

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**



**Influencia de la arena triturada, como agregado fino, en las
propiedades en estado fresco y endurecido, de mezclas de concreto
hidráulico**

PRESENTADO POR:

JORGE ALBERTO RUGAMAS DINARTE

PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA, OCTUBRE DE 2012

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR :

ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO

SECRETARIA GENERAL :

DRA. ANA LETICIA ZA VALETA DE AMAYA

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO :

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

SECRETARIO :

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

DIRECTOR :

Ph.D. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Trabajo de graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO CIVIL

Título

:

Influencia de la arena triturada, como agregado fino, en las propiedades en estado fresco y endurecido, de mezclas de concreto hidráulico

Presentado por

:

JORGE ALBERTO RUGAMAS DINARTE

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores

:

INGRA. LESLY EMIDALIA MENDOZA MEJIA

ING. FRANCISCO ARRIAZA MERCADAL

ING. CÉSAR GONZALO VEGA RODRÍGUEZ

San Salvador, Octubre de 2012

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores :

INGRA. LESLY EMIDALIA MENDOZA MEJIA

ING. FRANCISCO ARRIAZA MERCADAL

ING. CÉSAR GONZALO VEGA RODRÍGUEZ

AGRADECIMIENTOS

A mis asesores, por el tiempo dedicado y por toda la ayuda que me brindaron a lo largo del desarrollo de este trabajo de graduación: Ingra. Lesly E. Mendoza, Ing. Francisco Arriaza Mercadal e Ing. César Gonzalo Vega Rodríguez.

Al Ing. Carlos Grassl y al Ing. Gabriel Guevara de La Cantera S.A. de C.V., al Ing. Hernán Pimentel y al Ing. Guillermo Flores de Holcim Concretos por el apoyo brindado.

A la Universidad de El Salvador, La Cantera S.A. de C.V. y a Holcim Concretos que me apoyaron incondicionalmente con la materia prima y sus instalaciones para llevar a cabo el trabajo de laboratorio.

A los técnicos de laboratorio de Holcim Concretos que me ayudaron con sus consejos y su tiempo en el trabajo de laboratorio: Elías García, Jonathan Leverón y Daniel Pocasangre; y a mi amigo Manuel Montiaquedo.

Jorge Alberto Rugamas Dinarte

DEDICATORIA

A Dios, a mis padres, a mis hermanos y a mis amigos.

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1 Antecedentes.....	8
1.2 Planteamiento del problema.....	12
1.3 Objetivos	14
1.3.1 Generales:	14
1.3.2 Específicos:.....	14
1.4 Alcances	15
1.5 Limitaciones	16
1.6 Justificaciones	17

CAPÍTULO II: PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS PARA EL CONCRETO

2.1 Generalidades	19
2.1.1 El agua de mezclado	19
2.1.2 El cemento	23
2.1.3 Los Agregados	28
2.1.3.1 Clasificación de los agregados.....	32
2.1.3.2 Función de los agregados en el concreto hidráulico	36
2.1.3.3 Especificaciones para los agregados.....	40

2.2 Influencia de la arena natural en las propiedades en estado fresco y endurecido del concreto hidráulico.....	48
2.3 Influencia de la arena triturada en las propiedades en estado fresco y endurecido del concreto hidráulico	52
2.3.1 Utilización de la arena triturada en El Salvador en los últimos años	54
2.4 Propiedades físicas de las arenas naturales y de las arenas trituradas	57

CAPÍTULO III: DISEÑO Y PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS

3.1 Introducción	59
3.2 Generalidades	60
3.3 Parámetros fijos y variables.....	61
3.3.1 Parámetros fijos	61
3.3.1.1 Condiciones de laboratorio	61
3.3.1.2 Agregados para el concreto.....	61
3.3.1.3 Agua.....	62
3.3.1.4 Cemento.....	62
3.3.1.5 Metodología para el proporcionamiento de las mezclas	62
3.3.1.6 Resistencias a la compresión en estudio.....	63
3.3.1.7 Revenimiento.....	63
3.3.2 Parámetros variables	63
3.4 Metodología del trabajo experimental en el laboratorio	64
3.5 Estructura de la investigación.....	66

3.5.1 Ejecución de la investigación	67
3.5.1.1 FASE 1: Selección de los materiales	69
3.5.1.2 FASE 2: Definición de ensayos a realizar	80
3.5.1.3 FASE 3: Investigación de las propiedades de los materiales.....	81
3.5.1.4 FASE 4: Diseño de mezclas	83
3.5.1.5 FASE 5: Hechura de mezcla de concreto, elaboración de especímenes y ensayos al concreto en estado fresco.....	83
3.5.1.6 FASE 6: Ensayos al concreto endurecido	85
3.5.1.7 FASE 7: Análisis de resultados.....	85
3.6 Requisitos del concreto y sus componentes	86
3.6.1 Requisitos del cemento	86
3.6.2 Requisitos del agregado fino	86
3.6.3 Requisitos del agregado grueso	87
3.6.4 Requisitos del agua	87
3.6.5 Requisitos del concreto en estado fresco	88
3.7 Simbolización de especímenes de concreto para ensayo	88
3.8 Diseño de mezclas.....	90
3.8.1 Introducción	90
3.8.2 Resultados de las pruebas de laboratorio a los agregados a utilizar.....	91
3.8.2.1 Selección de las proporciones óptimas para la combinación de arena natural y arena triturada.....	93
3.8.2.2 Presentación de resultados de ensayos a los agregados	94

3.9 Cálculo para el diseño de las mezclas de concreto	115
3.9.1 Diseño de las mezclas de concreto según el procedimiento indicado por el comité aci 211.....	115
3.9.2 Aplicación del diseño de la mezcla propuesto por el Comité ACI 211	116
3.9.2.1 PASO I: Información de los materiales.	117
3.9.2.2 PASO II: cálculo de la resistencia de diseño del concreto (f'_{cr})	118
3.9.2.3 PASO III: Elección del revenimiento.....	119
3.9.2.4 PASO IV: Cálculo del agua de mezclado y contenido de aire.....	120
3.9.2.5 PASO V: Selección de la relación agua/cemento.....	121
3.9.2.6 Paso VI: Cálculo del contenido de cemento	123
3.9.2.7 Paso VII: Estimación del contenido de agregado grueso	123
3.9.2.8 Paso VIII: Estimación del contenido de agregado fino	125
3.9.2.9 Paso IX: Ajuste por contenido de agua de los agregados.....	126
3.9.2.10 Paso X: Selección de proporciones de la mezcla óptima de laboratorio..	127
3.9.3 Diseños teóricos de mezclas.....	128
3.9.3.1 Diseño de mezcla a1: 210 kg/cm ² con arena triturada	128
3.9.3.2 Diseño de mezcla a2: 210 kg/cm ² con arena natural.....	130
3.9.3.3 Diseño de mezcla a3: 210 kg/cm ² con arena natural y arena triturada	132
3.9.3.4 Diseño de mezcla b1: 280 kg/cm ² con arena triturada.....	134
3.9.3.5 Diseño de mezcla b2: 280 kg/cm ² con arena natural	136
3.9.3.6 Diseño de mezcla b3: 280 kg/cm ² con arena natural y arena triturada.....	138

3.9.4 Resumen comparativo de las proporciones de cada diseño teórico de mezcla en volumen.....	140
3.9.5 Diseños definitivos de mezclas.....	141
3.9.5.1 Diseño de mezcla a1: 210 kg/cm ² con arena triturada.....	141
3.9.5.2 Diseño de mezcla a2: 210 kg/cm ² con arena natural.....	144
3.9.5.3 Diseño de mezcla a3: 210 kg/cm ² con arena natural y arena triturada.....	147
3.9.5.4 Diseño de mezcla b1: 280 kg/cm ² con arena triturada.....	150
3.9.5.5 Diseño de mezcla b2: 280 kg/cm ² con arena natural	153
3.9.5.6 Diseño de mezcla b3: 280 kg/cm ² con arena natural y arena triturada.....	156
3.9.6 Resumen comparativo de las proporciones de cada diseño definitivo de mezcla en volumen	159

