIÓN DEL MÉTODO DE DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO SEGÚN ACI 211.1 UTILIZANDO LOS TIPOS DE CEMENTO ASTM C-1157 TIPO GU Y ASTM C-1157 TIPO HE"			
UBICACIÓN CANTERA:		PLANTEL JIBOA, LA PAZ			
TIPO DE MUESTRA:		ARENA NATURAL			
FECHA DE MUESTREO:		21 DE MARZO DE 2012			
FECHA DE ENSAYO:		22 DE MARZO DE 2012			
LABORATORISTAS:		GUSTAVO ALEXANDER CÁDER VALENCIA/CARMEN ELENA OLIVA SALAZAR			
SUPERVISOR :		JULIO HERNÁNDEZ			
HOJA DE LABORATORIO					
MASA TARA, g =		127.8		MASA TARA + MUESTRA, g =	638.4
				MASA MUESTRA, g =	510.6
MALLA	M. RETENIDO PARCIAL (g)	MASA RETENIDA (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	QUE PASA LA MALLA (%)	OBSERVACIONES
-	-	-	-	-	Rangos ASTM C-33
3/8"	0.0	0.0	0.0	100.0	100
No.4	2.7	0.5	0.5	99.5	95-100
No.8	62.2	12.2	12.7	87.3	80-100
No.16	111.5	21.8	34.5	65.5	50-85
No.30	141.9	27.8	62.3	37.7	25-60
No.50	116.7	22.8	85.1	14.9	10-30
No.100	55.2	10.8	95.9	4.1	2-10
FONDO	20.7	4.1	100.0	0.0	-
SUMAS	510.9	100.0	-	-	-
 CURVA GRANULOMETRICA MÓDULO DE FINURA 2.91					

ANEXO 3.2 RESULTADOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO (ASTM C-136)

 Universidad de El Salvador MAJORA LA LIBERTAD POR LA CULTURA	Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto Laboratorio de Investigaciones ISCYC Urb. Madre Selva, 3 ^{ra} etapa Av. El espinoso y Boulevard Sur, Antiguo Cuscatlan La Libertad Tel. 2505-0162 y 2505-0163 Fax. 2505-0164				
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO ASTM C-136 AGREGADO GRUESO					
PROYECTO : <u>"ADAPTACIÓN DEL MÉTODO DE DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO SEGÚN ACI 211.1 UTILIZANDO LOS TIPOS DE CEMENTO ASTM C-1157 TIPO GU Y ASTM C-1157 TIPO HE"</u>					
UBICACIÓN CANTERA <u>PLANTEL JIBOA, LA PAZ</u>					
TIPO DE MUESTRA: <u>AGREGADO GRUESO</u>					
FECHA DE MUESTREO: <u>21 DE MARZO DE 2012</u>					
FECHA DE ENSAYO: <u>22 DE MARZO DE 2012</u>					
LABORATORISTAS: <u>GUSTAVO ALEXANDER CÁDER VALENCIA/CARMEN ELENA OLIVA SALAZAR</u>					
SUPERVISOR : <u>JULIO HERNÁNDEZ</u>					
HOJA DE LABORATORIO					
MASA TARA, g = 2485.0		MASA TARA + MUESTRA, g = 14610.0	MASA MUESTRA, g = 12125.0		
MALLA	M. RETENIDO PARCIAL (g)	MASA RETENIDA (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	QUE PASA LA MALLA (%)	OBSERVACIONES (TAMAÑO N°4 ASTM C-33)
2"	0.0	0.0	0.0	100.0	100
1 1/2"	0.0	0.0	0.0	100.0	90-100
1"	5521.7	45.6	45.6	54.4	20-55
3/4"	5419.3	44.7	90.3	9.7	0-15
1/2"	1012.9	8.4	98.6	1.4	-
3/8"	108.6	0.9	99.5	0.5	0-5
No.4	24.2	0.2	99.7	0.3	-
No.8	0.0	0.0	99.7	0.3	-
No.16	0.0	0.0	99.7	0.3	-
FONDO	34.0	0.3	100.0	0.0	-
SUMAS	12120.7	100.0	-	-	-
CURVA GRANULOMETRICA					
				Tamaño Maximo: 1 1/2" Tamaño Maximo nominal: 1"	

ANEXO 3.3 RESULTADOS DEL ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO (ASTM C-128)

 Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto Laboratorio de Investigaciones ISCYC Urb. Madre Selva, 3 ^{ra} etapa Av. El espino y Boulevard Sur, Antiguo Cuscatlan La Libertad Tel. 505-0162 y 505-0163 Fax. 505-0164			
GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN ASTM C-128 AGREGADO FINO			
PROYECTO :	"ADAPTACIÓN DEL MÉTODO DE DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO SEGÚN ACI 211.1 UTILIZANDO LOS TIPOS DE CEMENTO ASTM C-1157 TIPO GU Y ASTM C-1157 TIPO HE"		
MUESTRA:	ARENA NATURAL		
UBICACIÓN :	PLANTEL JIBOA, LA PAZ		
FECHA DE MUESTREO:	21 DE MARZO DE 2012		
FECHA DE ENSAYO:	23 DE MARZO DE 2012		
LABORATORISTAS:	GUSTAVO ALEXANDER CADER VALENCIA/CARMEN ELENA OLIVA SALAZAR		
REVISOR:	JULIO HERNÁNDEZ		
HOJA DE LABORATORIO			
MUESTRA N°1		MUESTRA N°2:	
S MASA DE LA MUESTRA SSS (g):	500.0	S MASA DE LA MUESTRA SSS (g):	500.0
B MASA PICNOMETRO + AGUA (g):	1443.7	B MASA PICNOMETRO + AGUA (g):	1443.7
C MASA PICNOM. + AGUA + MUESTRA (g):	1746.0	C MASA PICNOM. + AGUA + MUESTRA (g):	1744.9
MASA SECA DE LA MUESTRA + TARA (g):	816.8	MASA SECA DE LA MUESTRA + TARA (g):	640.6
MASA TARA (g):	336.8	MASA TARA (g):	161.8
A MASA SECA DE LA MUESTRA (g):	480.0	A MASA SECA DE LA MUESTRA (g):	478.8
AGUA (g):	20.0	AGUA (g):	21.2
ABSORCION, (%)	4.2	ABSORCION, (%)	4.4
GRAVEDAD ESPECÍFICA SECA:	2.43	GRAVEDAD ESPECÍFICA SECA:	2.41
GRAVEDAD ESPECÍFICA SSS:	2.53	GRAVEDAD ESPECÍFICA SSS:	2.52
GRAVEDAD ESPECÍFICA SECA PROMEDIO:	2.42	GRAVEDAD ESPECÍFICA SSS PROMEDIO:	2.53
ABSORCION PROMEDIO (%)	4.30		
FORMULAS: Agua: $W_{sss} (g) - W_{seco}(g)$ Absorcion: $(S - A) \times 100 / A$ G. E. Seca: $A / (B+S-C)$ G. E. SSS: $S / (B+S-C)$			

ANEXO 3.4 RESULTADOS DEL ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO (ASTM C-127)

		Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto Laboratorio de Investigaciones ISCYC Urb. Madre Selva, 3 ^{ra} etapa Av. El espinó y Boulevard Sur, Antiguo Cuscatlan La Libertad Tel. 505-0162 y 505-0163 Fax. 505-0164			
GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN ASTM C-127 AGREGADO GRUESO					
PROYECTO :		"ADAPTACIÓN DEL MÉTODO DE DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO SEGÚN ACI 211.1 UTILIZANDO LOS TIPOS DE CEMENTO ASTM C-1157 TIPO GU Y ASTM C-1157 TIPO HE"			
MUESTRA:		AGREGADO GRUESO			
UBICACIÓN :		PLANTEL JIBOA, LA PAZ			
FECHA DE MUESTREO:		21 DE MARZO DE 2012			
FECHA DE ENSAYO:		23 DE MARZO DE 2012			
LABORATORISTAS:		GUSTAVO ALEXANDER CADER VALENCIA/CARMEN ELENA OLIVA SALAZAR			
REVISOR:		JULIO HERNÁNDEZ			
HOJA DE LABORATORIO					
MUESTRA N°: 1			MUESTRA N°: 2		
MASA TARA/ sss (g):	13.0	MASA TARA/ sss (g):	13.0		
MASA SATURADA, Wsss + TARA (g):	5674.0	MASA SATURADA, Wsss + TARA (g):	7092.0		
MASA SATURADA, Wsss (g):	5661.0	MASA SATURADA, Wsss (g):	7079.0		
MASA TARA SUMERGIDA (g):	848.0	MASA TARA SUMERGIDA (g):	848.0		
MASA SUMERGIDA, Wsum + TARA SUM (g):	4396.0	MASA SUMERGIDA, Wsum + TARA SUM (g):	5272.0		
MASA SUMERGIDA NETA, Wsum (g):	3548.0	MASA SUMERGIDA NETA, Wsum (g):	4424.0		
MASA TARA/ seca (g):	203.2	MASA TARA/ seca (g):	226.4		
MASA SECA, Wseca + TARA (g):	5766.2	MASA SECA, Wseca + TARA (g):	7191.4		
MASA SECA, Wseca (g):	5563.0	MASA SECA, Wseca (g):	6965.0		
AGUA (g):	98.0	AGUA (g):	114.0		
ABSORCIÓN (%)			ABSORCIÓN (%)		
1.76		1.64			
GRAVEDAD ESPECÍFICA SECA:			GRAVEDAD ESPECÍFICA SECA:		
2.63		2.62			
GRAVEDAD ESPECÍFICA SSS:			GRAVEDAD ESPECÍFICA SSS:		
2.68		2.67			
GRAVEDAD ESPECÍFICA SECA PROMEDIO			GRAVEDAD ESPECÍFICA SSS PROMEDIO		
2.63		2.68			
ABSORCIÓN PROMEDIO (%)					
1.70					
FORMULAS Agua: $W_{sss}(g) - W_{seco}(g)$ Absorción: $[W_{sss}(g) - W_{seco}(g) \times 100 / W_{seco}(g)]$ G. E. Seca: $W_{seco}(g) / [W_{sss}(g) - W_{sum}(g)]$ G.E. SSS: $W_{sss}(g) / [W_{sss}(g) - W_{sum}(g)]$					

ANEXO 3.5 RESULTADOS DEL ENSAYO DE PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO (ASTM C-29)

 Universidad de El Salvador Hacia la libertad por la cultura	Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto Laboratorio de Investigaciones ISCYC <i>Urb. Madre Selva, 3^{ra} etapa Av. El espinoso y Boulevard Sur, Antiguo Cuscatlan La Libertad Tel. 505-0162 y 505-0163 Fax. 505-0164</i>		
PESO UNITARIO ASTM C-29 AGREGADO FINO			
PROYECTO : MUESTRA: UBICACIÓN : FECHA DE MUESTREO: FECHA DE ENSAYO: LABORATORISTAS: REVISOR:	"ADAPTACIÓN DEL MÉTODO DE DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO SEGÚN ACI 211.1 UTILIZANDO LOS TIPOS DE CEMENTO ASTM C-1157 TIPO GU Y ASTM C-1157 TIPO HE" ARENA NATURAL PLANTEL JIBOA, LA PAZ 21 DE MARZO DE 2012 23 DE MARZO DE 2012 GUSTAVO ALEXANDER CADER VALENCIA/CARMEN ELENA OLIVA SALAZAR JULIO HERNÁNDEZ		
HOJA DE LABORATORIO			
SUELTO		VARILLADO	
A MASA RECIPIENTE VACIO (kg):	1.730	A MASA RECIPIENTE VACIO (kg):	1.730
B VOLUMEN RECIPIENTE (m ³):	0.00284	B VOLUMEN RECIPIENTE (m ³):	0.00284
MASA RECIPIENTE + AGREGADO (kg) #1:	5.683	MASA RECIPIENTE + AGREGADO (kg) #1:	6.029
MASA RECIPIENTE + AGREGADO (kg) #2:	5.750	MASA RECIPIENTE + AGREGADO (kg) #2:	6.015
MASA RECIPIENTE + AGREGADO (kg) #3:	5.814	MASA RECIPIENTE + AGREGADO (kg) #3:	5.990
MASA RECIPIENTE + AGREGADO (kg) PROMEDIO:	5.75	MASA RECIPIENTE + AGREGADO (kg) PROMEDIO:	6.01
C MASA AGREGADO (kg) PROMEDIO:	4.02	C MASA AGREGADO (kg) PROMEDIO:	4.28
PESO UNITARIO (kg/m³)		PESO UNITARIO (kg/m³)	
1415		1507	
NOTA: EL AGREGADO FUE SECADO AL HORNO. FORMULAS: C Masa Agregado Promedio: [MASA AGREGADO + RECIPIENTE (kg) PROMEDIO] - A Peso Unitario: (C / B)			

ANEXO 3.6 RESULTADOS DEL ENSAYO DE PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO (ASTM C-29)

 Universidad de El Salvador Hacia la libertad por la cultura	Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto Laboratorio de Investigaciones ISCYC Urb. Madre Selva, 3^{ra} etapa Av. El espino y Boulevard Sur, Antiguo Cuscatlan La Libertad Tel. 505-0162 y 505-0163 Fax. 505-0164		
PESO UNITARIO ASTM C-29 AGREGADO GRUESO			
PROYECTO :	"ADAPTACIÓN DEL MÉTODO DE DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO SEGÚN ACI 211.1 UTILIZANDO LOS TIPOS DE CEMENTO ASTM C-1157 TIPO GU Y ASTM C-1157 TIPO HE"		
MUESTRA:	AGREGADO GRUESO		
UBICACIÓN :	PLANTEL JIBOA, LA PAZ		
FECHA DE MUESTREO:	21 DE MARZO DE 2012		
FECHA DE ENSAYO:	22 DE MARZO DE 2012		
LABORATORISTAS:	GUSTAVO ALEXANDER CADER VALENCIA/CARMEN ELENA OLIVA SALAZAR		
REVISOR:	JULIO HERNÁNDEZ		
HOJA DE LABORATORIO			
SUELTO		VARILLADO	
A MASA RECIPIENTE VACIO (kg):	5.436	A MASA RECIPIENTE VACIO (kg):	5.436
B VOLUMEN RECIPIENTE (m ³):	0.00943	B VOLUMEN RECIPIENTE (m ³):	0.00943
MASA RECIPIENTE + AGREGADO (kg) #1:	18.430	MASA RECIPIENTE + AGREGADO (kg) #1:	19.925
MASA RECIPIENTE + AGREGADO (kg) #2:	18.560	MASA RECIPIENTE + AGREGADO (kg) #2:	20.081
MASA RECIPIENTE + AGREGADO (kg) #3:	18.540	MASA RECIPIENTE + AGREGADO (kg) #3:	20.040
MASA RECIPIENTE + AGREGADO (kg) PROMEDIO:	18.51	MASA RECIPIENTE + AGREGADO (kg) PROMEDIO:	20.02
C MASA AGREGADO (kg) PROMEDIO:	13.07	C MASA AGREGADO (kg) PROMEDIO:	14.58
PESO UNITARIO (kg/m ³)	1386	PESO UNITARIO (kg/m ³)	1546
NOTA: EL AGREGADO FUE SECADO AL HORNO.			
FORMULAS:			
C Masa Agregado Promedio: [MASA AGREGADO + RECIPIENTE (kg) PROMEDIO] - A			
Peso Unitario: (C / B)			

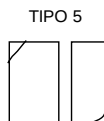
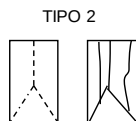
ANEXO 4.1 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LAS DOSIFICACIONES DEL CONCRETO

CEMENTO: ASTM C-1157 TIPO GU

F'cr: 120 kg/cm² (Diseño)