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Introducción.....	160
4.2 Presentación de resultados	161
4.2.1 Ensayos al concreto en estado fresco	161
4.2.1.1 Ensayo de revenimiento.....	163
4.2.1.2 Ensayo de temperatura.....	165
4.2.1.3 Ensayo de contenido de aire.....	166
4.2.1.4 Ensayo de peso volumétrico	167
4.2.2 Ensayo al concreto en estado endurecido.....	169
4.3 Análisis de Resultados.....	187

4.3.1 Cartas de control de calidad	190
4.3.1.1 Resistencia a la compresión.....	190
4.3.1.2 Pesos volumétricos.....	193
4.3.2 resistencia a la compresión	200
4.3.3 Relación entre la resistencia a la compresión y la relación agua-cemento para cada bachada.....	204

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones	207
5.1.1 Para las mezclas tipo A ($f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$) en estado fresco	207
5.1.2 Para las mezclas tipo A ($f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$) en estado endurecido	209
5.1.3 Para las mezclas tipo B ($f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$) en estado fresco	211
5.1.4 Para las mezclas tipo B ($f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$) en estado endurecido	213
5.2 Recomendaciones	216

BIBLIOGRAFÍA

6. Bibliografía	218
6.1 Libros de texto.....	218
6.2 Trabajos de graduación	218
6.3 Normas	219
6.4 Comités.....	220
6.5 Otras fuentes	220

ANEXOS

ANEXO 1: Detalle de proporcionamientos por cada bachada, con correcciones por humedad.	222
Mezcla A1.....	222
Mezcla A2.....	228
Mezcla A3.....	232
Mezcla B1.....	236
Mezcla B2.....	240
Mezcla B3.....	244

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

La necesidad de obtener concreto con las resistencias deseadas, de durabilidad óptima y al más bajo costo en los proyectos de construcción, es lo que ha llevado a los productores de los agregados para concreto a desarrollar nuevas tecnologías y así obtener productos de mejor calidad.

Sabemos que la durabilidad del concreto está íntimamente relacionada a la durabilidad individual de sus elementos, de los cuales, los agregados son los señalados como los principales modificadores de ésta. Esto se debe a que la producción de cemento está normada y tecnificada en el país, no así la producción y obtención de algunos agregados, como es la arena natural obtenida de los ríos.

Tomando en cuenta el aspecto económico, al estudiar la calidad y características del agregado a usar en concreto, es posible determinar factores que contribuyen al encarecimiento de éste, como por ejemplo: una excesiva finura en la arena, aumenta los requerimientos de agua y en consecuencia de cemento, lo mismo sucede si la arena es demasiado gruesa ya que la trabajabilidad disminuye, aumentando la necesidad de pasta. Un exceso de pómez o partículas de alta

absorción también presenta el mismo problema, pues para una misma trabajabilidad requiere una mayor cantidad de agua.

La escasez de fuentes de explotación, calidad de los agregados no acorde con las exigencias de normativas y controles gubernamentales en lo referente a la explotación de canteras y bancos, ha obligado en otros países a investigar materiales alternativos.

En lo que respecta a las arenas naturales, se ha encontrado como alternativa el uso de arena manufacturada, producto de la trituración de roca, la cual debe cumplir con la normativa para la arena natural ASTM C-33.

La arena de trituración ha sido empleada con éxito por mucho tiempo en otros países, tales como: Alemania, Finlandia, España, Estados Unidos, Canadá, Puerto Rico, Venezuela, Chile, Brasil y Argentina; en el área centroamericana se destacan: Guatemala y Costa Rica. Estos países han acumulado experiencias y desarrollado estudios sobre el empleo de arena de trituración con excelentes resultados, entre los cuales podemos mencionar los siguientes:

- ✓ “Utilización de la Arena de Trituración” Ing. Oscar Alfredo Cabrera, Ing. E. Irassar, Argentina, 1991-1997.
- ✓ “Evaluación Preliminar de la Arena Manufacturada de Caliza como Agregado Fino para Concreto”, Ing. Plinio Estuardo Herrera Rodas, Guatemala 1994.

- ✓ “Hormigones con Arenas Trituradas” Ing. Oscar Alfredo Cabrera, Argentina, 1998-2000.
- ✓ “Arenas Manufacturas vrs. Naturales”, Ing. Jorge Milanés. Empresa Holcim de Costa Rica.
- ✓ “Dosificación de Hormigones con Arenas de Trituración” Ing. Oscar Alfredo Cabrera, Ing. E. Irassar. 8va Reunión Técnica de la AATH – Tomo 1 – pp. 253-266, 1987.
- ✓ “Leyes Básicas para Hormigón hecho con Arena de Trituración” Ing. Joaquín Porrero, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, 1990.
- ✓ “Trabajabilidad de Hormigones Elaborados con Arenas de Trituración” Ing. Oscar Alfredo Cabrera, Ing. E. Irassar. X Conferencia Interamericana en Tecnología de Materiales. Texas, USA pp. 9.15 a 9.19. 1989.
- ✓ “Manufactura de Arena para Hormigón”, Sr. Carlos Robles, Asociación de Industrias Productoras de Agregados de Puerto Rico (AIPA).

En este sentido, en nuestro país, se ha llevado a cabo solamente una investigación sobre los beneficios de utilizar materiales alternativos a los ya existentes, este es el trabajo de graduación denominado: “Comportamiento de arenas de trituración como sustituto de arena natural en la elaboración de concreto hidráulico”, investigación realizada en la Universidad de El Salvador en el año 2005. Obteniéndose resultados favorables, que llevan a recomendar el uso de arenas trituradas en la elaboración del concreto hidráulico.

En El Salvador, la arena triturada ha tenido su mayor aplicación en el área de carreteras, específicamente en pavimentos asfálticos del cual se tienen datos desde 1977 donde el agregado triturado (sin lavar) es utilizado en las diferentes capas que lo constituyen (sub-base, base y capa de rodadura).

Las empresas que construyen los pavimentos asfálticos se abastecen de la arena triturada por pedidos a las canteras (cuya principal producción es el agregado grueso) o si cuentan con un equipo de trituración, manufacturan la arena en las zonas aledañas al proyecto, haciendo uso de los materiales disponibles localmente.

En el año 2000 se diseñó el proyecto “Reconstrucción de Grandes Obras para el Sector Transporte en El Salvador Paquete II A-B San Martín-San Rafael Cedros” del Ministerio de Obras Públicas, el cual consiste en una estructura de pavimento rígido con una longitud de 21.7 Km, compuesto por cuatro capas, siendo la segunda capa concreto compactado con rodillo (CCR) conformado por grava, arena triturada, cemento y agua de mezclado.

A partir del año 2000 algunos fabricantes de concreto premezclado han empleado como agregado fino en sus concretos, una combinación de arena natural y arena de trituración, obteniendo resultados satisfactorios. Motivo por el cual en este trabajo de graduación se pretende dar continuidad a las investigaciones ya iniciadas en el país, sobre la “Influencia de la arena triturada, como agregado fino, en las propiedades en estado fresco y endurecido, de mezclas de concreto hidráulico”.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La arena triturada, como sustituto de la arena natural se presenta como una opción viable para el futuro de los agregados finos en el concreto hidráulico.

Debido al desarrollo de la infraestructura en nuestro país, la demanda de agregados de calidad para el concreto se ve en aumento, lo que es desfavorable para las arenas naturales que se obtienen de la explotación de los ríos. Esto produce, además, un deterioro notable en el medio ambiente:

- ✓ Sobreexplotación del cauce y los márgenes del río.
- ✓ Cambio en el cauce natural del río.
- ✓ Ramificaciones del cauce con lo que aumenta la evaporación y los niveles de infiltración hacia el acuífero.
- ✓ Contaminación de las aguas superficiales y subterráneas con lubricantes y combustibles.
- ✓ Incremento de la cantidad de sólidos en suspensión, limitado el aprovechamiento de las aguas debajo de la explotación.
- ✓ Depresión del nivel freático en las tierras aledañas.
- ✓ Erosión de las tierras agrícolas en los predios adyacentes.
- ✓ Modificación de la dinámica hidrológica (estiajes más pronunciados, avenidas incontroladas, desbordes e intermitencias.)

- ✓ Daños a infraestructuras por el reclamo remontante del río (carreteras y caminos, muros embalses y contra embalses, puentes y edificaciones).
- ✓ Pérdida de la vegetación que protege los ríos y garantiza su estabilidad biológica.
- ✓ Desaparición de la fauna, tanto terrestre como acuática.
- ✓ Disminución de la calidad de vida de la población, aumento del desempleo y la migración al perderse la actividad agropecuaria y pesquera.

Además, según algunos estudios realizados, la contaminación de los ríos, las fuerzas de la naturaleza, la intervención del hombre, etc. afectan significativamente las propiedades de las arenas provenientes de los ríos, en el tiempo; lo cual no sucedería con una arena triturada que ha seguido un proceso de producción debidamente controlado y normado.

Con este trabajo de investigación se pretende estudiar el efecto que tiene en las propiedades en estado fresco y endurecido del concreto elaborado con esta arena, tomando como punto de referencia el diseño de 6 mezclas de concreto hidráulico para resistencias a la compresión de 210 kg/cm² y 280 kg/cm², elaborado con cemento Portland Tipo HE ASTM C1157 y utilizando agregados gruesos y finos provenientes de la empresa: "La Cantera S.A. de C.V.". Con lo que se determinará la influencia de las arenas trituradas en algunas propiedades del concreto en estado fresco y endurecido.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 GENERALES:

- Determinar la influencia que tiene la arena triturada como agregado fino, en las propiedades en estado fresco y endurecido, de mezclas de concreto hidráulico.

1.3.2 ESPECÍFICOS:

- Determinar los fundamentos teóricos sobre las propiedades de la arena triturada y la arena natural, y su uso y desarrollo histórico en la elaboración de concreto hidráulico en nuestro país.
- Determinar la calidad de las propiedades de los agregados: grava, arena natural lavada industrialmente y arena triturada, provenientes de “La Cantera S.A. de C.V.” en San Diego, La Libertad; empleando de referencia la norma ASTM C33.
- Hacer una combinación entre arena natural y arena triturada, de manera que dicha combinación posea una granulometría que se encuentre dentro de los límites que exige la norma ASTM C33.
- Elaborar mezclas de concreto para resistencias a la compresión de 210 kg/cm² y 280 kg/cm², para arena natural lavada

industrialmente, arena triturada y una combinación de ambas, los cuales se realizarán bajo las mismas condiciones, siguiendo los lineamientos establecidos en la “Práctica estándar para la selección del proporcionamiento de mezclas de concreto normal, pesado y masivo” (ACI 211.1).

- Comprobar cómo afecta a las propiedades en estado fresco del concreto el uso de arena triturada; comparado con otro concreto elaborado en las mismas condiciones, con arena natural lavada industrialmente y otro elaborado con una combinación de ambas. Utilizando los ensayos de revenimiento, temperatura, contenido de aire y peso volumétrico.
- Determinar la influencia de la arena triturada en las propiedades en estado endurecido, de las mezclas de concreto hidráulico con arena triturada, arena natural y una combinación de éstas, elaborados y ensayados a la compresión, en las mismas condiciones.

1.4 ALCANCES

Este trabajo de graduación se registrá por lo siguiente:

- ✓ Se utilizarán agregados gruesos (grava) y finos (arena triturada y arena natural lavada industrialmente) provenientes de “La Cantera S.A. de C.V.” en San Diego, La Libertad; los cuales deberán cumplir con las especificaciones señaladas en la norma ASTM C33-03, para asegurar su calidad.
- ✓ Se usará cemento hidráulico tipo HE ASTM C1157, para todas las mezclas.
- ✓ El diseño y proporcionamiento de las mezclas de concreto hidráulico de peso normal se realizará de acuerdo a la norma ACI 211.1-91; para un revenimiento de 4”, con una tolerancia de 1”.
- ✓ Se elaborarán 30 pares de especímenes para ensayo por cada diseño de mezcla, para arena natural, arena triturada y una combinación de ambas; tomando en cuenta las recomendaciones del reglamento ACI 318S-08. Se ensayarán 10 pares a los 7 días y 20 pares a los 28 días.

1.5 LIMITACIONES

Este trabajo de graduación se verá limitado por los siguientes aspectos:

- ✓ Se realizarán los siguientes ensayos para determinar la calidad de los agregados: granulometría, peso específico y absorción de los agregados, peso volumétrico suelto y varillado y colorimetría.

- ✓ Para las mezclas de concreto hidráulico que corresponden a resistencias a la compresión de 210 kg/cm² y 280 kg/cm²; para arena triturada, arena natural lavada industrialmente y una combinación de ambas, se estudiarán las siguientes propiedades:
 - En estado fresco: revenimiento, temperatura, contenido de aire y peso volumétrico.
 - En estado endurecido: resistencia a la compresión.

1.6 JUSTIFICACIONES

La explotación de los bancos naturales de arena en los ríos está provocando la erosión y la contaminación de los mismos, por lo que en los últimos años se ha limitado la explotación de éstos.

En la actualidad, algunas empresas productoras de agregados pétreos se han planteado la posibilidad de que en un futuro próximo, se sustituya la arena natural por arena manufacturada; como se ha hecho en otros países de Latinoamérica y Europa.

Actualmente existen pocos estudios, en nuestro país, sobre las ventajas que traería el uso de arena triturada de basalto en la elaboración de concreto hidráulico. Por lo tanto, con este trabajo de graduación, se pretende dar pie a que se inicien estudios más especializados sobre las ventajas o desventajas que esto puede traer en las

propiedades mecánicas del concreto hidráulico, utilizando materiales que se producen en el país.

Por otra parte, la sustitución de arena natural por arena triturada en la elaboración de concreto, podría traer beneficios también al medio ambiente, tema que no está comprendido dentro de los objetivos de este trabajo de graduación; pero que podría ser objeto de posteriores estudios.

CAPÍTULO II

PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS PARA EL CONCRETO

2.1 GENERALIDADES

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 (piedra triturada piedra machacada, pedrejón), 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.

A continuación se presenta una breve explicación sobre los componentes de la pasta: agua y cemento, y los agregados: grueso y fino; haciendo énfasis en el agregado fino: arena natural y arena triturada; ya que es el tema principal de este trabajo de graduación.

2.1.1 EL AGUA DE MEZCLADO

Casi cualquier agua natural que sea potable y que no tenga un sabor u olor pronunciado, se puede utilizar para producir concreto. Sin embargo, algunas aguas no potables pueden ser adecuadas para el concreto. No obstante, el agua de

mezclado para concreto hidráulico debe cumplir con los requisitos de las normas ASTM C94: “Especificación estándar para concreto recién mezclado”, ASTM C1602M: “Especificación estándar para agua de mezclado usada en la producción de concreto de cemento hidráulico” y ACI 318S-08: “Requisitos de reglamento para concreto estructural (capítulo 3.4)”.

Las impurezas excesivas en el agua no sólo pueden afectar el tiempo de fraguado y la resistencia del concreto, sino también pueden ser causa de eflorescencia, manchado, corrosión del esfuerzo, inestabilidad volumétrica y una menor durabilidad.

El agua que contiene menos de 2,000 partes por millón (ppm) de sólidos disueltos totales generalmente puede ser utilizada de manera satisfactoria para elaborar concreto.

Carbonatos y bicarbonatos alcalinos. Los carbonatos y bicarbonatos de sodio y potasio tienen diferentes efectos en los tiempos de fraguado de cementos distintos. El carbonato de sodio puede causar fraguados muy rápidos, en tanto que los bicarbonatos pueden acelerar o retardar el fraguado. En concentraciones fuertes estas sales pueden reducir de manera significativa la resistencia del concreto. Cuando la suma de sales disueltas exceda 1,000 ppm, se deberán realizar pruebas para analizar su efecto sobre el tiempo de fraguado y sobre la resistencia a los 28

días. También se deberá considerar la posibilidad que se presenten reacciones álcali-agregado graves.