N°	CONCRETO FRESCO								CONCRETO ENDURECIDO										
	FECHA DE COLADO	HORA DE COLADO	A/C (DISEÑO)	± AGUA (Lts)	REV. (plg)	A/C (REAL)	TEMP. (°C)	PESO VOL. (kg/m³)	FECHA DE RUPTURA	HORA DE RUPTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	ALT. (cm)	ÁREA (cm²)	PESO (g)	PESO VOL. (kg/m³)	CARGA (kg)	RESIS- TENCIA (kg/cm²)	TIPO DE FALLA
1	11-abr	12:00 p.m.	0.85	0.68	1 1/2	0.93	26	2261	09-may	10:30 a.m.	28	15.0	30.5	176.7	12560	2331	17180	97	6
2	11-abr	12:00 p.m.	0.85		1 1/2	0.93	26	2261	09-may	10:45 a.m.	28	15.1	30.5	179.1	12661	2318	18100	101	6
3	11-abr	12:00 p.m.	0.85		1 1/2	0.93	26	2261	09-may	11:00 a.m.	28	15.1	30.2	179.1	12760	2359	15990	89	6
4	11-abr	12:00 p.m.	0.85		1 1/2	0.93	26	2261	09-may	11:10 a.m.	28	15.0	30.5	176.7	12860	2386	15620	88	6
5	11-abr	12:00 p.m.	0.85		1 1/2	0.93	26	2261	09-may	11:20 a.m.	28	15.0	30.5	176.7	12713	2359	15650	89	6
6	11-abr	12:00 p.m.	0.85		1 1/2	0.93	26	2261	09-may	11:24 a.m.	28	15.1	30.3	179.1	12538	2310	17230	96	6
7	12-abr	10:00 a.m.	0.85	0.68	1 1/2	0.93	26	2273	10-may	01:30 p.m.	28	15.1	30.5	179.1	12766	2337	15740	88	6
8	12-abr	10:00 a.m.	0.85		1 1/2	0.93	26	2273	10-may	01:40 p.m.	28	15.1	30.5	179.1	12675	2320	16220	91	6
9	12-abr	10:00 a.m.	0.85		1 1/2	0.93	26	2273	10-may	01:50 p.m.	28	15.2	30.4	181.5	12767	2314	16990	94	6
10	12-abr	10:00 a.m.	0.85		1 1/2	0.93	26	2273	10-may	01:57 p.m.	28	15.1	30.4	179.1	12635	2321	17430	97	6
11	12-abr	10:00 a.m.	0.85		1 1/2	0.93	26	2273	10-may	02:04 p.m.	28	15.2	30.5	181.5	12810	2314	17660	97	3
12	12-abr	10:00 a.m.	0.85		1 1/2	0.93	26	2273	10-may	02:11 p.m.	28	15.1	30.5	179.1	12805	2344	17220	96	6
13	12-abr	11:00 a.m.	0.85	0.68	1 3/4	0.93	26	2273	10-may	02:18 p.m.	28	15.1	30.3	179.1	12333	2273	16340	91	6
14	12-abr	11:00 a.m.	0.85		1 3/4	0.93	26	2273	10-may	02:25 p.m.	28	15.1	30.5	179.1	12500	2288	19530	109	6
15	12-abr	11:00 a.m.	0.85		1 3/4	0.93	26	2273	10-may	02:32 p.m.	28	15.1	30.5	179.1	12781	2340	12620	70	3
16	12-abr	11:00 a.m.	0.85		1 3/4	0.93	26	2273	10-may	02:39 p.m.	28	15.1	30.5	179.1	12743	2333	15040	84	6
17	12-abr	11:00 a.m.	0.85		1 3/4	0.93	26	2273	10-may	02:46 p.m.	28	15.1	30.5	179.1	12902	2362	15320	86	6
18	12-abr	11:00 a.m.	0.85		1 3/4	0.93	26	2273	10-may	02:53 p.m.	28	15.1	30.4	179.1	12637	2321	16630	93	6
19	12-abr	02:00 p.m.	0.85	1.06	2 1/2	0.98	26	2250	10-may	03:00 p.m.	28	15.1	30.3	179.1	12725	2345	15040	84	6
20	12-abr	02:00 p.m.	0.85		2 1/2	0.98	26	2250	10-may	03:07 p.m.	28	15.2	30.5	181.5	12630	2282	13020	72	6
21	12-abr	02:00 p.m.	0.85		2 1/2	0.98	26	2250	10-may	03:14 p.m.	28	15.1	30.5	179.1	12584	2304	17790	99	6
22	12-abr	02:00 p.m.	0.85		2 1/2	0.98	26	2250	10-may	03:21 p.m.	28	15.1	30.4	179.1	12715	2335	16730	93	6
23	12-abr	02:00 p.m.	0.85		2 1/2	0.98	26	2250	10-may	03:28 p.m.	28	15.1	30.5	179.1	12765	2337	14650	82	2
24	12-abr	02:00 p.m.	0.85		2 1/2	0.98	26	2250	10-may	03:35 p.m.	28	15.1	30.5	179.1	12758	2336	13530	76	6
25	12-abr	03:10 p.m.	0.85	0.76	2	0.94	26	2259	10-may	03:42 p.m.	28	15.1	30.4	179.1	12610	2316	17270	96	6
26	12-abr	03:10 p.m.	0.85		2	0.94	26	2259	10-may	03:49 p.m.	28	15.1	30.4	179.1	12370	2272	14910	83	6
27	12-abr	03:10 p.m.	0.85		2	0.94	26	2259	10-may	03:56 p.m.	28	15.1	30.5	179.1	12792	2342	14540	81	6
28	12-abr	03:10 p.m.	0.85		2	0.94	26	2259	10-may	04:03 p.m.	28	15.1	30.4	179.1	12725	2337	14740	82	6
29	12-abr	03:10 p.m.	0.85		2	0.94	26	2259	10-may	04:10 p.m.	28	15.1	30.5	179.1	12785	2340	15660	87	6
30	12-abr	03:10 p.m.	0.85		2	0.94	26	2259	10-may	04:17 p.m.	28	15.1	30.5	179.1	12840	2351	13910	78	6
PROMEDIO						0.94	26	2263						PROMEDIO	12692	2328	15943	89	

TIPOS DE FALLA:

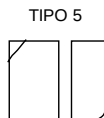
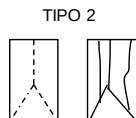


Fecha empaque cemento: 23/03/2012

CEMENTO: ASTM C-1157 TIPO HE
F'cr: 120 kg/cm² (Diseño)

N°	CONCRETO FRESCO								CONCRETO ENDURECIDO										
	FECHA DE COLADO	HORA DE COLADO	A/C (DISEÑO)	± AGUA (Lts)	REV. (plg)	A/C (REAL)	TEMP. (°C)	PESO VOL. (kg/m³)	FECHA DE RUPTURA	HORA DE RUPTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	ALT. (cm)	ÁREA (cm²)	PESO (g)	PESO VOL. (kg/m³)	CARGA (kg)	RESIS- TENCIA (kg/cm²)	TIPO DE FALLA
1	18-abr	11:45 a.m.	0.85	-0.45	2	0.80	25	2287	16-may	10:15 a.m.	28	15.1	30.4	179.1	12717	2336	14610	82	6
2	18-abr	11:45 a.m.	0.85		2	0.80	25	2287	16-may	10:17 a.m.	28	15.0	30.2	176.7	12817	2402	14100	80	2
3	18-abr	11:45 a.m.	0.85		2	0.80	25	2287	16-may	10:19 a.m.	28	15.0	30.2	176.7	12710	2382	15020	85	6
4	18-abr	11:45 a.m.	0.85		2	0.80	25	2287	16-may	10:21 a.m.	28	15.1	30.5	179.1	12845	2351	16210	91	6
5	18-abr	11:45 a.m.	0.85		2	0.80	25	2287	16-may	10:23 a.m.	28	15.1	30.3	179.1	12815	2361	14900	83	6
6	18-abr	11:45 a.m.	0.85		2	0.80	25	2287	16-may	10:25 a.m.	28	15.1	30.5	179.1	12791	2342	15760	88	6
7	19-abr	11:15 a.m.	0.85	0.38	2	0.90	25	2273	17-may	10:27 a.m.	28	15.1	30.2	179.1	12595	2329	15140	85	6
8	19-abr	11:15 a.m.	0.85		2	0.90	25	2273	17-may	10:29 a.m.	28	15.1	30.3	179.1	12518	2307	15270	85	6
9	19-abr	11:15 a.m.	0.85		2	0.90	25	2273	17-may	10:31 a.m.	28	15.1	30.3	179.1	12787	2356	17280	96	6
10	19-abr	11:15 a.m.	0.85		2	0.90	25	2273	17-may	10:33 a.m.	28	15.1	30.2	179.1	12765	2360	16500	92	6
11	19-abr	11:15 a.m.	0.85		2	0.90	25	2273	17-may	10:35 a.m.	28	15.1	30.4	179.1	12964	2381	14650	82	6
12	19-abr	11:15 a.m.	0.85		2	0.90	25	2273	17-may	10:37 a.m.	28	15.1	30.2	179.1	13035	2410	14310	80	6
13	19-abr	02:00 p.m.	0.85	0.35	2 1/2	0.89	25	2277	17-may	10:39 a.m.	28	15.1	30.5	179.1	12745	2333	14400	80	6
14	19-abr	02:00 p.m.	0.85		2 1/2	0.89	25	2277	17-may	10:41 a.m.	28	15.1	30.3	179.1	12800	2359	14210	79	2
15	19-abr	02:00 p.m.	0.85		2 1/2	0.89	25	2277	17-may	10:43 a.m.	28	15.2	30.5	181.5	12820	2316	15330	84	6
16	19-abr	02:00 p.m.	0.85		2 1/2	0.89	25	2277	17-may	10:45 a.m.	28	15.1	30.5	179.1	12865	2355	12860	72	6
17	19-abr	02:00 p.m.	0.85		2 1/2	0.89	25	2277	17-may	10:47 a.m.	28	15.1	30.6	179.1	12889	2352	13220	74	2
18	19-abr	02:00 p.m.	0.85		2 1/2	0.89	25	2277	17-may	10:49 a.m.	28	15.1	30.5	179.1	12749	2334	14340	80	6
19	19-abr	02:30 p.m.	0.85	-0.10	2	0.84	25	2281	17-may	10:51 a.m.	28	15.1	30.3	179.1	12713	2343	12240	68	2
20	19-abr	02:30 p.m.	0.85		2	0.84	25	2281	17-may	10:53 a.m.	28	15.1	30.3	179.1	12678	2336	13050	73	6
21	19-abr	02:30 p.m.	0.85		2	0.84	25	2281	17-may	10:55 a.m.	28	15.1	30.3	179.1	12709	2342	12180	68	2
22	19-abr	02:30 p.m.	0.85		2	0.84	25	2281	17-may	10:57 a.m.	28	15.1	30.3	179.1	12695	2339	12650	71	6
23	19-abr	02:30 p.m.	0.85		2	0.84	25	2281	17-may	10:59 a.m.	28	15.1	30.5	179.1	12684	2322	11860	66	6
24	19-abr	02:30 p.m.	0.85		2	0.84	25	2281	17-may	11:01 a.m.	28	15.1	30.4	179.1	12573	2309	11590	65	6
25	19-abr	03:15 p.m.	0.85	0.00	2	0.85	25	2256	17-may	11:03 a.m.	28	15.1	30.4	179.1	12670	2327	12270	69	6
26	19-abr	03:15 p.m.	0.85		2	0.85	25	2256	17-may	11:05 a.m.	28	15.1	30.2	179.1	12620	2333	11860	66	6
27	19-abr	03:15 p.m.	0.85		2	0.85	25	2256	17-may	11:07 a.m.	28	15.1	30.3	179.1	12775	2354	13460	75	6
28	19-abr	03:15 p.m.	0.85		2	0.85	25	2256	17-may	11:09 a.m.	28	15.0	30.5	176.7	12841	2383	12440	70	6
29	19-abr	03:15 p.m.	0.85		2	0.85	25	2256	17-may	11:11 a.m.	28	15.1	30.5	179.1	12695	2324	12230	68	6
30	19-abr	03:15 p.m.	0.85		2	0.85	25	2256	17-may	11:13 a.m.	28	15.1	30.4	179.1	12640	2322	11980	67	6
				PROMEDIO		0.86	25	2275						PROMEDIO	12751	2347	13864	77	

TIPOS DE FALLA:

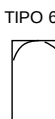
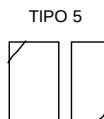
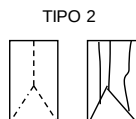
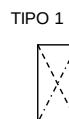


Fecha empaque cemento: 23/03/2012

CEMENTO: ASTM C-1157 TIPO GU
F'cr: 160 kg/cm² (Diseño)

N°	CONCRETO FRESCO								CONCRETO ENDURECIDO										
	FECHA DE COLADO	HORA DE COLADO	A/C (DISEÑO)	± AGUA (Lts)	REV. (plg)	A/C (REAL)	TEMP. (°C)	PESO VOL. (kg/m³)	FECHA DE RUPTURA	HORA DE RUPTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	ALT. (cm)	ÁREA (cm²)	PESO (g)	PESO VOL. (kg/m³)	CARGA (kg)	RESIS- TENCIA (kg/cm²)	TIPO DE FALLA
1	25-abr	11:15 a.m.	0.77	0.00	2 1/2	0.77	24	2258	23-may	07:55 a.m.	28	15.1	30.4	179.1	12740	2340	20910	117	6
2	25-abr	11:15 a.m.	0.77		2 1/2	0.77	24	2258	23-may	08:00 a.m.	28	15.1	30.6	179.1	12871	2349	21890	122	6
3	25-abr	11:15 a.m.	0.77		2 1/2	0.77	24	2258	23-may	08:05 a.m.	28	15.0	30.5	176.7	12889	2392	21250	120	6
4	25-abr	11:15 a.m.	0.77		2 1/2	0.77	24	2258	23-may	08:10 a.m.	28	15.1	30.4	179.1	12838	2358	21080	118	6
5	25-abr	11:15 a.m.	0.77		2 1/2	0.77	24	2258	23-may	08:15 a.m.	28	15.0	30.5	176.7	12765	2369	20980	119	6
6	25-abr	11:15 a.m.	0.77		2 1/2	0.77	24	2258	23-may	08:20 a.m.	28	15.1	30.4	179.1	12940	2377	20880	117	6
7	26-abr	09:05 a.m.	0.77	-0.06	2 1/2	0.76	24	2291	24-may	08:25 a.m.	28	15.1	30.5	179.1	12885	2359	25690	143	6
8	26-abr	09:05 a.m.	0.77		2 1/2	0.76	24	2291	24-may	08:29 a.m.	28	15.1	30.4	179.1	12893	2368	26540	148	6
9	26-abr	09:05 a.m.	0.77		2 1/2	0.76	24	2291	24-may	08:33 a.m.	28	15.1	30.5	179.1	12850	2352	25080	140	5
10	26-abr	09:05 a.m.	0.77		2 1/2	0.76	24	2291	24-may	08:37 a.m.	28	15.0	30.4	176.7	12741	2372	23440	133	6
11	26-abr	09:05 a.m.	0.77		2 1/2	0.76	24	2291	24-may	08:41 a.m.	28	15.1	30.5	179.1	12892	2360	22190	124	5
12	26-abr	09:05 a.m.	0.77		2 1/2	0.76	24	2291	24-may	08:45 a.m.	28	15.1	30.5	179.1	12897	2361	25440	142	5
13	26-abr	09:45 a.m.	0.77	0.00	2 1/2	0.77	24	2276	24-may	09:45 a.m.	28	15.1	30.4	179.1	12642	2322	22880	128	6
14	26-abr	09:45 a.m.	0.77		2 1/2	0.77	24	2276	24-may	09:48 a.m.	28	15.1	30.4	179.1	12790	2349	22280	124	5
15	26-abr	09:45 a.m.	0.77		2 1/2	0.77	24	2276	24-may	09:51 a.m.	28	15.1	30.5	179.1	12833	2349	24480	137	5
16	26-abr	09:45 a.m.	0.77		2 1/2	0.77	24	2276	24-may	09:54 a.m.	28	15.1	30.2	179.1	12805	2367	22590	126	3
17	26-abr	09:45 a.m.	0.77		2 1/2	0.77	24	2276	24-may	09:57 a.m.	28	15.1	30.5	179.1	12950	2371	21220	118	5
18	26-abr	09:45 a.m.	0.77		2 1/2	0.77	24	2276	24-may	10:00 a.m.	28	15.1	30.4	179.1	12818	2354	22860	128	5
19	26-abr	10:10 a.m.	0.77	0.20	2 1/4	0.79	24	2287	24-may	10:03 a.m.	28	15.1	30.5	179.1	12774	2338	22160	124	6
20	26-abr	10:10 a.m.	0.77		2 1/4	0.79	24	2287	24-may	10:06 a.m.	28	15.1	30.6	179.1	12738	2324	22140	124	5
21	26-abr	10:10 a.m.	0.77		2 1/4	0.79	24	2287	24-may	10:09 a.m.	28	15.1	30.4	179.1	12665	2326	21980	123	6
22	26-abr	10:10 a.m.	0.77		2 1/4	0.79	24	2287	24-may	10:12 a.m.	28	15.1	30.6	179.1	12695	2316	25370	142	6
23	26-abr	10:10 a.m.	0.77		2 1/4	0.79	24	2287	24-may	10:15 a.m.	28	15.1	30.5	179.1	12797	2343	21490	120	5
24	26-abr	10:10 a.m.	0.77		2 1/4	0.79	24	2287	24-may	10:18 a.m.	28	15.1	30.5	179.1	13019	2383	21310	119	6
25	26-abr	10:48 a.m.	0.77	0.10	2 1/2	0.78	25	2266	24-may	10:21 a.m.	28	15.0	30.4	176.7	12796	2382	21780	123	6
26	26-abr	10:48 a.m.	0.77		2 1/2	0.78	25	2266	24-may	10:24 a.m.	28	14.9	30.5	174.4	12659	2380	22070	127	5
27	26-abr	10:48 a.m.	0.77		2 1/2	0.78	25	2266	24-may	10:27 a.m.	28	15.0	30.3	176.7	12675	2367	27000	153	5
28	26-abr	10:48 a.m.	0.77		2 1/2	0.78	25	2266	24-may	10:30 a.m.	28	15.1	30.4	179.1	12848	2360	21530	120	5
29	26-abr	10:48 a.m.	0.77		2 1/2	0.78	25	2266	24-may	10:33 a.m.	28	15.1	30.5	179.1	12837	2350	23930	134	6
30	26-abr	10:48 a.m.	0.77		2 1/2	0.78	25	2266	24-may	10:36 a.m.	28	15.1	30.4	179.1	12840	2358	21770	122	3
				PROMEDIO		0.77	24	2276						PROMEDIO	12813	2357	22807	128	