Cloruros. La inquietud respecto a un elevado contenido de cloruros en el agua de mezclado, se debe principalmente al posible efecto adverso que los iones de cloruro pudieran tener en la corrosión del acero de refuerzo. Los iones cloruro atacan la capa de óxido protectora formada en el acero por el medio químico altamente alcalino (pH 12.5) presente en el concreto. El nivel de iones cloruro solubles en el agua en el cual la corrosión del acero de refuerzo comienza en el concreto es de aproximadamente 0.15% del peso del cemento. Del contenido total de ión cloruro en el concreto, sólo es soluble en el agua aproximadamente del 50% al 85%; el resto se combina químicamente en reacciones del cemento.

El Reglamento de construcción del American Concrete Institute, ACI 318, limita el contenido de ión cloruro soluble al agua en el concreto, a los siguientes porcentajes en peso del cemento:

- Concreto presforzado: 0.06%
- Concreto reforzado expuesto a cloruros durante su servicio: 0.15%
- Concreto reforzado que vaya a estar seco protegido contra la humedad durante su servicio: 1.00%
- Otras construcciones de concreto reforzado: 0.30%

Sulfatos. El interés respecto a un elevado contenido de sulfatos en el agua, se debe a las posibles reacciones expansivas y al deterioro por ataque de sulfatos, especialmente en aquellos lugares donde el concreto vaya a quedar expuesto a suelos o agua con contenidos elevados de sulfatos. Aunque se han empleado satisfactoriamente aguas que contenían 10,000 ppm de sulfato de sodio, el límite del producto químico sulfato, como SO_4 , de 3,000 ppm, se deberá respetar a menos que se tomen precauciones especiales.

Dentro de la importancia que representa el agua para la calidad del concreto, cabe mencionar que para cualquier conjunto específico de materiales y de condiciones de curado, la cantidad de concreto endurecido está determinada por la cantidad de agua utilizada en relación con la cantidad de cemento. A continuación se presenta algunas ventajas que se obtienen al reducir el contenido de agua:

- Se incrementa la resistencia a la compresión y a la flexión.
- Se tiene menor permeabilidad, y por ende mayor hermeticidad y menor absorción.
- Se incrementa la resistencia al intemperismo.
- Se logra una mejor unión entre capas sucesivas y entre el concreto y el refuerzo.
- Se reducen las tendencias de agrietamientos por contracción.

Entre menos agua se utilice, se tendrá una mejor calidad de concreto, a condición que se pueda consolidar adecuadamente. Menores cantidades de agua de mezclado resultan en mezclas más rígidas; pero con vibración, aún las mezclas más rígidas pueden ser empleadas. Para una calidad dada de concreto, las mezclas más rígidas son las más económicas.

2.1.2 EL CEMENTO

El cemento portland es un polvo fino que cuando se mezcla con el agua se convierte en un pegamento que mantiene los agregados unidos en el concreto.

Los cementos portland son cementos hidráulicos compuestos principalmente de silicatos hidráulicos de calcio. Los cementos hidráulicos fraguan y endurecen por la reacción química con el agua. Durante la reacción, llamada hidratación, el cemento se combina con el agua para formar una masa similar a una piedra, llamada pasta. Cuando se adiciona la pasta (cemento y agua) a los agregados (arena y grava, piedra triturada, piedra machacada, pedrejón u otro material granular), la pasta actúa como un adhesivo y une los agregados para formar el concreto, el material de construcción más versátil y más usado en el mundo.

La hidratación empieza cuando el cemento entra en contacto con el agua. En la superficie de cada partícula de cemento se forma una capa fibrosa que gradualmente se propaga hasta que se enlace con la capa fibrosa de otra partícula

de cemento o se adhiera a las sustancias adyacentes. El crecimiento de las fibras resulta en rigidización, endurecimiento y desarrollo progresivo de resistencia. La rigidización del concreto puede reconocerse por la pérdida de trabajabilidad, la cual normalmente ocurre después de 3 horas de mezclado, pero depende de la composición y finura del cemento, de cualquier aditivo usado, de las proporciones de la mezcla y de las condiciones de temperatura. Consecuentemente, el concreto fragua y se endurece.

La hidratación continúa desde que existan condiciones favorables de temperatura y humedad (curado) y espacio disponible para la formación de los productos de hidratación. A medida que la hidratación continúa, el concreto se vuelve más duro y resistente. Gran parte de la hidratación y del desarrollo de la resistencia ocurre a lo largo del primer mes, pero si hay humedad y temperatura adecuadas, continúa de manera más lenta, por un largo periodo.

TIPOS DE CEMENTO

Todos los cementos portland y los cementos mezclados son cementos hidráulicos, que es meramente un término más genérico. En los años 90 se crearon las especificaciones de desempeño para los cementos hidráulicos: ASTM C1157, "Especificación de Desempeño para Cementos Hidráulicos (Performance Specification for Hydraulic Cements)". Esta especificación se indica genéricamente para los cementos hidráulicos que incluyen cemento portland, cemento portland

modificado y cemento hidráulico mezclado. Los cementos en acuerdo con los requisitos de la norma ASTM C1157 satisfacen a los requisitos de ensayos 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 presenta seis tipos de cementos hidráulicos:

- ✓ **Tipo GU Uso general:** 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 I¹.

- ✓ **Tipo HE Alta resistencia inicial:** 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 III².

¹ El cemento tipo I, bajo la norma ASTM C150, 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.

² Los cementos de alta resistencia inicial (tipo III, según la norma ASTM C150) se usan donde la resistencia temprana es necesaria, tales como colocación en tiempo frío, pavimentos de rápida habilitación al tránsito (fast track) para minimizar los embotellamientos y rápida remoción de las cimbras del concreto premoldeado.

- ✓ **Tipo MS Moderada resistencia a los sulfatos:** 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 II³. 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 Alta resistencia a los sulfatos:** 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 V⁴.

- ✓ **Tipo MH Moderado calor de hidratación:** El cemento tipo MH se usa donde el concreto necesite tener un calor de hidratación moderado y se deba

³ De acuerdo a la norma ASTM C150, estos cementos mejoran la resistencia a los sulfatos de los miembros de concreto, tales como losas sobre el suelo, tubería y postes de concreto expuestos a suelos con alto contenido de sulfatos.

⁴ Idem.

controlar el aumento de la temperatura. El cemento tipo MH se usa de la misma manera que el cemento portland de moderado calor tipo II⁵.

- ✓ **Tipo LH Bajo calor de hidratación:** 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 IV⁶.

Existe otros tipos de clasificación para los distintos tipos de cemento, de acuerdo a las normas ASTM C150: "Especificación estándar para cemento portland" y ASTM C595: "Especificación estándar para cemento hidráulico mezclado". A continuación se presenta en la tabla No. 2.1 un resumen de los usos de los distintos tipos de cemento de acuerdo a las normas ASTM:

⁵ Minimizan el calor generado en miembros de concreto masivo o estructuras, tales como apoyos espesos de puente y presas.

⁶ Idem.

Tabla No.2.1: Aplicaciones para los cementos de acuerdo a las normas ASTM

Especificación del cemento	Aplicaciones					
	<i>Uso general</i>	<i>Moderado calor de hidratación</i>	<i>Alta resistencia inicial</i>	<i>Bajo calor de hidratación</i>	<i>Moderada resistencia a los sulfatos</i>	<i>Alta resistencia a los sulfatos</i>
ASTM C150 (AASHTO M85) Cementos portland	I	II (opción de moderado calor)	III	IV	II	V
ASTM C595 (AASHTO M240) Cementos hidráulicos mezclados	IS IP I (PM) I (SM) S, P	IS (MH) IP (MH) I (PM) (MH) I (SM) (MH)		P (LH)	IS (MS) IP (MS) I (PM) (MS) I (SM) (MS)	
ASTM C1157 Cementos hidráulicos⁷	GU	MH	HE	LH	MS	HS
<i>Fuente: Diseño y control de mezclas. PCA. México. 2004</i>						

2.1.3 LOS AGREGADOS

Los agregados son materiales casi siempre pétreos, que se consideran inertes; sujetos a tratamientos de disgregación, cribado, trituración o lavado, o materiales producidos por expansión, calcinación o fusión excipiente, que se mezclan con cemento portland y agua, para formar concreto hidráulico. Sin embargo, los

⁷ Para los cementos ASTM C1157, la nomenclatura de cemento hidráulico, cemento portland, cemento portland con aire incluido, cemento portland modificado o cemento portland adicionado se usa con la designación del tipo.

agregados no siempre son pétreos y algunos no son inertes, también sus propiedades físicas, químicas, mecánicas y térmicas influyen sobre el comportamiento del concreto.