TIPOS DE FALLA:

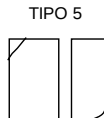
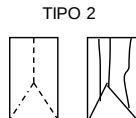


Fecha empaque cemento: 23/03/2012

CEMENTO: ASTM C-1157 TIPO HE
F'cr: 160 kg/cm² (Diseño)

N°	CONCRETO FRESCO								CONCRETO ENDURECIDO										
	FECHA DE COLADO	HORA DE COLADO	A/C (DISEÑO)	± AGUA (Lts)	REV. (plg)	A/C (REAL)	TEMP. (°C)	PESO VOL. (kg/m³)	FECHA DE RUPTURA	HORA DE RUPTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	ALT. (cm)	ÁREA (cm²)	PESO (g)	PESO VOL. (kg/m³)	CARGA (kg)	RESIS-TENCIA (kg/cm²)	TIPO DE FALLA
1	02-may	10:45 a.m.	0.77	0.25	2 1/2	0.80	25	2275	30-may	08:20 a.m.	28	15.1	30.3	179.1	12703	2341	17190	96	6
2	02-may	10:45 a.m.	0.77		2 1/2	0.80	25	2275	30-may	08:23 a.m.	28	15.1	30.6	179.1	12768	2330	16110	90	6
3	02-may	10:45 a.m.	0.77		2 1/2	0.80	25	2275	30-may	08:26 a.m.	28	15.1	30.5	179.1	12864	2355	18190	102	6
4	02-may	10:45 a.m.	0.77		2 1/2	0.80	25	2275	30-may	08:29 a.m.	28	15.1	30.6	179.1	12835	2342	17180	96	6
5	02-may	10:45 a.m.	0.77		2 1/2	0.80	25	2275	30-may	08:32 a.m.	28	15.1	30.4	179.1	12795	2350	14850	83	6
6	02-may	10:45 a.m.	0.77		2 1/2	0.80	25	2275	30-may	08:35 a.m.	28	15.1	30.4	179.1	12955	2379	15000	84	6
7	03-may	09:00 a.m.	0.77	0.15	2 1/2	0.79	24	2298	31-may	09:48 a.m.	28	15.1	30.4	179.1	12690	2331	20150	113	6
8	03-may	09:00 a.m.	0.77		2 1/2	0.79	24	2298	31-may	09:55 a.m.	28	15.1	30.5	179.1	12849	2352	18790	105	6
9	03-may	09:00 a.m.	0.77		2 1/2	0.79	24	2298	31-may	10:02 a.m.	28	15.1	30.5	179.1	12800	2343	21170	118	6
10	03-may	09:00 a.m.	0.77		2 1/2	0.79	24	2298	31-may	10:09 a.m.	28	15.1	30.4	179.1	12705	2333	19050	106	6
11	03-may	09:00 a.m.	0.77		2 1/2	0.79	24	2298	31-may	10:16 a.m.	28	15.1	30.4	179.1	12808	2352	16490	92	6
12	03-may	09:00 a.m.	0.77		2 1/2	0.79	24	2298	31-may	10:23 a.m.	28	15.1	30.1	179.1	12923	2397	16190	90	3
13	03-may	09:25 a.m.	0.77	0.18	2	0.79	24	2294	31-may	10:30 a.m.	28	15.0	30.3	176.7	12533	2341	20980	119	6
14	03-may	09:25 a.m.	0.77		2	0.79	24	2294	31-may	10:37 a.m.	28	15.1	30.3	179.1	12583	2319	20200	113	6
15	03-may	09:25 a.m.	0.77		2	0.79	24	2294	31-may	10:44 a.m.	28	15.1	30.5	179.1	12753	2335	18300	102	6
16	03-may	09:25 a.m.	0.77		2	0.79	24	2294	31-may	10:51 a.m.	28	15.1	30.5	179.1	12800	2343	19180	107	3
17	03-may	09:25 a.m.	0.77		2	0.79	24	2294	31-may	10:58 a.m.	28	15.1	30.4	179.1	12887	2367	17940	100	6
18	03-may	09:25 a.m.	0.77		2	0.79	24	2294	31-may	11:05 a.m.	28	15.1	30.5	179.1	12684	2322	20710	116	6
19	03-may	09:50 a.m.	0.77	0.18	2 1/4	0.79	25	2290	31-may	11:12 a.m.	28	15.1	30.4	179.1	12700	2333	19280	108	3
20	03-may	09:50 a.m.	0.77		2 1/4	0.79	25	2290	31-may	11:15 a.m.	28	15.1	30.5	179.1	12534	2295	20370	114	6
21	03-may	09:50 a.m.	0.77		2 1/4	0.79	25	2290	31-may	11:18 a.m.	28	15.1	30.5	179.1	12584	2304	20200	113	6
22	03-may	09:50 a.m.	0.77		2 1/4	0.79	25	2290	31-may	11:21 a.m.	28	15.1	30.5	179.1	12736	2332	16200	90	6
23	03-may	09:50 a.m.	0.77		2 1/4	0.79	25	2290	31-may	11:24 a.m.	28	15.1	30.5	179.1	12687	2323	20690	116	6
24	03-may	09:50 a.m.	0.77		2 1/4	0.79	25	2290	31-may	11:27 a.m.	28	15.1	30.4	179.1	12680	2329	18970	106	6
25	03-may	10:24 a.m.	0.77	0.15	2 1/2	0.79	25	2298	31-may	11:30 a.m.	28	15.1	30.3	179.1	12693	2339	19340	108	6
26	03-may	10:24 a.m.	0.77		2 1/2	0.79	25	2298	31-may	11:33 a.m.	28	15.1	30.5	179.1	12778	2339	18920	106	6
27	03-may	10:24 a.m.	0.77		2 1/2	0.79	25	2298	31-may	11:36 a.m.	28	15.1	30.5	179.1	12800	2343	18500	103	3
28	03-may	10:24 a.m.	0.77		2 1/2	0.79	25	2298	31-may	11:39 a.m.	28	15.1	30.5	179.1	12855	2353	17790	99	5
29	03-may	10:24 a.m.	0.77		2 1/2	0.79	25	2298	31-may	11:42 a.m.	28	15.1	30.5	179.1	12818	2347	18160	101	6
30	03-may	10:24 a.m.	0.77		2 1/2	0.79	25	2298	31-may	11:45 a.m.	28	15.1	30.5	179.1	12846	2352	18050	101	3
PROMEDIO						0.79	25	2291						PROMEDIO	12755	2341	18471	103	

TIPOS DE FALLA:

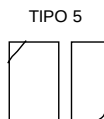
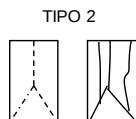
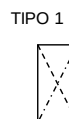


Fecha empaque cemento: 23/03/2012

CEMENTO: ASTM C-1157 TIPO GU
F'cr: 230 kg/cm² (Diseño)

N°	CONCRETO FRESCO								CONCRETO ENDURECIDO										
	FECHA DE COLADO	HORA DE COLADO	A/C (DISEÑO)	± AGUA (Lts)	REV. (plg)	A/C (REAL)	TEMP. (°C)	PESO VOL. (kg/m³)	FECHA DE RUPTURA	HORA DE RUPTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	ALT. (cm)	ÁREA (cm²)	PESO (g)	PESO VOL. (kg/m³)	CARGA (kg)	RESIS- TENCIA (kg/cm²)	TIPO DE FALLA
1	09-may	10:50 a.m.	0.65	0.25	2 1/2	0.67	25	2308	06-jun	02:55 p.m.	28	15.1	30.4	179.1	12908	2371	31390	175	6
2	09-may	10:50 a.m.	0.65		2 1/2	0.67	25	2308	06-jun	03:05 p.m.	28	15.1	30.4	179.1	12810	2353	32770	183	6
3	09-may	10:50 a.m.	0.65		2 1/2	0.67	25	2308	06-jun	03:15 p.m.	28	15.1	30.6	179.1	12865	2347	27900	156	6
4	09-may	10:50 a.m.	0.65		2 1/2	0.67	25	2308	06-jun	03:25 p.m.	28	15.1	30.4	179.1	12943	2377	29170	163	5
5	09-may	10:50 a.m.	0.65		2 1/2	0.67	25	2308	06-jun	03:35 p.m.	28	15.1	30.5	179.1	12888	2359	30930	173	6
6	09-may	10:50 a.m.	0.65		2 1/2	0.67	25	2308	06-jun	03:45 p.m.	28	15.1	30.4	179.1	12895	2368	33030	184	6
7	10-may	08:35 a.m.	0.65	0.00	2 1/2	0.65	25	2305	07-jun	08:15 a.m.	28	15.2	30.6	181.5	12937	2329	33900	187	5
8	10-may	08:35 a.m.	0.65		2 1/2	0.65	25	2305	07-jun	08:19 a.m.	28	15.2	30.5	181.5	12888	2328	32100	177	5
9	10-may	08:35 a.m.	0.65		2 1/2	0.65	25	2305	07-jun	08:23 a.m.	28	15.1	30.5	179.1	12834	2349	34320	192	6
10	10-may	08:35 a.m.	0.65		2 1/2	0.65	25	2305	07-jun	08:27 a.m.	28	15.1	30.6	179.1	12857	2346	34070	190	5
11	10-may	08:35 a.m.	0.65		2 1/2	0.65	25	2305	07-jun	08:31 a.m.	28	15.1	30.5	179.1	12967	2374	33670	188	6
12	10-may	08:35 a.m.	0.65		2 1/2	0.65	25	2305	07-jun	08:35 a.m.	28	15.1	30.4	179.1	12963	2381	34100	190	6
13	10-may	09:05 a.m.	0.65	-0.10	2 1/2	0.64	24	2300	07-jun	08:39 a.m.	28	15.1	30.5	179.1	12950	2371	36000	201	6
14	10-may	09:05 a.m.	0.65		2 1/2	0.64	24	2300	07-jun	08:43 a.m.	28	15.1	30.3	179.1	12808	2360	34330	192	6
15	10-may	09:05 a.m.	0.65		2 1/2	0.64	24	2300	07-jun	08:47 a.m.	28	15.1	30.5	179.1	12961	2373	34490	193	6
16	10-may	09:05 a.m.	0.65		2 1/2	0.64	24	2300	07-jun	08:51 a.m.	28	15.1	30.4	179.1	12870	2364	34800	194	6
17	10-may	09:05 a.m.	0.65		2 1/2	0.64	24	2300	07-jun	08:55 a.m.	28	15.1	30.4	179.1	12822	2355	38310	214	5
18	10-may	09:05 a.m.	0.65		2 1/2	0.64	24	2300	07-jun	08:59 a.m.	28	15.2	30.5	181.5	12810	2314	35140	194	5
19	10-may	09:20 a.m.	0.65	-0.25	2	0.63	25	2298	07-jun	09:13 a.m.	28	15.1	30.5	179.1	12891	2360	39670	222	6
20	10-may	09:20 a.m.	0.65		2	0.63	25	2298	07-jun	09:17 a.m.	28	15.1	30.5	179.1	12755	2335	38410	214	6
21	10-may	09:20 a.m.	0.65		2	0.63	25	2298	07-jun	09:21 a.m.	28	15.1	30.5	179.1	12902	2362	39920	223	5
22	10-may	09:20 a.m.	0.65		2	0.63	25	2298	07-jun	09:25 a.m.	28	15.1	30.5	179.1	12943	2369	38100	213	5
23	10-may	09:20 a.m.	0.65		2	0.63	25	2298	07-jun	09:29 a.m.	28	15.1	30.5	179.1	12930	2367	38130	213	5
24	10-may	09:20 a.m.	0.65		2	0.63	25	2298	07-jun	09:33 a.m.	28	15.0	30.4	176.7	12848	2392	38020	215	6
25	10-may	09:50 a.m.	0.65	0.00	1 1/2	0.65	24	2305	07-jun	09:37 a.m.	28	15.1	30.5	179.1	12800	2343	31580	176	6
26	10-may	09:50 a.m.	0.65		1 1/2	0.65	24	2305	07-jun	09:41 a.m.	28	15.1	30.5	179.1	12977	2376	33220	185	6
27	10-may	09:50 a.m.	0.65		1 1/2	0.65	24	2305	07-jun	09:45 a.m.	28	15.1	30.4	179.1	12750	2342	34840	195	6
28	10-may	09:50 a.m.	0.65		1 1/2	0.65	24	2305	07-jun	09:49 a.m.	28	15.1	30.5	179.1	12893	2360	32080	179	6
29	10-may	09:50 a.m.	0.65		1 1/2	0.65	24	2305	07-jun	09:53 a.m.	28	15.0	30.5	176.7	12858	2386	32050	181	5
30	10-may	09:50 a.m.	0.65		1 1/2	0.65	24	2305	07-jun	09:57 a.m.	28	15.1	30.5	179.1	12845	2351	34150	191	6
				PROMEDIO		0.65	25	2303						PROMEDIO	12879	2359	34353	192	

TIPOS DE FALLA:

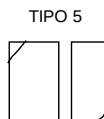
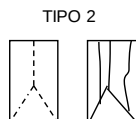
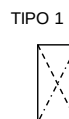


Fecha empaque cemento: 23/03/2012

CEMENTO: ASTM C-1157 TIPO HE
F'cr: 230 kg/cm² (Diseño)

N°	CONCRETO FRESCO								CONCRETO ENDURECIDO										
	FECHA DE COLADO	HORA DE COLADO	A/C (DISEÑO)	± AGUA (Lts)	REV. (plg)	A/C (REAL)	TEMP. (°C)	PESO VOL. (kg/m³)	FECHA DE RUPTURA	HORA DE RUPTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	ALT. (cm)	ÁREA (cm²)	PESO (g)	PESO VOL. (kg/m³)	CARGA (kg)	RESIS- TENCIA (kg/cm²)	TIPO DE FALLA
1	16-may	10:45 a.m.	0.65	-0.37	2 3/4	0.62	25	2308	13-jun	04:45 p.m.	28	15.1	30.5	179.1	12998	2379	34060	190	6
2	16-may	10:45 a.m.	0.65		2 3/4	0.62	25	2308	13-jun	04:49 p.m.	28	15.1	30.5	179.1	12966	2374	33400	186	6
3	16-may	10:45 a.m.	0.65		2 3/4	0.62	25	2308	13-jun	04:53 p.m.	28	15.1	30.4	179.1	12935	2376	35020	196	5
4	16-may	10:45 a.m.	0.65		2 3/4	0.62	25	2308	13-jun	04:57 p.m.	28	15.2	30.4	181.5	12940	2345	32190	177	6
5	16-may	10:45 a.m.	0.65		2 3/4	0.62	25	2308	13-jun	05:01 p.m.	28	15.0	30.3	176.7	12884	2406	34580	196	6
6	16-may	10:45 a.m.	0.65		2 3/4	0.62	25	2308	13-jun	05:05 p.m.	28	15.1	30.5	179.1	12929	2367	36040	201	5
7	17-may	10:10 a.m.	0.65	-0.15	2 1/4	0.64	24	2304	14-jun	07:25 a.m.	28	15.0	30.3	176.7	12993	2427	31820	180	6
8	17-may	10:10 a.m.	0.65		2 1/4	0.64	24	2304	14-jun	07:30 a.m.	28	15.1	30.3	179.1	12695	2339	34030	190	6
9	17-may	10:10 a.m.	0.65		2 1/4	0.64	24	2304	14-jun	07:35 a.m.	28	15.1	30.3	179.1	12975	2391	34810	194	5
10	17-may	10:10 a.m.	0.65		2 1/4	0.64	24	2304	14-jun	07:40 a.m.	28	15.1	30.5	179.1	12850	2352	34810	194	6
11	17-may	10:10 a.m.	0.65		2 1/4	0.64	24	2304	14-jun	07:45 a.m.	28	15.1	30.3	179.1	13000	2396	30530	170	5
12	17-may	10:10 a.m.	0.65		2 1/4	0.64	24	2304	14-jun	07:50 a.m.	28	15.1	30.5	179.1	13018	2383	31960	178	6
13	17-may	10:40 a.m.	0.65	-0.04	2 1/4	0.65	25	2306	14-jun	07:55 a.m.	28	15.1	30.5	179.1	12855	2353	34510	193	6
14	17-may	10:40 a.m.	0.65		2 1/4	0.65	25	2306	14-jun	08:00 a.m.	28	15.0	30.5	176.7	12830	2381	33960	192	6
15	17-may	10:40 a.m.	0.65		2 1/4	0.65	25	2306	14-jun	08:05 a.m.	28	15.1	30.5	179.1	12967	2374	35240	197	6
16	17-may	10:40 a.m.	0.65		2 1/4	0.65	25	2306	14-jun	08:10 a.m.	28	15.1	30.4	179.1	12956	2380	32580	182	6
17	17-may	10:40 a.m.	0.65		2 1/4	0.65	25	2306	14-jun	08:15 a.m.	28	15.1	30.5	179.1	12983	2377	31110	174	6
18	17-may	10:40 a.m.	0.65		2 1/4	0.65	25	2306	14-jun	08:31 a.m.	28	15.1	30.5	179.1	13020	2384	33380	186	6
19	17-may	11:05 a.m.	0.65	-0.10	2 1/4	0.64	25	2307	14-jun	08:34 a.m.	28	15.1	30.5	179.1	12856	2353	31140	174	6
20	17-may	11:05 a.m.	0.65		2 1/4	0.64	25	2307	14-jun	08:37 a.m.	28	15.1	30.5	179.1	12812	2345	30730	172	6
21	17-may	11:05 a.m.	0.65		2 1/4	0.64	25	2307	14-jun	08:40 a.m.	28	15.1	30.5	179.1	12778	2339	31040	173	6
22	17-may	11:05 a.m.	0.65		2 1/4	0.64	25	2307	14-jun	08:43 a.m.	28	15.1	30.5	179.1	12837	2350	34160	191	6
23	17-may	11:05 a.m.	0.65		2 1/4	0.64	25	2307	14-jun	08:46 a.m.	28	15.1	30.5	179.1	12960	2373	32250	180	5
24	17-may	11:05 a.m.	0.65		2 1/4	0.64	25	2307	14-jun	08:49 a.m.	28	15.1	30.5	179.1	12882	2358	31570	176	6
25	17-may	11:30 a.m.	0.65	-0.15	2 1/2	0.64	25	2304	14-jun	08:52 a.m.	28	15.1	30.3	179.1	12944	2385	32870	184	6
26	17-may	11:30 a.m.	0.65		2 1/2	0.64	25	2304	14-jun	08:55 a.m.	28	15.1	30.5	179.1	12900	2362	28590	160	6
27	17-may	11:30 a.m.	0.65		2 1/2	0.64	25	2304	14-jun	08:58 a.m.	28	15.1	30.5	179.1	12762	2336	31110	174	6
28	17-may	11:30 a.m.	0.65		2 1/2	0.64	25	2304	14-jun	09:01 a.m.	28	15.1	30.5	179.1	12975	2375	31110	174	5
29	17-may	11:30 a.m.	0.65		2 1/2	0.64	25	2304	14-jun	09:04 a.m.	28	15.1	30.5	179.1	12965	2373	32250	180	6
30	17-may	11:30 a.m.	0.65		2 1/2	0.64	25	2304	14-jun	09:07 a.m.	28	15.1	30.4	179.1	13000	2388	34290	191	5
				PROMEDIO		0.64	25	2306						PROMEDIO	12916	2371	32838	184	

TIPOS DE FALLA:

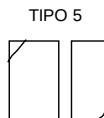
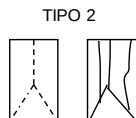


Fecha empaque cemento: 23/03/2012

CEMENTO: ASTM C-1157 TIPO GU
F'cr: 300 kg/cm² (Diseño)

N°	CONCRETO FRESCO								CONCRETO ENDURECIDO										
	FECHA DE COLADO	HORA DE COLADO	A/C (DISEÑO)	± AGUA (Lts)	REV. (plg)	A/C (REAL)	TEMP. (°C)	PESO VOL. (kg/m³)	FECHA DE RUPTURA	HORA DE RUPTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	ALT. (cm)	ÁREA (cm²)	PESO (g)	PESO VOL. (kg/m³)	CARGA (kg)	RESIS- TENCIA (kg/cm²)	TIPO DE FALLA
1	24-may	04:15 p.m.	0.54	0.52	2	0.58	25	2281	26-jun	07:40 a.m.	33	15.1	30.4	179.1	12800	2351	40490	226	6
2	24-may	04:15 p.m.	0.54		2	0.58	25	2281	26-jun	07:50 a.m.	33	15.1	30.4	179.1	12742	2340	37980	212	5
3	24-may	04:15 p.m.	0.54		2	0.58	25	2281	26-jun	08:15 a.m.	33	15.1	30.4	179.1	12751	2342	39960	223	6
4	24-may	04:15 p.m.	0.54		2	0.58	25	2281	26-jun	08:45 a.m.	33	15.1	30.5	179.1	12797	2343	40920	228	5
5	24-may	04:15 p.m.	0.54		2	0.58	25	2281	26-jun	08:35 a.m.	33	15.1	30.5	179.1	12889	2360	40220	225	6
6	24-may	04:15 p.m.	0.54		2	0.58	25	2281	22-jun	04:05 p.m.	29	15.1	30.5	179.1	12805	2344	40780	228	6
7	24-may	04:35 p.m.	0.54	0.50	2	0.58	25	2294	26-jun	09:03 a.m.	33	15.1	30.5	179.1	12895	2361	46650	260	6
8	24-may	04:35 p.m.	0.54		2	0.58	25	2294	26-jun	09:13 a.m.	33	15.2	30.4	181.5	13041	2364	46020	254	6
9	24-may	04:35 p.m.	0.54		2	0.58	25	2294	26-jun	09:22 a.m.	33	15.2	30.4	181.5	12640	2291	46570	257	6
10	24-may	04:35 p.m.	0.54		2	0.58	25	2294	26-jun	08:24 a.m.	33	15.1	30.5	179.1	12730	2330	40450	226	5
11	24-may	04:35 p.m.	0.54		2	0.58	25	2294	26-jun	10:06 a.m.	33	15.1	30.4	179.1	12805	2352	44760	250	5
12	24-may	04:35 p.m.	0.54		2	0.58	25	2294	22-jun	04:35 p.m.	29	15.0	30.4	176.7	13132	2445	44740	253	5
13	24-may	04:58 p.m.	0.54	0.50	2	0.58	25	2276	26-jun	10:45 a.m.	33	15.1	30.5	179.1	12726	2330	42820	239	6
14	24-may	04:58 p.m.	0.54		2	0.58	25	2276	26-jun	08:51 a.m.	33	15.1	30.4	179.1	12620	2318	44510	249	6
15	24-may	04:58 p.m.	0.54		2	0.58	25	2276	22-jun	03:35 p.m.	29	15.1	30.5	179.1	12790	2341	39030	218	6
16	24-may	04:58 p.m.	0.54		2	0.58	25	2276	26-jun	02:23 p.m.	33	15.2	30.5	181.5	12865	2324	42480	234	5
17	24-may	04:58 p.m.	0.54		2	0.58	25	2276	26-jun	10:19 a.m.	33	15.1	30.4	179.1	12709	2334	44410	248	6
18	24-may	04:58 p.m.	0.54		2	0.58	25	2276	26-jun	10:11 a.m.	33	15.1	30.5	179.1	12726	2330	39650	221	5
19	24-may	05:05 p.m.	0.54	0.50	2	0.58	25	2298	26-jun	10:33 a.m.	33	15.1	30.5	179.1	12630	2312	38140	213	6
20	24-may	05:05 p.m.	0.54		2	0.58	25	2298	22-jun	03:45 p.m.	29	15.1	30.5	179.1	12915	2364	38810	217	6
21	24-may	05:05 p.m.	0.54		2	0.58	25	2298	22-jun	03:49 p.m.	29	15.1	30.5	179.1	12685	2322	39350	220	5
22	24-may	05:05 p.m.	0.54		2	0.58	25	2298	22-jun	03:58 p.m.	29	15.1	30.5	179.1	12952	2371	40750	228	6
23	24-may	05:05 p.m.	0.54		2	0.58	25	2298	22-jun	04:05 p.m.	29	15.1	30.5	179.1	12685	2322	41740	233	6
24	24-may	05:05 p.m.	0.54		2	0.58	25	2298	22-jun	04:09 p.m.	29	15.1	30.5	179.1	12850	2352	37920	212	6
25	24-may	05:15 p.m.	0.54	0.13	2 1/4	0.55	23	2301	22-jun	04:12 p.m.	29	15.1	30.5	179.1	12665	2319	40810	228	5
26	24-may	05:15 p.m.	0.54		2 1/4	0.55	23	2301	26-jun	01:41 p.m.	33	15.1	30.4	179.1	12645	2322	41456	231	6
27	24-may	05:15 p.m.	0.54		2 1/4	0.55	23	2301	26-jun	09:32 a.m.	33	15.1	30.5	179.1	12705	2326	42240	236	6
28	24-may	05:15 p.m.	0.54		2 1/4	0.55	23	2301	22-jun	04:17 p.m.	29	15.1	30.4	179.1	12801	2351	40870	228	6
29	24-may	05:15 p.m.	0.54		2 1/4	0.55	23	2301	26-jun	01:55 p.m.	33	15.1	30.6	179.1	12859	2346	40850	228	6
30	24-may	05:15 p.m.	0.54		2 1/4	0.55	23	2301	26-jun	02:15 p.m.	33	15.0	30.6	176.7	12857	2378	43230	245	5
PROMEDIO						0.57	25	2290						PROMEDIO	12790	2343	41620	232	

TIPOS DE FALLA:

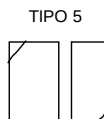
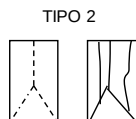
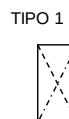


Fecha empaque cemento: 23/03/2012

CEMENTO: ASTM C-1157 TIPO HE
F'cr: 300 kg/cm² (Diseño)

N°	CONCRETO FRESCO								CONCRETO ENDURECIDO										
	FECHA DE COLADO	HORA DE COLADO	A/C (DISEÑO)	± AGUA (Lts)	REV. (plg)	A/C (REAL)	TEMP. (°C)	PESO VOL. (kg/m³)	FECHA DE RUPTURA	HORA DE RUPTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	ALT. (cm)	ÁREA (cm²)	PESO (g)	PESO VOL. (kg/m³)	CARGA (kg)	RESIS- TENCIA (kg/cm²)	TIPO DE FALLA
1	29-may	09:15 a.m.	0.54	0.10	2	0.55	24	2326	27-jun	07:30 a.m.	29	15.1	30.5	179.1	12815	2346	41150	230	6
2	29-may	09:15 a.m.	0.54		2	0.55	24	2326	27-jun	07:37 a.m.	29	15.1	30.6	179.1	12920	2357	45900	256	6
3	29-may	09:15 a.m.	0.54		2	0.55	24	2326	27-jun	07:44 a.m.	29	15.1	30.5	179.1	12850	2352	43760	244	6
4	29-may	09:15 a.m.	0.54		2	0.55	24	2326	27-jun	07:51 a.m.	29	15.2	30.5	181.5	12700	2294	45840	253	5
5	29-may	09:15 a.m.	0.54		2	0.55	24	2326	27-jun	07:58 a.m.	29	15.1	30.5	179.1	12850	2352	46700	261	5
6	29-may	09:15 a.m.	0.54		2	0.55	24	2326	27-jun	08:03 a.m.	29	15.1	30.5	179.1	12842	2351	46500	260	6
7	29-may	10:15 a.m.	0.54	0.10	1 1/2	0.55	25	2324	27-jun	09:11 a.m.	29	15.1	30.5	179.1	12751	2334	47810	267	5
8	29-may	10:15 a.m.	0.54		1 1/2	0.55	25	2324	27-jun	09:21 a.m.	29	15.1	30.4	179.1	12867	2363	44450	248	5
9	29-may	10:15 a.m.	0.54		1 1/2	0.55	25	2324	27-jun	09:29 a.m.	29	15.2	30.5	181.5	12880	2327	46930	259	6
10	29-may	10:15 a.m.	0.54		1 1/2	0.55	25	2324	27-jun	09:37 a.m.	29	15.1	30.5	179.1	12810	2345	46050	257	6
11	29-may	10:15 a.m.	0.54		1 1/2	0.55	25	2324	27-jun	09:45 a.m.	29	15.1	30.6	179.1	12902	2354	46900	262	6
12	29-may	10:15 a.m.	0.54		1 1/2	0.55	25	2324	27-jun	09:53 a.m.	29	15.0	30.5	176.7	12945	2402	47720	270	6
13	29-may	10:35 a.m.	0.54	0.14	1 1/2	0.55	25	2337	27-jun	10:01 a.m.	29	15.1	30.4	179.1	12887	2367	42710	238	2
14	29-may	10:35 a.m.	0.54		1 1/2	0.55	25	2337	27-jun	10:09 a.m.	29	15.2	30.5	181.5	12867	2324	43330	239	5
15	29-may	10:35 a.m.	0.54		1 1/2	0.55	25	2337	27-jun	10:17 a.m.	29	15.1	30.5	179.1	12885	2359	41620	232	6
16	29-may	10:35 a.m.	0.54		1 1/2	0.55	25	2337	27-jun	10:25 a.m.	29	15.1	30.5	179.1	12888	2359	42700	238	5
17	29-may	10:35 a.m.	0.54		1 1/2	0.55	25	2337	27-jun	10:33 a.m.	29	15.1	30.5	179.1	12790	2341	44990	251	6
18	29-may	10:35 a.m.	0.54		1 1/2	0.55	25	2337	27-jun	10:41 a.m.	29	15.1	30.5	179.1	12930	2367	41768	233	6
19	29-may	11:05 a.m.	0.54	0.24	2 1/2	0.56	25	2332	27-jun	10:49 a.m.	29	15.1	30.4	179.1	12700	2333	41360	231	6
20	29-may	11:05 a.m.	0.54		2 1/2	0.56	25	2332	27-jun	10:57 a.m.	29	15.1	30.5	179.1	12746	2333	41300	231	5
21	29-may	11:05 a.m.	0.54		2 1/2	0.56	25	2332	27-jun	11:05 a.m.	29	15.1	30.5	179.1	12755	2335	41320	231	2
22	29-may	11:05 a.m.	0.54		2 1/2	0.56	25	2332	27-jun	11:13 a.m.	29	15.1	30.5	179.1	12780	2340	42090	235	5
23	29-may	11:05 a.m.	0.54		2 1/2	0.56	25	2332	27-jun	11:17 a.m.	29	15.1	30.5	179.1	12730	2330	40530	226	6
24	29-may	11:05 a.m.	0.54		2 1/2	0.56	25	2332	27-jun	11:21 a.m.	29	15.1	30.5	179.1	12763	2336	40240	225	6
25	29-may	11:40 a.m.	0.54	0.00	1 1/2	0.54	25	2336	27-jun	11:25 a.m.	29	15.1	30.5	179.1	12818	2347	45180	252	6
26	29-may	11:40 a.m.	0.54		1 1/2	0.54	25	2336	27-jun	11:29 a.m.	29	15.2	30.5	181.5	12950	2339	47030	259	6
27	29-may	11:40 a.m.	0.54		1 1/2	0.54	25	2336	27-jun	11:33 a.m.	29	15.1	30.5	179.1	12647	2315	44090	246	6
28	29-may	11:40 a.m.	0.54		1 1/2	0.54	25	2336	27-jun	11:37 a.m.	29	15.3	30.6	183.9	13135	2334	47130	256	6
29	29-may	11:40 a.m.	0.54		1 1/2	0.54	25	2336	27-jun	11:41 a.m.	29	15.1	30.4	179.1	12700	2333	45620	255	6
30	29-may	11:40 a.m.	0.54		1 1/2	0.54	25	2336	27-jun	11:45 a.m.	29	15.1	30.5	179.1	12880	2358	45590	255	5
PROMEDIO						0.55	25	2331						PROMEDIO	12833	2344	44277	247	