En términos generales los agregados ocupan las tres cuartas partes del volumen del concreto y por lo tanto su calidad y propiedades son de considerable importancia, no solo desde el punto de vista económico sino también desde otros no menos importantes como la resistencia, la durabilidad, la trabajabilidad, la densidad y en general del comportamiento estructural del concreto.

Para la generalidad de los concretos los agregados ocupan entre el 60% y el 80% del volumen total del concreto. Están constituidos por una parte fina, denominada arena y una parte gruesa, denominada grava o piedra triturada; pueden provenir de fuentes naturales o artificiales.

El agregado fino (ver figura No. 2.1), generalmente consiste en arena natural o piedra triturada (partida, machacada, arena de trituración) cuyo diámetro varía entre 0.074 mm y 5 mm.

El agregado grueso (ver figura No. 2.2) consiste en una o en la combinación de gravas o piedras trituradas con partículas con diámetro superior a 5 mm y generalmente entre 9.5 mm y 37.5 mm.



Figura No.2.1: Agregado fino (arena).



Figura No.2.2: Agregado grueso. Grava redondeada (izquierda) y piedra triturada (derecha).

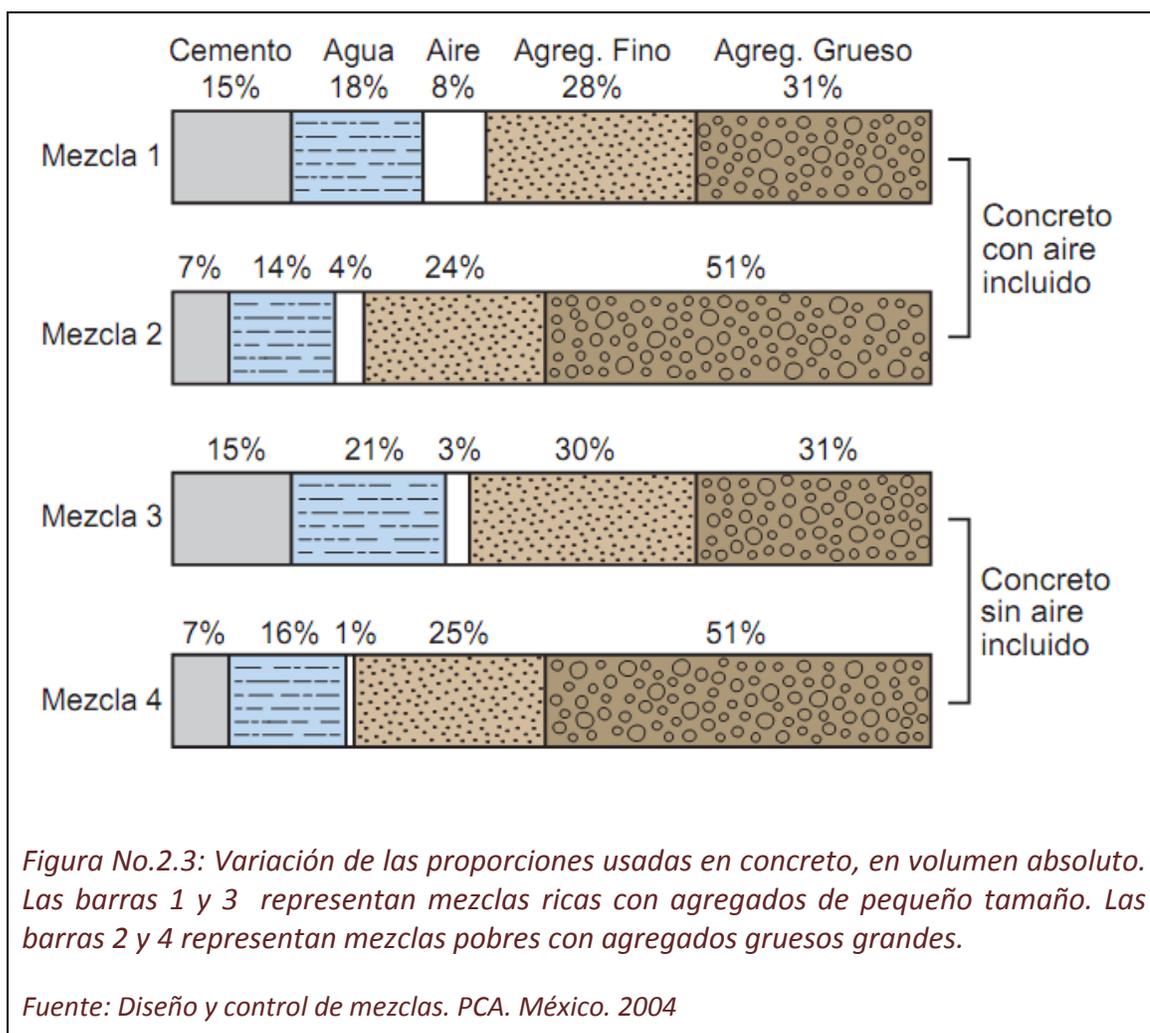
Fuente: Diseño y control de mezclas. PCA. México. 2004

El material con tamaño inferior a 0.074 mm es una fracción muy fina, cuyas partículas tienen ciertas características que interfieren en el proceso de hidratación del cemento y de allí que se consideren perjudiciales en el concreto.

Propiedades como una buena distribución de los tamaños de las partículas, forma y textura superficial apropiadas, granos poco porosos, resistentes y duros, que no contengan sustancias químicas que reaccionen con la pasta de cemento, libres de material muy fino, exentos de materia orgánica, y que no contengan partículas débiles, son indispensables para que puedan ser utilizados en el concreto; de allí la importancia de su control de calidad.

La pasta está compuesta de cemento Portland, agua y aire atrapado o aire incluido intencionalmente. Ordinariamente, la pasta constituye del 25 al 40 por ciento del volumen total del concreto. La figura No. 2.3 muestra que el volumen absoluto del

cemento está comprendido usualmente entre el 7% y el 15% y el agua entre el 14% y el 21%. El contenido de aire en concretos con aire incluido puede llegar hasta el 8% del volumen del concreto, dependiendo del tamaño máximo del agregado grueso.



La calidad del concreto depende en gran medida de la calidad de la pasta. En un concreto elaborado adecuadamente, cada partícula de agregado está

completamente cubierta con pasta, así como también todos los espacios entre partículas de agregado.

2.1.3.1 CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS

Los agregados se pueden clasificar de muchas maneras, siendo las más usadas según su procedencia, por el tamaño de sus partículas, por sus características petrográficas y por su densidad. Tales clasificaciones sirven principalmente como una ayuda para la familiarización con los diferentes tipos de agregados o en la identificación de rasgos particulares.

Dado el objetivo de este trabajo de graduación, se tomarán en cuenta solamente las clasificaciones directamente relacionadas con el tema de investigación.

CLASIFICACIÓN POR MODO DE FRAGMENTACIÓN

Esta clasificación de agregados se basa en la forma en que ocurre el proceso de fragmentación de los materiales, los que desde este punto de vista pueden ser:

- a) Naturales: fragmentados por procesos naturales (erosión).
- b) Manufacturados (triturados): fragmentados por procesos artificiales (mecánicos).
- c) Mixtos: son la combinación de materiales fragmentados tanto por procesos naturales como artificiales.