TIPOS DE FALLA:

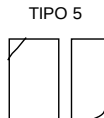
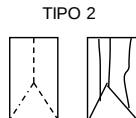


Fecha empaque cemento: 18/04/2012

CEMENTO: ASTM C-1157 TIPO GU
F'cr: 370 kg/cm² (Diseño)

N°	CONCRETO FRESCO								CONCRETO ENDURECIDO										
	FECHA DE COLADO	HORA DE COLADO	A/C (DISEÑO)	± AGUA (Lts)	REV. (plg)	A/C (REAL)	TEMP. (°C)	PESO VOL. (kg/m³)	FECHA DE RUPTURA	HORA DE RUPTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	ALT. (cm)	ÁREA (cm²)	PESO (g)	PESO VOL. (kg/m³)	CARGA (kg)	RESIS-TENCIA (kg/cm²)	TIPO DE FALLA
1	28-may	10:20 a.m.	0.45	0.37	2 1/4	0.47	24	2304	26-jun	11:10 a.m.	29	15.1	30.5	179.1	12918	2365	59770	334	5
2	28-may	10:20 a.m.	0.45		2 1/4	0.47	24	2304	26-jun	11:17 a.m.	29	15.1	30.5	179.1	12905	2362	63700	356	5
3	28-may	10:20 a.m.	0.45		2 1/4	0.47	24	2304	26-jun	11:24 a.m.	29	15.1	30.5	179.1	12865	2355	59290	331	3
4	28-may	10:20 a.m.	0.45		2 1/4	0.47	24	2304	26-jun	11:31 a.m.	29	15.1	30.5	179.1	12800	2343	60270	337	5
5	28-may	10:20 a.m.	0.45		2 1/4	0.47	24	2304	26-jun	11:38 a.m.	29	15.1	30.5	179.1	12925	2366	60100	336	5
6	28-may	10:20 a.m.	0.45		2 1/4	0.47	24	2304	26-jun	11:45 a.m.	29	15.1	30.5	179.1	12785	2340	61110	341	2
7	28-may	10:40 a.m.	0.45	0.33	2	0.47	25	2308	26-jun	11:52 a.m.	29	15.1	30.5	179.1	12735	2331	59850	334	6
8	28-may	10:40 a.m.	0.45		2	0.47	25	2308	26-jun	11:59 a.m.	29	15.1	30.5	179.1	12847	2352	59840	334	6
9	28-may	10:40 a.m.	0.45		2	0.47	25	2308	26-jun	12:06 p.m.	29	15.1	30.5	179.1	12805	2344	62190	347	5
10	28-may	10:40 a.m.	0.45		2	0.47	25	2308	26-jun	12:13 p.m.	29	15.1	30.5	179.1	12850	2352	63830	356	6
11	28-may	10:40 a.m.	0.45		2	0.47	25	2308	26-jun	01:45 p.m.	29	15.1	30.5	179.1	12930	2367	63090	352	5
12	28-may	10:40 a.m.	0.45		2	0.47	25	2308	26-jun	01:51 p.m.	29	15.1	30.4	179.1	12893	2368	59900	334	6
13	28-may	11:05 a.m.	0.45	0.40	2 1/2	0.48	25	2303	26-jun	01:57 p.m.	29	15.1	30.5	179.1	12860	2354	59350	331	6
14	28-may	11:05 a.m.	0.45		2 1/2	0.48	25	2303	26-jun	02:03 p.m.	29	15.1	30.5	179.1	12680	2321	58740	328	6
15	28-may	11:05 a.m.	0.45		2 1/2	0.48	25	2303	26-jun	02:09 p.m.	29	15.1	30.4	179.1	12641	2322	62050	346	6
16	28-may	11:05 a.m.	0.45		2 1/2	0.48	25	2303	26-jun	02:15 p.m.	29	15.1	30.5	179.1	12757	2335	59310	331	6
17	28-may	11:05 a.m.	0.45		2 1/2	0.48	25	2303	26-jun	02:21 p.m.	29	15.1	30.5	179.1	12880	2358	59080	330	6
18	28-may	11:05 a.m.	0.45		2 1/2	0.48	25	2303	26-jun	02:31 p.m.	29	15.1	30.5	179.1	12865	2355	59170	330	3
19	28-may	11:25 a.m.	0.45	0.40	2 1/2	0.48	24	2300	26-jun	02:41 p.m.	29	15.1	30.4	179.1	12817	2354	64820	362	6
20	28-may	11:25 a.m.	0.45		2 1/2	0.48	24	2300	26-jun	02:51 p.m.	29	15.1	30.5	179.1	12803	2344	59540	332	2
21	28-may	11:25 a.m.	0.45		2 1/2	0.48	24	2300	26-jun	03:01 p.m.	29	15.1	30.5	179.1	12878	2358	62420	349	6
22	28-may	11:25 a.m.	0.45		2 1/2	0.48	24	2300	26-jun	03:17 p.m.	29	15.1	30.5	179.1	12867	2355	63310	353	6
23	28-may	11:25 a.m.	0.45		2 1/2	0.48	24	2300	26-jun	04:05 p.m.	29	15.1	30.5	179.1	12849	2352	63290	353	6
24	28-may	11:25 a.m.	0.45		2 1/2	0.48	24	2300	26-jun	04:09 p.m.	29	15.2	30.6	181.5	12775	2300	63980	353	5
25	28-may	11:50 a.m.	0.45	0.56	2 1/2	0.49	24	2302	26-jun	04:13 p.m.	29	15.1	30.5	179.1	12821	2347	60240	336	2
26	28-may	11:50 a.m.	0.45		2 1/2	0.49	24	2302	26-jun	04:17 p.m.	29	15.0	30.4	176.7	12657	2356	58430	331	6
27	28-may	11:50 a.m.	0.45		2 1/2	0.49	24	2302	26-jun	04:21 p.m.	29	15.1	30.6	179.1	12905	2355	60240	336	6
28	28-may	11:50 a.m.	0.45		2 1/2	0.49	24	2302	26-jun	04:25 p.m.	29	15.1	30.5	179.1	12910	2363	58410	326	6
29	28-may	11:50 a.m.	0.45		2 1/2	0.49	24	2302	26-jun	04:29 p.m.	29	15.1	30.6	179.1	12192	2225	63270	353	6
30	28-may	11:50 a.m.	0.45		2 1/2	0.49	24	2302	26-jun	04:33 p.m.	29	15.1	30.5	179.1	12800	2343	59650	333	6
PROMEDIO						0.48	24	2303						PROMEDIO	12807	2345	60941	340	

TIPOS DE FALLA:

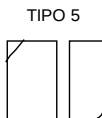
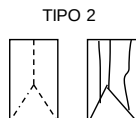


Fecha empaque cemento: 23/03/2012

CEMENTO: ASTM C-1157 TIPO HE
F'cr: 370 kg/cm² (Diseño)

N°	CONCRETO FRESCO								CONCRETO ENDURECIDO										
	FECHA DE COLADO	HORA DE COLADO	A/C (DISEÑO)	± AGUA (Lts)	REV. (plg)	A/C (REAL)	TEMP. (°C)	PESO VOL. (kg/m³)	FECHA DE RUPTURA	HORA DE RUPTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	ALT. (cm)	ÁREA (cm²)	PESO (g)	PESO VOL. (kg/m³)	CARGA (kg)	RESIS- TENCIA (kg/cm²)	TIPO DE FALLA
1	31-may	08:30 a.m.	0.45	0.15	1 3/4	0.46	24	2304	28-jun	02:33 p.m.	28	15.1	30.5	179.1	12856	2353	64500	360	3
2	31-may	08:30 a.m.	0.45		1 3/4	0.46	24	2304	28-jun	02:37 p.m.	28	15.1	30.5	179.1	12940	2369	64700	361	3
3	31-may	08:30 a.m.	0.45		1 3/4	0.46	24	2304	28-jun	02:41 p.m.	28	15.0	30.5	176.7	13003	2413	64220	363	3
4	31-may	08:30 a.m.	0.45		1 3/4	0.46	24	2304	28-jun	02:45 p.m.	28	15.1	30.5	179.1	12810	2345	65340	365	3
5	31-may	08:30 a.m.	0.45		1 3/4	0.46	24	2304	28-jun	02:49 p.m.	28	15.1	30.5	179.1	12734	2331	63230	353	5
6	31-may	08:30 a.m.	0.45		1 3/4	0.46	24	2304	28-jun	02:53 p.m.	28	15.1	30.4	179.1	13019	2391	64680	361	5
7	31-may	08:50 a.m.	0.45	0.20	1 3/4	0.46	25	2322	28-jun	02:57 p.m.	28	15.1	30.5	179.1	12798	2343	62450	349	3
8	31-may	08:50 a.m.	0.45		1 3/4	0.46	25	2322	28-jun	03:01 p.m.	28	15.2	30.4	181.5	12812	2322	60510	333	3
9	31-may	08:50 a.m.	0.45		1 3/4	0.46	25	2322	28-jun	03:05 p.m.	28	15.1	30.5	179.1	12844	2351	62690	350	3
10	31-may	08:50 a.m.	0.45		1 3/4	0.46	25	2322	28-jun	03:09 p.m.	28	15.1	30.5	179.1	12759	2336	63330	354	3
11	31-may	08:50 a.m.	0.45		1 3/4	0.46	25	2322	28-jun	03:13 p.m.	28	15.1	30.5	179.1	13001	2380	62280	348	3
12	31-may	08:50 a.m.	0.45		1 3/4	0.46	25	2322	28-jun	03:17 p.m.	28	15.1	30.5	179.1	12842	2351	59530	332	3
13	31-may	09:05 a.m.	0.45	0.34	2	0.47	25	2301	28-jun	03:21 p.m.	28	15.1	30.5	179.1	12825	2348	65750	367	3
14	31-may	09:05 a.m.	0.45		2	0.47	25	2301	28-jun	03:29 p.m.	28	15.1	30.5	179.1	12865	2355	61010	341	3
15	31-may	09:05 a.m.	0.45		2	0.47	25	2301	28-jun	03:37 p.m.	28	15.1	30.5	179.1	12820	2347	63660	355	5
16	31-may	09:05 a.m.	0.45		2	0.47	25	2301	28-jun	03:45 p.m.	28	15.1	30.6	179.1	13110	2392	66540	372	5
17	31-may	09:05 a.m.	0.45		2	0.47	25	2301	28-jun	03:53 p.m.	28	15.1	30.5	179.1	12990	2378	58240	325	3
18	31-may	09:05 a.m.	0.45		2	0.47	25	2301	28-jun	04:01 p.m.	28	15.1	30.5	179.1	12920	2365	58770	328	5
19	31-may	09:25 a.m.	0.45	0.27	2 1/2	0.47	25	2305	28-jun	04:09 p.m.	28	15.0	30.4	176.7	12768	2377	57250	324	3
20	31-may	09:25 a.m.	0.45		2 1/2	0.47	25	2305	28-jun	04:17 p.m.	28	15.1	30.5	179.1	12902	2362	66910	374	3
21	31-may	09:25 a.m.	0.45		2 1/2	0.47	25	2305	28-jun	04:23 p.m.	28	15.1	30.5	179.1	12865	2355	64630	361	3
22	31-may	09:25 a.m.	0.45		2 1/2	0.47	25	2305	28-jun	04:29 p.m.	28	15.1	30.5	179.1	12777	2339	59140	330	3
23	31-may	09:25 a.m.	0.45		2 1/2	0.47	25	2305	28-jun	04:35 p.m.	28	15.1	30.5	179.1	12875	2357	58910	329	3
24	31-may	09:25 a.m.	0.45		2 1/2	0.47	25	2305	28-jun	04:41 p.m.	28	15.1	30.5	179.1	12925	2366	65260	364	3
25	31-may	09:53 a.m.	0.45	0.18	2	0.46	25	2307	28-jun	04:47 p.m.	28	15.1	30.5	179.1	12865	2355	64000	357	5
26	31-may	09:53 a.m.	0.45		2	0.46	25	2307	28-jun	04:53 p.m.	28	15.1	30.5	179.1	12966	2374	62160	347	3
27	31-may	09:53 a.m.	0.45		2	0.46	25	2307	28-jun	04:59 p.m.	28	15.1	30.5	179.1	12868	2356	62690	350	3
28	31-may	09:53 a.m.	0.45		2	0.46	25	2307	28-jun	05:07 p.m.	28	15.0	30.5	176.7	12845	2383	62110	352	3
29	31-may	09:53 a.m.	0.45		2	0.46	25	2307	28-jun	05:15 p.m.	28	15.1	30.4	179.1	12913	2372	67100	375	3
30	31-may	09:53 a.m.	0.45		2	0.46	25	2307	28-jun	05:23 p.m.	28	15.1	30.5	179.1	12828	2348	65580	366	3
				PROMEDIO		0.46	25	2308					PROMEDIO	12878	2360	62906	352		

TIPOS DE FALLA:



Fecha empaque cemento: 18/04/2012

ANEXO 4.2 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LOS ESPECÍMENES DE MORTERO (ASTM C-109)