Este tipo de división no valida ninguna característica físico-química del agregado.

CLASIFICACIÓN POR TAMAÑO DE PARTÍCULA

Dependiendo del tamaño de sus partículas, los agregados se pueden clasificar como se muestra en la tabla No. 2.2. Además, dependiendo del tipo de concreto (ver tabla No. 2.3) que se desee elaborar, así serán los agregados que se emplearán para su fabricación (ver tabla No. 2.4).

Tabla No.2.2: Clasificación de los agregados por tamaño de partícula

Tamaño (mm)	Mayor a 50	Entre 50 y 19.0	Entre 19.0 y 4.75	Entre 4.75 y 2.36	Entre 2.36 y 0.42	Entre 0.42 y 0.074	Entre 0.074 y 0.002	Menor a 0.002
Denominación	Piedra	Grava	Gravilla	Arena gruesa	Arena media	Arena fina	Limo	Arcilla
Denominación	Agregado grueso			Agregado fino			Fracción muy fina	
Recomendación	Material bueno para producir concreto			Material bueno para producir concreto			Material no recomendable	
<p><i>Fuente: "Fundamentos de concreto aplicados a la construcción". Instituto Colombiano de Productores de Cemento. Colombia 2006.</i></p>								

Tabla No.2.3: Clases de concreto

Clase de concreto	Peso volumétrico del concreto (intervalo usual, kg/m³)	Uso común
Baja densidad	300 – 800 (*)	Aislamiento térmico y acústico, de muy baja resistencia (menos de 70 kg/cm ²)
Ligero intermedio	800 – 1400 (*)	Uso no estructural, de baja resistencia (de 70 a 175 kg/cm ² , aprox.)
Ligero estructural	1400 – 1900 (*)	Uso estructural, de mediana y alta resistencia (de 175 a 500 kg/cm ² , aprox.)
Peso normal	2200 – 2550 (**)	Uso no estructural y estructural, desde muy baja hasta muy alta resistencia (desde menos de 70 hasta 1200 kg/cm ² , e inclusive más)
Pesado	2600 – 5500 (**)	Blindaje contra radiaciones, contrapesos para puentes levadizos, y otras aplicaciones especiales con diversos requisitos de resistencia.
<p>(*) Concreto seco al aire</p> <p>(**) Concreto saturado</p> <p>Fuente: “Manual de Tecnología del Concreto”, Sección 1. Comisión Federal de Electricidad (CFE). México 1994</p>		

Tabla No. 2.4: Tipos de agregados comúnmente empleados en la fabricación de concretos con diferente peso volumétrico.

Clase de concreto	Tipos de agregados
Baja densidad (300-800 kg/m³)	Vermiculita expandida; perlita expandida.
Ligero intermedio (800-1400 kg/m³)	Perlita expandida; pumicita; escoria volcánica.
Ligero estructural (1400-1900 kg/m³)	Pumicita; escoria volcánica; escoria de alto horno expandida; arcilla, pizarra o ceniza volante expandidas en parrillas de sintetización; arcilla, pizarra o esquisto expandidos en hornos rotatorios.
Peso normal (2200-2550 kg/m³)	Arenas y gravas naturales provenientes de la desintegración y erosión de rocas por la acción del agua, el viento, el hielo, los cambios de temperatura y otros fenómenos naturales.
	Arenas y gravas manufacturadas por la fragmentación de rocas con explosivos, equipos mecánicos u otros medios similares.
	La roca madre puede ser de origen ígneo, sedimentario o metamórfico. Las rocas ígneas suelen producir agregados de buena calidad física, con excepción de ciertas tobas. Las sedimentarias son más variables, pero también pueden originar agregados físicamente aptos. Las metamórficas suelen verse con alguna desconfianza en este aspecto, por lo que deben estudiarse cuidadosamente.
Pesado (2600-5500 kg/m³)	Agregados manufacturados por trituración de rocas conteniendo serpentina, lircolita, goetita, barita, ilmenita, hematita, magnetita.
	Arena natural conteniendo alguno de los minerales anteriores.
	Agregados sintéticos obtenidos por procesamiento de hierro o acero, ferrofósforo y boro derretido
<p><i>Fuente: "Manual de Tecnología del Concreto", Sección 1. Comisión Federal de Electricidad (CFE). México 1994</i></p>	

2.1.3.2 FUNCIÓN DE LOS AGREGADOS EN EL CONCRETO HIDRÁULICO

Los agregados de calidad deben cumplir ciertas reglas para darles un uso ingenieril óptimo: deben consistir en partículas durables, limpias, resistentes y libres de productos químicos absorbidos, recubrimientos de arcilla y otros materiales finos que pudieran afectar la hidratación y la adherencia con la pasta de cemento. Las partículas de agregado que sean desmenuzables o susceptibles de resquebrajarse son indeseables.

El esqueleto granular está formado por los agregados que son elementos inertes, generalmente más resistentes que la pasta cementicia y además económicos. Por lo tanto conviene colocar la mayor cantidad posible de agregados para lograr un concreto resistente, que no presente grandes variaciones dimensionales y sea económico.

Puesto que los agregados son menos costosos por unidad de volumen que el cemento, generalmente se concibe que la única razón de colocar la mayor cantidad posible de fragmentos minerales es la de relleno. Pero aunque la economía es uno de los factores principales para reemplazar pasta de cemento por agregados, sus propiedades tienen una acción determinante sobre las características del concreto, tanto en estado fresco como en estado endurecido.

En estado fresco la arena y la pasta actúan como lubricantes de las partículas más gruesas para que el concreto pueda ser mezclado, transportado, colocado, compactado y terminado en forma adecuada.

Con la introducción de agregados a la pasta se genera una superficie de adherencia, de tal manera que los cambios de volumen que originan la contracción disminuyen notablemente. La adherencia entre la pasta y los agregados se convierte en parte de la resistencia del concreto.

Pero hay un límite en el contenido de agregados gruesos dado por la trabajabilidad del concreto. Si la cantidad de agregados gruesos es excesiva la mezcla se volverá difícil de trabajar y habrá una tendencia de los agregados gruesos a separarse del mortero (segregación). Llegado este caso se suele decir que el concreto es “áspero”, “pedregoso” y “poco dócil”.

En el concreto fresco, es decir recién elaborado y hasta que comience su fraguado, la pasta cementicia tiene la función de lubricar las partículas de agregado, permitiendo la movilidad de la mezcla. En este aspecto también colabora el agregado fino.

La arena debe estar presente en una cantidad mínima que permita una buena trabajabilidad y brinde cohesión a la mezcla. Pero no debe estar en exceso porque perjudicará las resistencias.

Se debe optimizar la proporción de cada material de forma tal que se logren las propiedades deseadas en el concreto al mínimo costo.

La arena tiene múltiples influencias sobre el concreto, lo que viene a constituir la importancia en el conocimiento de tal agregado para el uso como ingrediente en dichas mezclas. La forma, el tamaño, la limpieza, la textura, dureza, etc.; son las características físicas de la arena que más intervienen en la calidad del concreto.

La arena se puede considerar como el segundo en importancia en la obtención de una mejor calidad del concreto, lo que viene a afirmar o asegurar que puede ocasionar dificultades y puede tener una participación más decisiva en la resistencia y durabilidad del concreto que el agregado grueso; así, por ejemplo, la arena que tiene materia orgánica o extraña en gran proporción resulta muy perjudicial si no es neutralizada la acción de dicha sustancia.

La arena puede estar contaminada con sílice la cual, al combinarse con los álcalis del cemento, produce expansiones pequeñas del concreto lo que trae como consecuencia aberturas y agrietamientos que son formas de desintegración del concreto debido a agregados sucios y seriamente sobrearenosos (exceso de finos) los cuales requieren relaciones agua-cemento altas para obtener manejabilidades satisfactorias.

La arena tiene dos funciones importantes que desempeñar en el concreto:

1. La de actuar como un relleno de los vacíos que existen en el mismo, incidiendo en su economía.
2. La de actuar como lubricante del agregado grueso distribuyéndose en toda la masa del concreto.