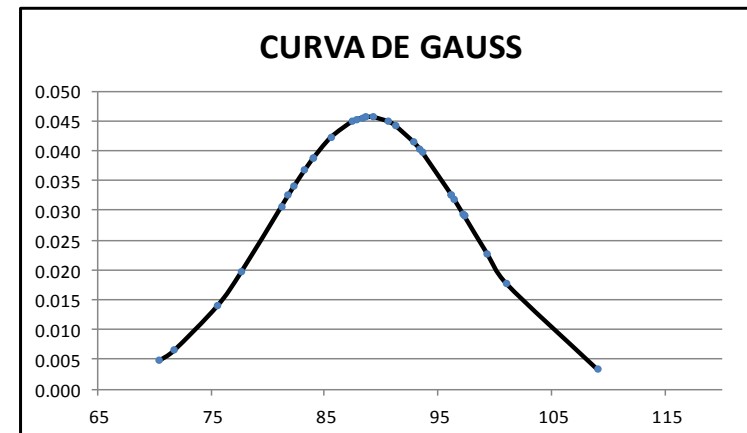
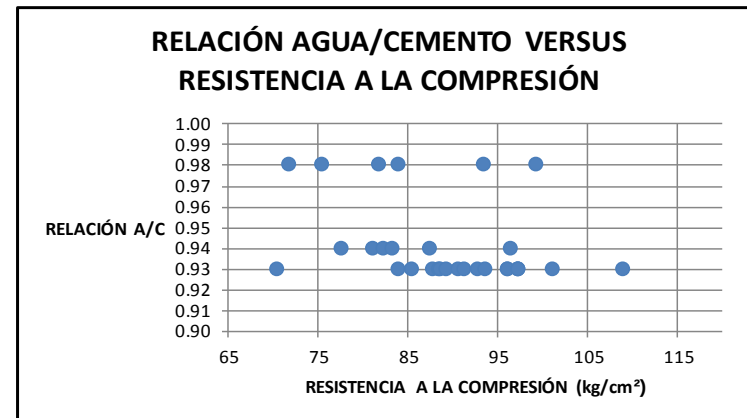
CUBOS DE MORTERO CON CEMENTO ASTM C-1157 TIPO GU							
N°	FECHA DE EMPAQUE DEL CEMENTO	FECHA DE ELABORACIÓN DE CUBOS	FECHA DE RUPTURA DE CUBOS	PESO CUBOS (gramos)	CARGA (lbf)	RESISTENCIA (psi)	PROMEDIO (psi)
1	23/03/2012	28/05/2012	26/06/2012	275.4	15930	3980	4080
2	23/03/2012	28/05/2012	26/06/2012	279.6	18940	4740	
3	23/03/2012	28/05/2012	26/06/2012	276.6	17620	4410	
4	23/03/2012	28/05/2012	26/06/2012	274.6	13690	3420	
5	23/03/2012	28/05/2012	26/06/2012	275.5	15270	3820	
6	23/03/2012	28/05/2012	26/06/2012	277.7	16370	4090	

CUBOS DE MORTERO CON CEMENTO ASTM C-1157 TIPO HE							
N°	FECHA DE EMPAQUE DEL CEMENTO	FECHA DE ELABORACIÓN DE CUBOS	FECHA DE RUPTURA DE CUBOS	PESO CUBOS (gramos)	CARGA (lbf)	RESISTENCIA (psi)	PROMEDIO (psi)
1	23/03/2012	30/05/2012	27/06/2012	281.9	15410	3850	3870
2	23/03/2012	30/05/2012	27/06/2012	283.0	14910	3730	
3	23/03/2012	30/05/2012	27/06/2012	284.1	15180	3800	
4	23/03/2012	30/05/2012	27/06/2012	283.0	16350	4090	
5	23/03/2012	30/05/2012	27/06/2012	282.9	15430	3860	
6	23/03/2012	30/05/2012	27/06/2012	284.2	15640	3910	
7	18/04/2012	30/05/2012	27/06/2012	283.6	16570	4140	4140
8	18/04/2012	30/05/2012	27/06/2012	283.9	16420	4110	
9	18/04/2012	30/05/2012	27/06/2012	283.6	15850	3960	
10	18/04/2012	30/05/2012	27/06/2012	282.4	16720	4180	
11	18/04/2012	30/05/2012	27/06/2012	285.8	17430	4360	
12	18/04/2012	30/05/2012	27/06/2012	283.2	16340	4090	

ANEXO 5.1 GRÁFICOS DE RESULTADOS DE LAS DOSIFICACIONES DEL CONCRETO

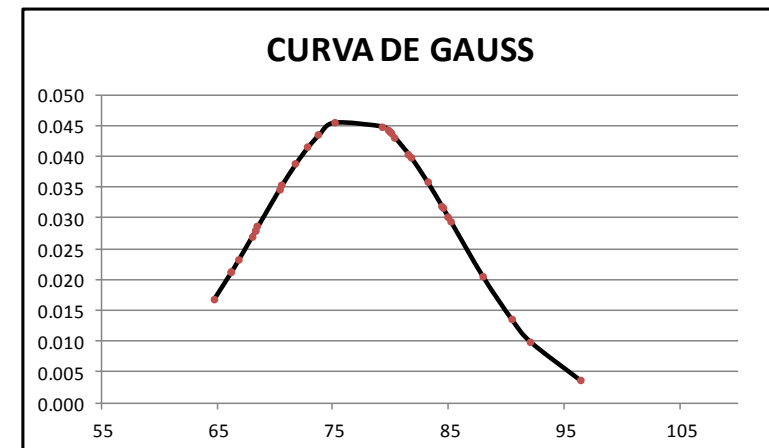
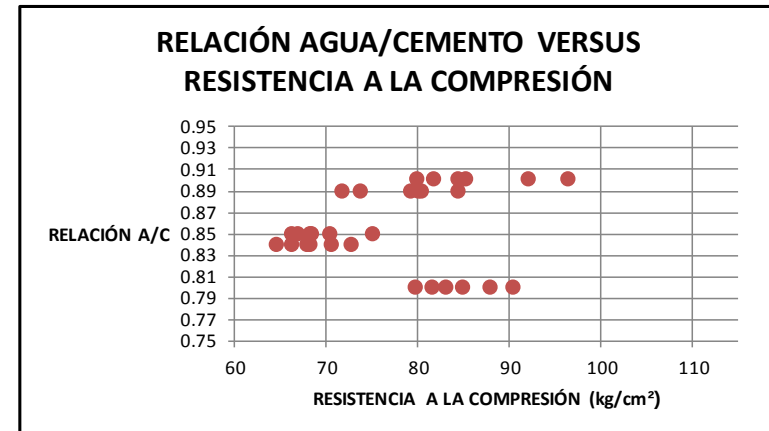
CEMENTO: ASTM C-1157 TIPO GU
F'cr: 120 kg/cm² (Diseño)

Nº	A/C (REAL)	RESISTENCIA (kg/cm ²)	CUMPLE CON ACI 214 (2S)	CUMPLE CON ACI 214 (3S)
15	0.93	70	SOSPECHOSO	CUMPLE
20	0.98	72	CUMPLE	CUMPLE
24	0.98	76	CUMPLE	CUMPLE
30	0.94	78	CUMPLE	CUMPLE
27	0.94	81	CUMPLE	CUMPLE
23	0.98	82	CUMPLE	CUMPLE
28	0.94	82	CUMPLE	CUMPLE
26	0.94	83	CUMPLE	CUMPLE
16	0.93	84	CUMPLE	CUMPLE
19	0.98	84	CUMPLE	CUMPLE
17	0.93	86	CUMPLE	CUMPLE
29	0.94	87	CUMPLE	CUMPLE
7	0.93	88	CUMPLE	CUMPLE
4	0.93	88	CUMPLE	CUMPLE
5	0.93	89	CUMPLE	CUMPLE
3	0.93	89	CUMPLE	CUMPLE
8	0.93	91	CUMPLE	CUMPLE
13	0.93	91	CUMPLE	CUMPLE
18	0.93	93	CUMPLE	CUMPLE
22	0.98	93	CUMPLE	CUMPLE
9	0.93	94	CUMPLE	CUMPLE
12	0.93	96	CUMPLE	CUMPLE
6	0.93	96	CUMPLE	CUMPLE
25	0.94	96	CUMPLE	CUMPLE
1	0.93	97	CUMPLE	CUMPLE
11	0.93	97	CUMPLE	CUMPLE
10	0.93	97	CUMPLE	CUMPLE
21	0.98	99	CUMPLE	CUMPLE
2	0.93	101	CUMPLE	CUMPLE
14	0.93	109	SOSPECHOSO	CUMPLE
PROMEDIO :		89		
VARIANZA:		73.87		
DESVIACIÓN ESTANDAR:		8.74		
C.V. (%)		9.82		



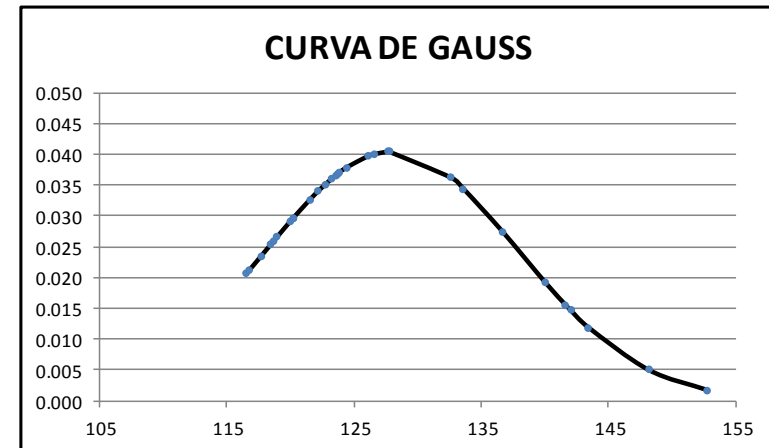
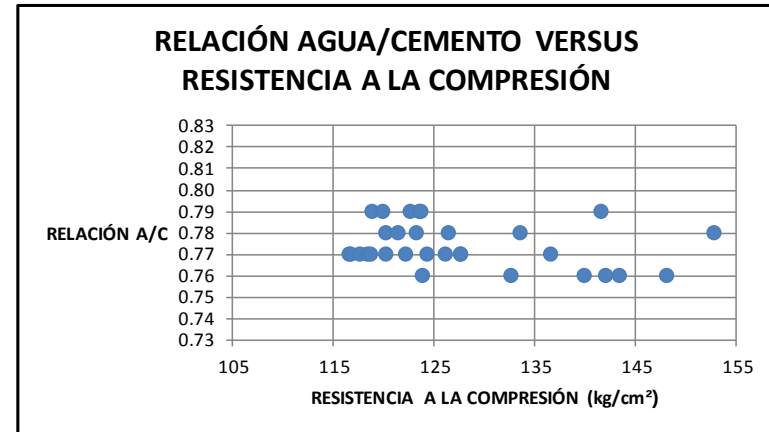
CEMENTO: ASTM C-1157 TIPO HE
F'cr: 120 kg/cm² (Diseño)

N°	A/C (REAL)	RESISTENCIA (kg/cm ²)	CUMPLE CON ACI 214 (2S)	CUMPLE CON ACI 214 (3S)
24	0.84	65	CUMPLE	CUMPLE
23	0.84	66	CUMPLE	CUMPLE
26	0.85	66	CUMPLE	CUMPLE
30	0.85	67	CUMPLE	CUMPLE
21	0.84	68	CUMPLE	CUMPLE
29	0.85	68	CUMPLE	CUMPLE
19	0.84	68	CUMPLE	CUMPLE
25	0.85	69	CUMPLE	CUMPLE
28	0.85	70	CUMPLE	CUMPLE
22	0.84	71	CUMPLE	CUMPLE
16	0.89	72	CUMPLE	CUMPLE
20	0.84	73	CUMPLE	CUMPLE
17	0.89	74	CUMPLE	CUMPLE
27	0.85	75	CUMPLE	CUMPLE
14	0.89	79	CUMPLE	CUMPLE
2	0.80	80	CUMPLE	CUMPLE
12	0.90	80	CUMPLE	CUMPLE
18	0.89	80	CUMPLE	CUMPLE
13	0.89	80	CUMPLE	CUMPLE
1	0.80	82	CUMPLE	CUMPLE
11	0.90	82	CUMPLE	CUMPLE
5	0.80	83	CUMPLE	CUMPLE
15	0.89	84	CUMPLE	CUMPLE
7	0.90	85	CUMPLE	CUMPLE
3	0.80	85	CUMPLE	CUMPLE
8	0.90	85	CUMPLE	CUMPLE
6	0.80	88	CUMPLE	CUMPLE
4	0.80	91	CUMPLE	CUMPLE
10	0.90	92	CUMPLE	CUMPLE
9	0.90	96	SOSPECHOSO	CUMPLE
PROMEDIO :		77		
VARIANZA:		71.17		
DESVIACIÓN ESTANDAR:		8.58		
C.V. (%)		11.14		



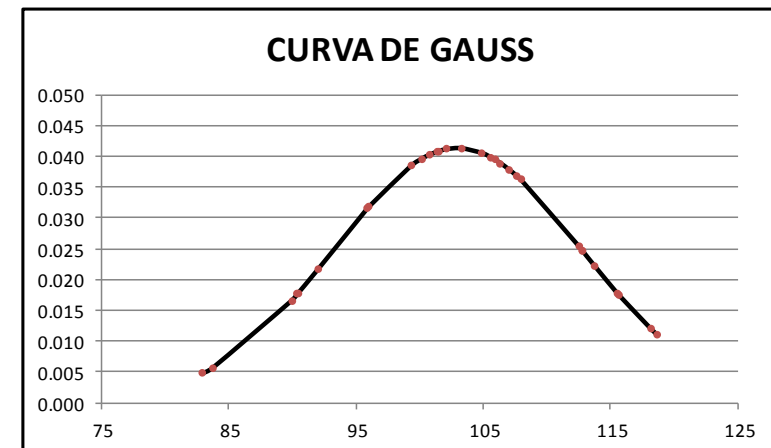
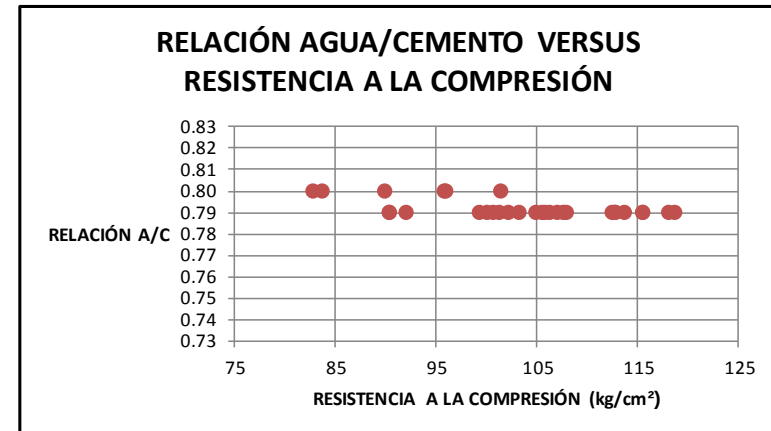
CEMENTO: ASTM C-1157 TIPO GU
F'cr: 160 kg/cm² (Diseño)

Nº	A/C (REAL)	RESISTENCIA (kg/cm ²)	CUMPLE CON ACI 214 (2S)	CUMPLE CON ACI 214 (3S)
6	0.77	117	CUMPLE	CUMPLE
1	0.77	117	CUMPLE	CUMPLE
4	0.77	118	CUMPLE	CUMPLE
17	0.77	118	CUMPLE	CUMPLE
5	0.77	119	CUMPLE	CUMPLE
24	0.79	119	CUMPLE	CUMPLE
23	0.79	120	CUMPLE	CUMPLE
28	0.78	120	CUMPLE	CUMPLE
3	0.77	120	CUMPLE	CUMPLE
30	0.78	122	CUMPLE	CUMPLE
2	0.77	122	CUMPLE	CUMPLE
21	0.79	123	CUMPLE	CUMPLE
25	0.78	123	CUMPLE	CUMPLE
20	0.79	124	CUMPLE	CUMPLE
19	0.79	124	CUMPLE	CUMPLE
11	0.76	124	CUMPLE	CUMPLE
14	0.77	124	CUMPLE	CUMPLE
16	0.77	126	CUMPLE	CUMPLE
26	0.78	127	CUMPLE	CUMPLE
18	0.77	128	CUMPLE	CUMPLE
13	0.77	128	CUMPLE	CUMPLE
10	0.76	133	CUMPLE	CUMPLE
29	0.78	134	CUMPLE	CUMPLE
15	0.77	137	CUMPLE	CUMPLE
9	0.76	140	CUMPLE	CUMPLE
22	0.79	142	CUMPLE	CUMPLE
12	0.76	142	CUMPLE	CUMPLE
7	0.76	143	CUMPLE	CUMPLE
8	0.76	148	SOSPECHOSO	CUMPLE
27	0.78	153	SOSPECHOSO	CUMPLE
PROMEDIO :		128		
VARIANZA:		94.19		
DESVIACIÓN ESTANDAR:		9.87		
C.V. (%)		7.71		



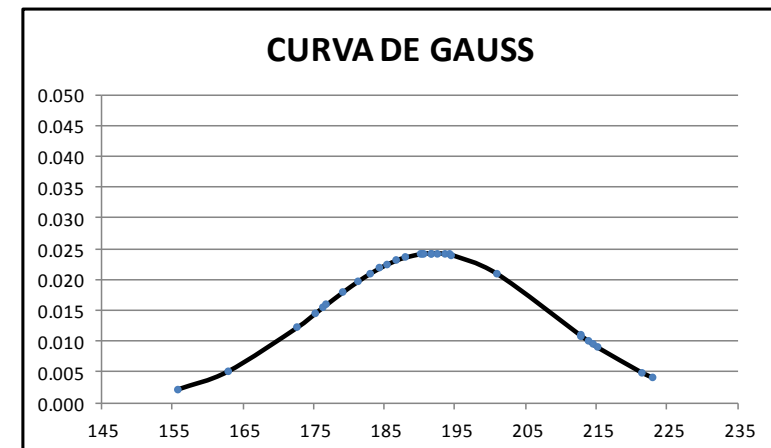
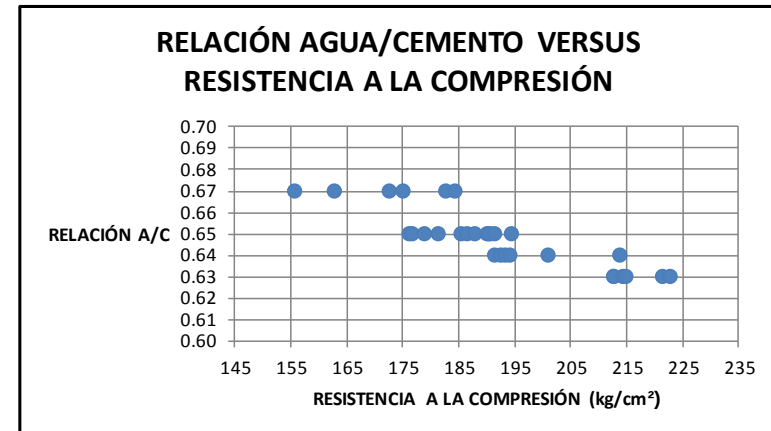
CEMENTO: ASTM C-1157 TIPO HE
F'cr: 160 kg/cm² (Diseño)

N°	A/C (REAL)	RESISTENCIA (kg/cm ²)	CUMPLE CON ACI 214 (2S)	CUMPLE CON ACI 214 (3S)
5	0.80	83	SOSPECHOSO	CUMPLE
6	0.80	84	CUMPLE	CUMPLE
2	0.80	90	CUMPLE	CUMPLE
12	0.79	90	CUMPLE	CUMPLE
22	0.79	90	CUMPLE	CUMPLE
11	0.79	92	CUMPLE	CUMPLE
4	0.80	96	CUMPLE	CUMPLE
1	0.80	96	CUMPLE	CUMPLE
28	0.79	99	CUMPLE	CUMPLE
17	0.79	100	CUMPLE	CUMPLE
30	0.79	101	CUMPLE	CUMPLE
29	0.79	101	CUMPLE	CUMPLE
3	0.80	102	CUMPLE	CUMPLE
15	0.79	102	CUMPLE	CUMPLE
27	0.79	103	CUMPLE	CUMPLE
8	0.79	105	CUMPLE	CUMPLE
26	0.79	106	CUMPLE	CUMPLE
24	0.79	106	CUMPLE	CUMPLE
10	0.79	106	CUMPLE	CUMPLE
16	0.79	107	CUMPLE	CUMPLE
19	0.79	108	CUMPLE	CUMPLE
25	0.79	108	CUMPLE	CUMPLE
7	0.79	113	CUMPLE	CUMPLE
14	0.79	113	CUMPLE	CUMPLE
21	0.79	113	CUMPLE	CUMPLE
20	0.79	114	CUMPLE	CUMPLE
23	0.79	116	CUMPLE	CUMPLE
18	0.79	116	CUMPLE	CUMPLE
9	0.79	118	CUMPLE	CUMPLE
13	0.79	119	CUMPLE	CUMPLE
PROMEDIO :		103		
VARIANZA:		90.20		
DESVIACIÓN ESTANDAR:		9.65		
C.V. (%)		9.37		



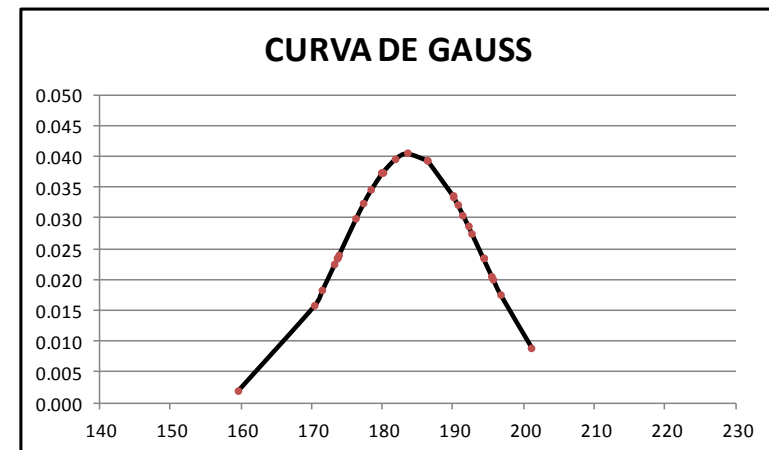
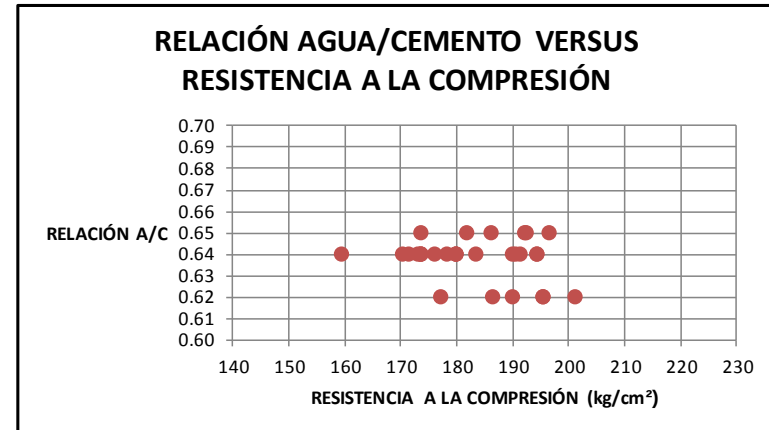
CEMENTO: ASTM C-1157 TIPO GU
F'cr: 230 kg/cm² (Diseño)

Nº	A/C (REAL)	RESISTENCIA (kg/cm ²)	CUMPLE CON ACI 214 (2S)	CUMPLE CON ACI 214 (3S)
3	0.67	156	SOSPECHOSO	CUMPLE
4	0.67	163	CUMPLE	CUMPLE
5	0.67	173	CUMPLE	CUMPLE
1	0.67	175	CUMPLE	CUMPLE
25	0.65	176	CUMPLE	CUMPLE
8	0.65	177	CUMPLE	CUMPLE
28	0.65	179	CUMPLE	CUMPLE
29	0.65	181	CUMPLE	CUMPLE
2	0.67	183	CUMPLE	CUMPLE
6	0.67	184	CUMPLE	CUMPLE
26	0.65	185	CUMPLE	CUMPLE
7	0.65	187	CUMPLE	CUMPLE
11	0.65	188	CUMPLE	CUMPLE
10	0.65	190	CUMPLE	CUMPLE
12	0.65	190	CUMPLE	CUMPLE
30	0.65	191	CUMPLE	CUMPLE
9	0.65	192	CUMPLE	CUMPLE
14	0.64	192	CUMPLE	CUMPLE
15	0.64	193	CUMPLE	CUMPLE
18	0.64	194	CUMPLE	CUMPLE
16	0.64	194	CUMPLE	CUMPLE
27	0.65	195	CUMPLE	CUMPLE
13	0.64	201	CUMPLE	CUMPLE
22	0.63	213	CUMPLE	CUMPLE
23	0.63	213	CUMPLE	CUMPLE
17	0.64	214	CUMPLE	CUMPLE
20	0.63	214	CUMPLE	CUMPLE
24	0.63	215	CUMPLE	CUMPLE
19	0.63	222	CUMPLE	CUMPLE
21	0.63	223	CUMPLE	CUMPLE
PROMEDIO :		192		
VARIANZA:		261.43		
DESVIACIÓN ESTANDAR:		16.44		
C.V. (%)		8.56		



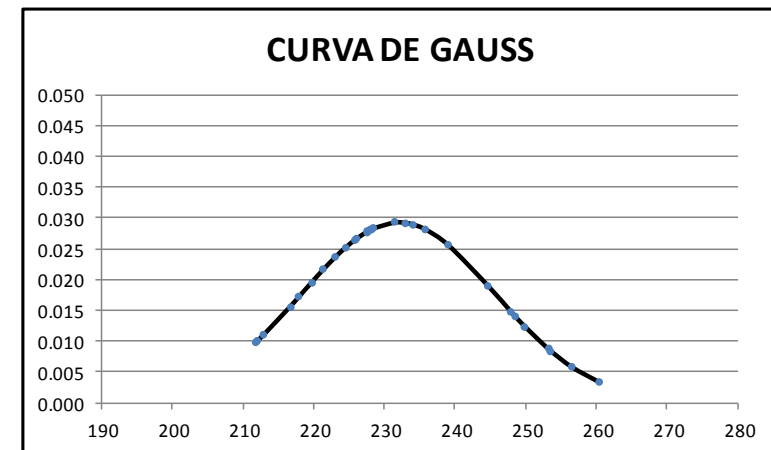
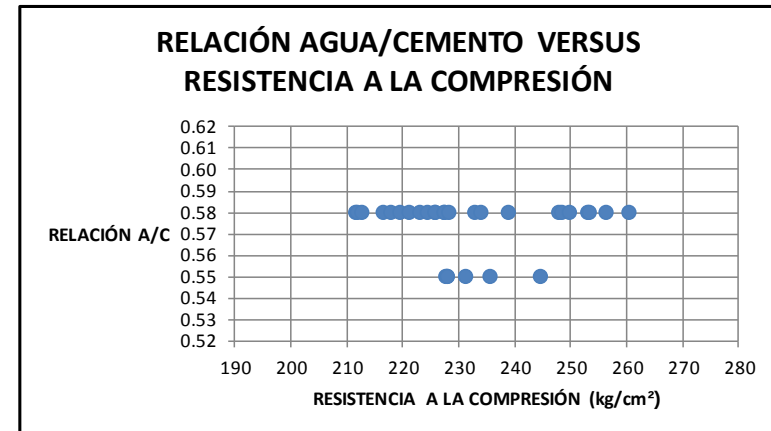
CEMENTO: ASTM C-1157 TIPO HE
F'cr: 230 kg/cm² (Diseño)

Nº	A/C (REAL)	RESISTENCIA (kg/cm ²)	CUMPLE CON ACI 214 (2S)	CUMPLE CON ACI 214 (3S)
26	0.64	160	SOSPECHOSO	CUMPLE
11	0.64	170	CUMPLE	CUMPLE
20	0.64	172	CUMPLE	CUMPLE
21	0.64	173	CUMPLE	CUMPLE
17	0.65	174	CUMPLE	CUMPLE
27	0.64	174	CUMPLE	CUMPLE
28	0.64	174	CUMPLE	CUMPLE
19	0.64	174	CUMPLE	CUMPLE
24	0.64	176	CUMPLE	CUMPLE
4	0.62	177	CUMPLE	CUMPLE
12	0.64	178	CUMPLE	CUMPLE
23	0.64	180	CUMPLE	CUMPLE
29	0.64	180	CUMPLE	CUMPLE
7	0.64	180	CUMPLE	CUMPLE
16	0.65	182	CUMPLE	CUMPLE
25	0.64	184	CUMPLE	CUMPLE
18	0.65	186	CUMPLE	CUMPLE
2	0.62	186	CUMPLE	CUMPLE
8	0.64	190	CUMPLE	CUMPLE
1	0.62	190	CUMPLE	CUMPLE
22	0.64	191	CUMPLE	CUMPLE
30	0.64	191	CUMPLE	CUMPLE
14	0.65	192	CUMPLE	CUMPLE
13	0.65	193	CUMPLE	CUMPLE
9	0.64	194	CUMPLE	CUMPLE
10	0.64	194	CUMPLE	CUMPLE
3	0.62	196	CUMPLE	CUMPLE
5	0.62	196	CUMPLE	CUMPLE
15	0.65	197	CUMPLE	CUMPLE
6	0.62	201	CUMPLE	CUMPLE
PROMEDIO :		184		
VARIANZA:		94.17		
DESVIACIÓN ESTANDAR:		9.86		
C.V. (%)		5.36		



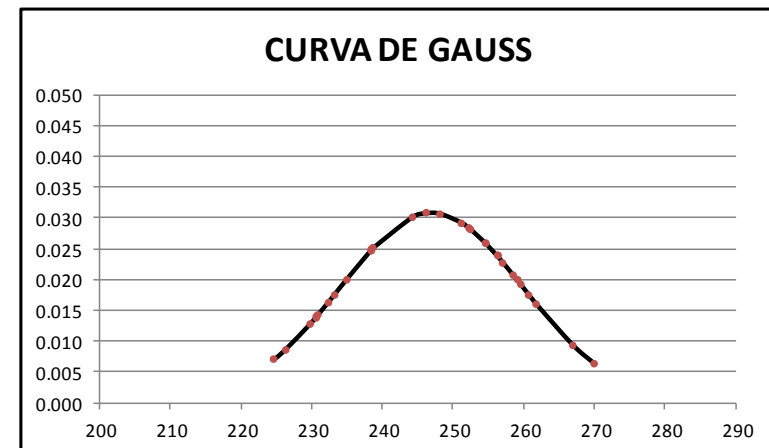
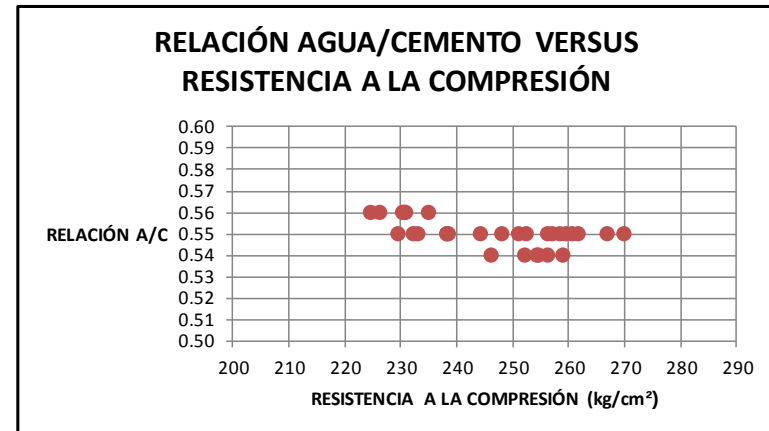
CEMENTO: ASTM C-1157 TIPO GU
F'cr: 300 kg/cm² (Diseño)