La cantidad mínima de arena que llene estas dos funciones es la cantidad que deberá usarse para obtener resultados satisfactorios, ya que si se usa una cantidad mayor la superficie que deberá cubrirse con la pasta de cemento será aumentada, lo que trae como consecuencia aumento en el costo de la mezcla final del concreto.

Sin embargo, cuando el agregado grueso no cumple con los requisitos de calidad especificados, se tiene que recurrir a métodos como: aumentar en gran proporción la cantidad de arena en la mezcla para obtener la resistencia necesaria y exigida.

Es de señalar que la capacidad de la mezcla para llenar totalmente los encofrados y cubrir completamente las armaduras de refuerzo con los medios de compactación disponibles, depende en gran parte del tamaño máximo del agregado grueso.

Otra de las funciones importantes de los agregados es la de aportar parte de la resistencia propia a la resistencia a la compresión del concreto.

En muchas ocasiones el peso del concreto es el factor más importante, caso en el cual el peso de los agregados se convierte en factor fundamental para la estabilidad

de la estructura. Algunos ejemplos en los que la densidad de los agregados es primordial son: los contrapesos y macizos de anclaje o estructuras diseñadas para aislamiento acústico y protección contra radiaciones.

Cuando el concreto se encuentre sometido a exposiciones severas, como es el caso de humedecimiento y secado, aguas o suelos agresivos, exposición a los ácidos, etc., los agregados como componentes de él, aportan su durabilidad propia al conjunto.

Los agregados también cumplen un papel importante en concretos a la vista o arquitectónicos, cuando se trata de concretos claros o blancos, la tonalidad de la arena es fundamental para su logro.

2.1.3.3 ESPECIFICACIONES PARA LOS AGREGADOS

Las características más importantes de los agregados para concreto se presentan en la Tabla No. 2.5 y algunas de éstas se presentan en este apartado:

Tabla No.2.5: Características y ensayos de los agregados

Característica	Importancia	Requisito o característica reportada
Resistencia a abrasión y degradación	Índice de calidad del agregado: resistencia al desgaste de pisos y pavimentos	Porcentaje máximo de pérdida de masa. Profundidad de desgaste y tiempo
ASTM C 131 (AASHTO T 96), ASTM C 535, ASTM C 779		
<i>TABLA CONTINÚA EN LA SIGUIENTE PÁGINA</i>		

Característica	Importancia	Requisito o característica reportada
Resistencia a congelación-deshielo	Descascaramiento superficial, aspereza, pérdida de sección y estética	Número máximo de ciclos o período de inmunidad a congelación, factor de durabilidad
ASTM C 666 (AASHTO T 161), ASTM C 682, AASHTO T 103		
Resistencia a desintegración por sulfatos	Sanidad contra el intemperismo	Pérdida de masa, partículas que muestren fallas
ASTM C 88 (AASHTO T 104)		
Forma y textura superficial de las partículas	Trabajabilidad del concreto fresco	Porcentaje máximo de partículas planas y elongadas
ASTM C 295, ASTM D 3398		
Granulometría	Trabajabilidad del concreto fresco y economía	Porcentajes mínimo y máximo que pasa por los tamices estándar
ASTM C 117 (AASHTO T 11), ASTM C 136 (AASHTO T 27)		
Degradación del agregado fino	Índice de la calidad del agregado: resistencia a degradación durante el mezclado	Cambio de la granulometría
ASTM C 1137		
Contenido de vacíos no compactado del agregado fino	Trabajabilidad del concreto fresco	Contenido de vacíos no compactado del agregado fino y gravedad específica
ASTM C 1252 (AASHTO T 304)		
Masa volumétrica (masa unitaria)	Cálculos del diseño de la mezcla, clasificación	Peso compactado y peso suelto
ASTM C 29 (AASHTO T 19)		
Masa específica relativa	Cálculos del diseño de la mezcla	-
ASTM C 127 (AASHTO T 85), ASTM C 128 (AASHTO T 84)		
Absorción y humedad superficial	Control de la calidad del concreto (relación agua-cemento)	-
ASTM C 70, ASTM C 127 (AASHTO T 85), ASTM C 128 (AASHTO T 84), ASTM C 566 (AASHTO T 255)		

TABLA CONTINÚA EN LA SIGUIENTE PÁGINA

Característica	Importancia	Requisito o característica reportada
Resistencia a compresión y a la flexión	Aceptación del agregado fino que no haya pasado en los otros ensayos	La resistencia que exceda 95% de la resistencia lograda con arena purificada
ASTM C 39 (AASHTO T 22), ASTM C 78 (AASHTO T 97)		
Definiciones de los constituyentes	Entendimiento y comunicación claros	-
ASTM C 125, ASTM C 294		
Constituyentes del agregado	Determinar la cantidad de material deletéreo y orgánico	Porcentaje máximo permitido de los constituyentes individuales
ASTM C 40 (AASHTO T 21), ASTM C 87 (AASHTO T 71), ASTM C 117 (AASHTO T 11), ASTM C 123 (AASHTO T 113), ASTM C 142 (AASHTO T 112), ASTM C 295		
Resistencia a la reactividad con los álcalis y cambio de volumen	Sanidad contra cambios de volumen	Cambio máximo longitudinal, constituyentes, cantidad de sílice y alcalinidad
ASTM C 227, ASTM C 289, ASTM C 295, ASTM C 342, ASTM C 586, ASTM C 1260 (AASHTO T 303)		
<i>Fuente: Diseño y control de mezclas. PCA. México. 2004</i>		

AGREGADO GRUESO

De acuerdo a la norma ASTM C33-02a el agregado grueso deberá consistir de grava, grava triturada, piedra triturada, escoria de alto horno enfriada al aire o concreto de cemento hidráulico triturado, o una combinación de ellos.

- GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO

El agregado grueso debe cumplir con los requisitos prescritos en la tabla 2 de la norma ASTM C33 para una granulometría aceptable⁸.

AGREGADO FINO

El agregado fino deberá consistir en arena natural, arena manufacturada (o triturada), o una combinación de ambas; según la norma ASTM C33.

- GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO

La granulometría de los agregados finos de acuerdo con la norma ASTM C 33 se muestra en la Tabla No. 2.6.

Las especificaciones de la Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras Estatales y Transporte (por sus siglas en inglés AASHTO), de la Norma Mexicana (por sus siglas NMX) y de la Norma Técnica Colombiana (por sus siglas NTC) permiten que los porcentajes mínimos (por masa) de material que pasa en los tamices de 300 μm (No.50) y 150 μm (No.100) se reduzcan a 5% y 0%, respectivamente, si:

⁸ En los anexos se encontrará dicha tabla.

1. Se usa el agregado en un concreto con aire incluido (incorporado) que contenga más de 237 kg de cemento por m³ de concreto y más del 3% de contenido de aire (AASHTO y NTC).
2. Se usa el agregado en un concreto que contenga más de 297 kg de cemento por m³ de concreto, cuando el concreto no tenga aire incluido (AASHTO y NTC).
3. Se usa material cementante suplementario aprobado, a fin de suministrar la deficiencia de material que pasa en los dos tamices.

Tabla No.2.6: Límites granulométricos del agregado fino

Malla (especificación E11)	Porcentaje pasando
9.5 mm (3/8 plg)	100
4.75 mm (No. 4)	95 a 100
2.86 mm (No. 8)	80 a 100
1.18 mm (No.16)	50 a 85
600 μm (No. 30)	25 a 60
300 μm (No. 50)	5 a 30
150 μm (No. 100)	0 a 10

Fuente: Norma ASTM C33: "Especificación estándar para agregados para concreto".

Otros requisitos de la ASTM C33 (AASHTO M6), COVENIN⁹ 277, IRAM¹⁰ 1501 (parte II), NMX-C-111 y NTC 174 son:

1. El agregado fino no debe contener más del 45% de material retenido entre cualquiera de dos tamices normalizados consecutivos.
2. El módulo de finura debe ser mayor que 2.3 y menor que 3.1, y no debe variar más que 0.2 del valor típico de la fuente del agregado. Si se excede este valor, el agregado se debe rechazar, a menos que se hagan ajustes adecuados en la proporción entre los agregados fino y grueso.