Nº	A/C (REAL)	RESISTENCIA (kg/cm ²)	CUMPLE CON ACI 214 (2S)	CUMPLE CON ACI 214 (3S)
24	0.58	212	CUMPLE	CUMPLE
2	0.58	212	CUMPLE	CUMPLE
19	0.58	213	CUMPLE	CUMPLE
20	0.58	217	CUMPLE	CUMPLE
15	0.58	218	CUMPLE	CUMPLE
21	0.58	220	CUMPLE	CUMPLE
18	0.58	221	CUMPLE	CUMPLE
3	0.58	223	CUMPLE	CUMPLE
5	0.58	225	CUMPLE	CUMPLE
10	0.58	226	CUMPLE	CUMPLE
1	0.58	226	CUMPLE	CUMPLE
22	0.58	228	CUMPLE	CUMPLE
6	0.58	228	CUMPLE	CUMPLE
25	0.55	228	CUMPLE	CUMPLE
29	0.55	228	CUMPLE	CUMPLE
28	0.55	228	CUMPLE	CUMPLE
4	0.58	228	CUMPLE	CUMPLE
26	0.55	231	CUMPLE	CUMPLE
23	0.58	233	CUMPLE	CUMPLE
16	0.58	234	CUMPLE	CUMPLE
27	0.55	236	CUMPLE	CUMPLE
13	0.58	239	CUMPLE	CUMPLE
30	0.55	245	CUMPLE	CUMPLE
17	0.58	248	CUMPLE	CUMPLE
14	0.58	249	CUMPLE	CUMPLE
11	0.58	250	CUMPLE	CUMPLE
12	0.58	253	CUMPLE	CUMPLE
8	0.58	254	CUMPLE	CUMPLE
9	0.58	257	CUMPLE	CUMPLE
7	0.58	260	SOSPECHOSO	CUMPLE
PROMEDIO :		232		
VARIANZA:		179.95		
DESVIACIÓN ESTANDAR:		13.64		
C.V. (%)		5.88		



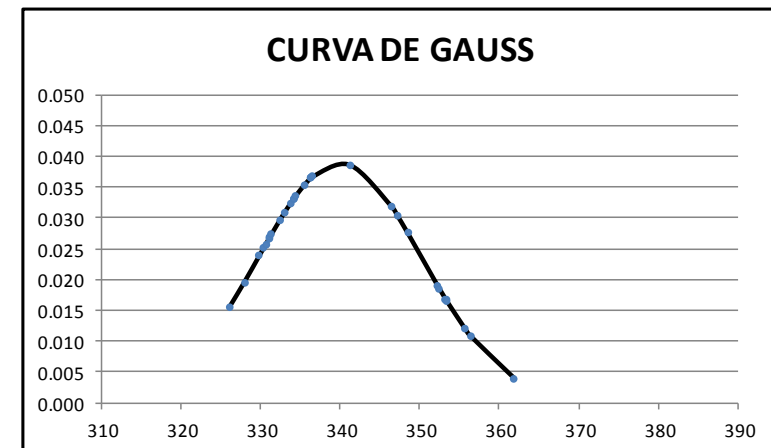
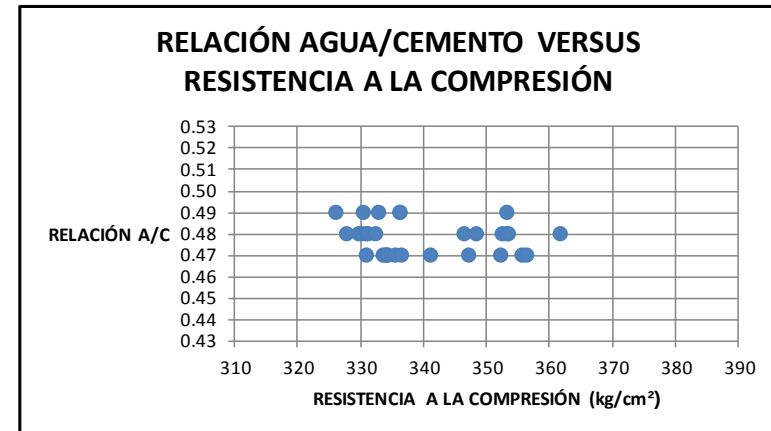
CEMENTO: ASTM C-1157 TIPO HE
F'cr: 300 kg/cm² (Diseño)

Nº	A/C (REAL)	RESISTENCIA (kg/cm ²)	CUMPLE CON ACI 214 (2S)	CUMPLE CON ACI 214 (3S)
24	0.56	225	CUMPLE	CUMPLE
23	0.56	226	CUMPLE	CUMPLE
1	0.55	230	CUMPLE	CUMPLE
20	0.56	231	CUMPLE	CUMPLE
21	0.56	231	CUMPLE	CUMPLE
19	0.56	231	CUMPLE	CUMPLE
15	0.55	232	CUMPLE	CUMPLE
18	0.55	233	CUMPLE	CUMPLE
22	0.56	235	CUMPLE	CUMPLE
16	0.55	238	CUMPLE	CUMPLE
13	0.55	238	CUMPLE	CUMPLE
14	0.55	239	CUMPLE	CUMPLE
3	0.55	244	CUMPLE	CUMPLE
27	0.54	246	CUMPLE	CUMPLE
8	0.55	248	CUMPLE	CUMPLE
17	0.55	251	CUMPLE	CUMPLE
25	0.54	252	CUMPLE	CUMPLE
4	0.55	253	CUMPLE	CUMPLE
30	0.54	255	CUMPLE	CUMPLE
29	0.54	255	CUMPLE	CUMPLE
2	0.55	256	CUMPLE	CUMPLE
28	0.54	256	CUMPLE	CUMPLE
10	0.55	257	CUMPLE	CUMPLE
9	0.55	259	CUMPLE	CUMPLE
26	0.54	259	CUMPLE	CUMPLE
6	0.55	260	CUMPLE	CUMPLE
5	0.55	261	CUMPLE	CUMPLE
11	0.55	262	CUMPLE	CUMPLE
7	0.55	267	CUMPLE	CUMPLE
12	0.55	270	CUMPLE	CUMPLE
PROMEDIO :		247		
VARIANZA:		162.33		
DESVIACIÓN ESTANDAR:		12.95		
C.V. (%)		5.24		



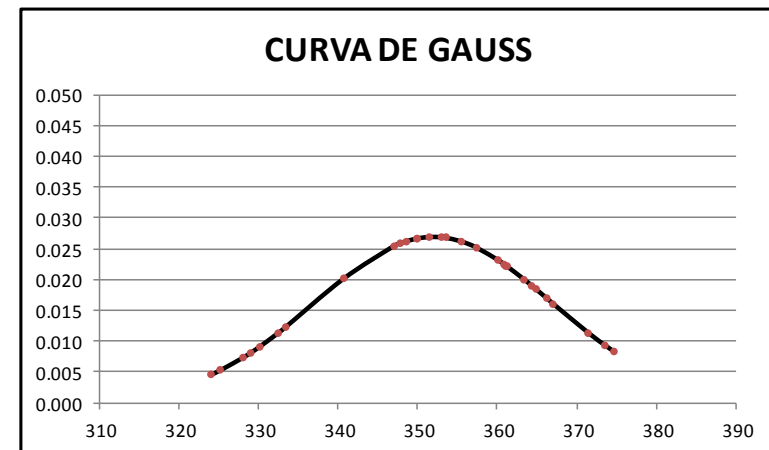
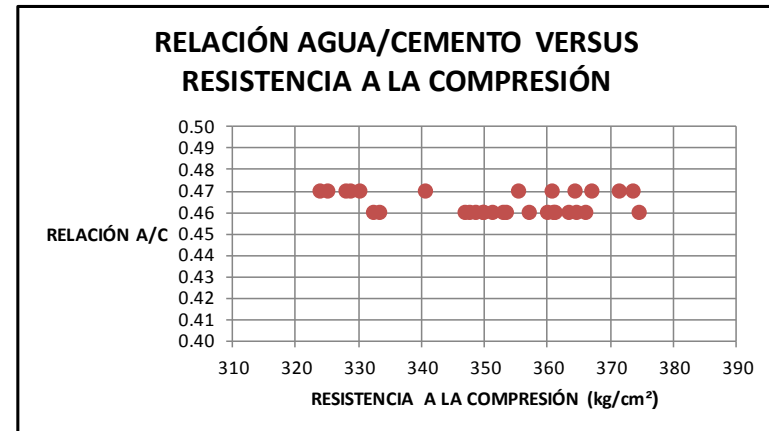
CEMENTO: ASTM C-1157 TIPO GU
F'cr: 370 kg/cm² (Diseño)

Nº	A/C (REAL)	RESISTENCIA (kg/cm ²)	CUMPLE CON ACI 214 (2S)	CUMPLE CON ACI 214 (3S)
28	0.49	326	CUMPLE	CUMPLE
14	0.48	328	CUMPLE	CUMPLE
17	0.48	330	CUMPLE	CUMPLE
18	0.48	330	CUMPLE	CUMPLE
26	0.49	331	CUMPLE	CUMPLE
3	0.47	331	CUMPLE	CUMPLE
16	0.48	331	CUMPLE	CUMPLE
13	0.48	331	CUMPLE	CUMPLE
20	0.48	332	CUMPLE	CUMPLE
30	0.49	333	CUMPLE	CUMPLE
1	0.47	334	CUMPLE	CUMPLE
8	0.47	334	CUMPLE	CUMPLE
7	0.47	334	CUMPLE	CUMPLE
12	0.47	334	CUMPLE	CUMPLE
5	0.47	336	CUMPLE	CUMPLE
25	0.49	336	CUMPLE	CUMPLE
27	0.49	336	CUMPLE	CUMPLE
4	0.47	337	CUMPLE	CUMPLE
6	0.47	341	CUMPLE	CUMPLE
15	0.48	346	CUMPLE	CUMPLE
9	0.47	347	CUMPLE	CUMPLE
21	0.48	349	CUMPLE	CUMPLE
11	0.47	352	CUMPLE	CUMPLE
24	0.48	353	CUMPLE	CUMPLE
29	0.49	353	CUMPLE	CUMPLE
23	0.48	353	CUMPLE	CUMPLE
22	0.48	353	CUMPLE	CUMPLE
2	0.47	356	CUMPLE	CUMPLE
10	0.47	356	CUMPLE	CUMPLE
19	0.48	362	SOSPECHOSO	CUMPLE
PROMEDIO :		340		
VARIANZA:		101.92		
DESVIACIÓN ESTANDAR:		10.26		
C.V. (%)		3.02		

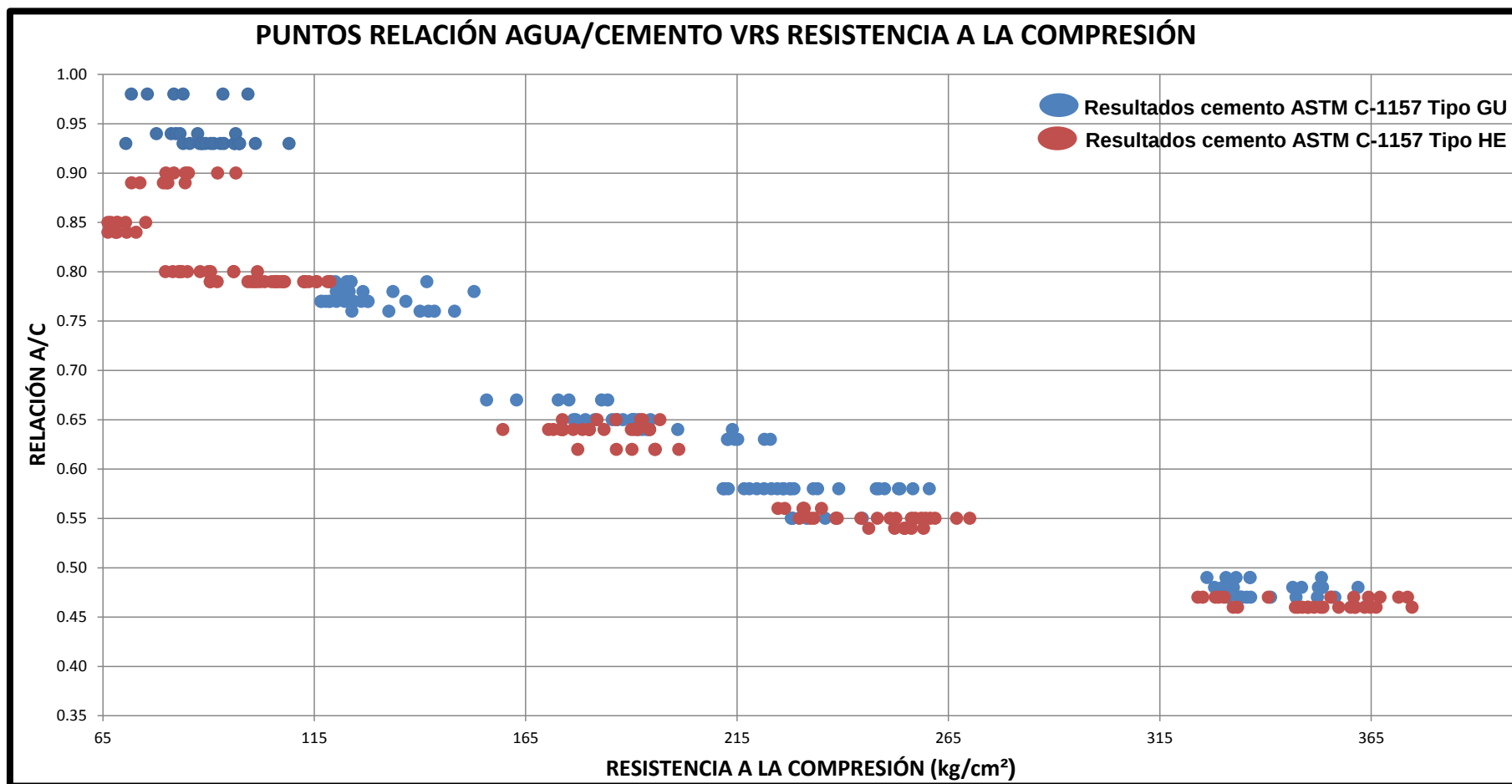


CEMENTO: ASTM C-1157 TIPO HE
F'cr: 370 kg/cm² (Diseño)

Nº	A/C (REAL)	RESISTENCIA (kg/cm ²)	CUMPLE CON ACI 214 (2S)	CUMPLE CON ACI 214 (3S)
19	0.47	324	CUMPLE	CUMPLE
17	0.47	325	CUMPLE	CUMPLE
18	0.47	328	CUMPLE	CUMPLE
23	0.47	329	CUMPLE	CUMPLE
22	0.47	330	CUMPLE	CUMPLE
12	0.46	332	CUMPLE	CUMPLE
8	0.46	333	CUMPLE	CUMPLE
14	0.47	341	CUMPLE	CUMPLE
26	0.46	347	CUMPLE	CUMPLE
11	0.46	348	CUMPLE	CUMPLE
7	0.46	349	CUMPLE	CUMPLE
9	0.46	350	CUMPLE	CUMPLE
27	0.46	350	CUMPLE	CUMPLE
28	0.46	352	CUMPLE	CUMPLE
5	0.46	353	CUMPLE	CUMPLE
10	0.46	354	CUMPLE	CUMPLE
15	0.47	355	CUMPLE	CUMPLE
25	0.46	357	CUMPLE	CUMPLE
1	0.46	360	CUMPLE	CUMPLE
21	0.47	361	CUMPLE	CUMPLE
6	0.46	361	CUMPLE	CUMPLE
2	0.46	361	CUMPLE	CUMPLE
3	0.46	363	CUMPLE	CUMPLE
24	0.47	364	CUMPLE	CUMPLE
4	0.46	365	CUMPLE	CUMPLE
30	0.46	366	CUMPLE	CUMPLE
13	0.47	367	CUMPLE	CUMPLE
16	0.47	372	CUMPLE	CUMPLE
20	0.47	374	CUMPLE	CUMPLE
29	0.46	375	CUMPLE	CUMPLE
PROMEDIO :		352		
VARIANZA:		212.61		
DESVIACIÓN ESTANDAR:		14.82		
C.V. (%)		4.21		



ANEXO 5.2 GRÁFICOS DE RELACIÓN A/C VRS RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN



**GRÁFICO RELACIÓN AGUA/CEMENTO VRS RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
(REGRESIÓN POTENCIAL)**