Las cantidades de agregado fino que pasan a través de los tamices de 300 μm (No. 50) y de 150 μm (No. 100) afectan la trabajabilidad, la textura superficial, el contenido de aire y el sangrado (exudación) del concreto. La mayoría de las especificaciones permite un porcentaje que pasa en el tamiz 300 μm (No. 50) del 5% al 30%. El límite más bajo puede ser suficiente para condiciones fáciles de colocación o donde el acabado del concreto se le dé mecánicamente, como ocurre en los pavimentos. Sin embargo, en pisos acabados manualmente, o donde se desee una textura superficial lisa, se debe usar un agregado fino con, por lo menos, 15%

⁹ Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN).

¹⁰ Instituto Argentino de Normalización y Certificación, fundado bajo el nombre de Instituto Argentino de Racionalización de Materiales y aún conocido como IRAM.

de masa que pase en el tamiz 300 μm (No. 50) y 3% o más en el tamiz 150 μm (No. 100).

- MÓDULO DE FINURA

El módulo de finura (MF) tanto del agregado fino como del grueso se calcula, de acuerdo con ASTM C 125, COVENIN 255, IRAM 1627, NCh¹¹ 165, NMX-C-111, NTC 385, NTE¹² 0694:83, NTP¹³ 400.011 y UNIT-NM¹⁴ 2, sumándose los porcentajes acumulados de la masa retenida en cada uno de los tamices de la serie especificada y dividiéndose esta suma por 100. La serie especificada de tamices para la determinación del MF es: 150 μm (No. 100), 300 μm (No. 50), 600 μm (No. 30), 1.18 mm (No. 16), 2.36 mm (No. 8), 4.75 mm (No. 4), 9.5 mm (3/8 pulg.), 19.0 mm (3/4 pulg.), 37.5 mm (1 1/2 pulg.), 75 mm (3 pulg.) y 150 mm (6 pulg.).

El MF es un índice de finura del agregado: cuanto mayor el MF, más grueso es el agregado. Agregados con granulometrías diferentes pueden tener el mismo MF. El MF de los agregados finos es útil para estimar las proporciones de agregados fino y grueso en el concreto.

¹¹ Norma Chilena

¹² Norma Técnica Ecuatoriana

¹³ Norma Técnica Peruana

¹⁴ Instituto Uruguayo de Normas Técnicas

- SUSTANCIAS DAÑINAS

La cantidad de sustancias dañinas en este tipo de agregado, no debe exceder los límites que se mencionan en la tabla No. 2.7:

Tabla No.2.7: Límites para sustancias deletéreas en el agregado fino para concreto

Item	% de masa de la muestra total, máx.
Grupos de arcilla y partículas delezables	3.0
Material más fino que la malla 75 μm (N0. 200): <ul style="list-style-type: none"> - Concreto sujeto a abrasión - Otros concretos 	3.0 5.0
Carbón y lignito: <ul style="list-style-type: none"> - Donde la apariencia superficial del concreto es importante - Otros concretos 	0.5 1.0
<p><i>Fuente: Norma ASTM C33: "Especificación estándar para agregados para concreto".</i></p>	

2.2 INFLUENCIA DE LA ARENA NATURAL EN LAS PROPIEDADES EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO DEL CONCRETO HIDRÁULICO

Geológicamente las arenas naturales, en general, son rocas pequeñas provenientes de otras más grandes ya sean ígneas, sedimentarias o metamórficas; son producto de la desintegración de las rocas, debido a la influencia mecánica del agua, del viento, a los cambios de temperatura, a la acción química que es la que transforma o disuelve los minerales componentes de las rocas.

En San Salvador y sus alrededores, la arena es de origen volcánico y se encuentra como componente de las cenizas volcánicas denominadas “tierra blanca”. De manera general las capas de suelo de San Salvador, en su mayoría están formadas por limos arenosos, arenas limosas y arenas arcillosas depositadas en estratos donde el agua lluvia, especialmente, se encarga de arrastrar hacia los ríos o arenales los distintos granos de suelo para luego depositar la arena contenida y seguir transportando los limos, arcillas, etc. que son de menor peso y no alcanzan a ser depositados.

Las arenas presentan un color que depende de los minerales componentes de las mismas, de los pigmentos presentes en ellas, así como también, de acuerdo al contenido de materia orgánica, de aquí que encontramos arena de distinto color: blanca-amarillenta, café-obscura, negruzcas o grises debido a la presencia de

carbono orgánico sin oxidación; este último tipo de color lo encontramos en arenas en contacto con aguas estancadas un poco agitadas.

Según la época de explotación se puede dividir las fuentes de arena de origen fluvial en fuentes de invierno y fuentes de verano, siendo las primeras las que solamente se forman en invierno debido a la sedimentación o depositación de los materiales llevada a cabo después de que la lluvia se ha encargado de transportarlas a lugares determinados obedeciendo a la mecánica de depositación de las mismas.

Estas fuentes de arena de invierno sufren agotamiento debido a que la corriente de agua en el cauce desaparece en la época seca y por consiguiente el volumen de arena será menor que el obtenido de las fuentes de verano puesto que estas, además de ser explotadas en invierno, lo son también en la época de verano debido a que siempre se mantienen en constante acarreo de los materiales a causa de la corriente de agua que siempre está presente en los cauces naturales.

La presencia de materia orgánica en los sedimentos de arena puede ser aceptable o no de acuerdo a la proporción en que se encuentre, puesto que según el lugar de la fuente de arena es probable que esté contaminada, debido a que todas las aguas negras, aguas lluvias, industriales, etc. provenientes de la mayoría de las áreas pobladas del país, tienen su desagüe en los arenales o ríos.

Los depósitos de las arenas en nuestro medio, son el resultado de la sedimentación de tipo fluvial, de tal manera que en estos toman participación directa para su realización, la velocidad del agua, la cual según sea su magnitud, así será el impacto del agua y del material de arrastre sobre los distintos materiales del cauce, llegando a veces a la erosión cuando la velocidad es demasiado alta.

Los materiales finos generalmente utilizados en El Salvador, son procedentes de ríos, éstos materiales contienen un alto contenido de pómez y consecuentemente una alta absorción.

En la zona de San Salvador el agregado fino que se usa es casi exclusivamente arena de río, la mayor parte de ella extraída principalmente del río Las Cañas, y se caracteriza por su contenido más o menos alto de partículas de pómez (ver tabla No. 2.8).

En muchos casos la arena que se extrae de los ríos no recibe más tratamiento que la eliminación de la grava por cribado. En verano, las arenas de río poseen mayor cantidad de material más fino que la malla No. 200.

Las arenas de río que no pasan por ningún tratamiento de lavado y clasificación, presentan el inconveniente de que no es posible un control de granulometría, pues esta puede variar de un punto a otro en un mismo banco.

Es por lo anterior, que cada vez la industria de la construcción, que exige el empleo de materiales que cumplan con las especificaciones requeridas, está desplazando el uso de arena de río con la explotación de bancos de mina de arena natural (o buscando otras alternativas), por tener éstas características más uniformes que las anteriores.

Aunque la calidad de las arenas de río está puesta en duda, aún sigue utilizándose como materia prima para la construcción en muchas obras, ya que resulta más económica.

En cuanto a las aplicaciones de las arenas naturales se distinguen las siguientes:

- Hechura de mortero y concreto hidráulico
- Prefabricados
- Como material de relleno
- Bases y sub-bases de carreteras
- Pavimentos asfálticos
- Lechos filtrantes
- Mejoramiento de suelos

2.3 INFLUENCIA DE LA ARENA TRITURADA EN LAS PROPIEDADES EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO DEL CONCRETO HIDRÁULICO

La arena triturada es un agregado para concreto, de uso bastante extendido hoy en día. La tecnología del concreto debe presentar propuestas para el desarrollo e incremento de los conocimientos del concreto hidráulico con arenas de trituración, de modo tal que la difusión de los avances alcanzados puedan verse reflejados en una mayor calidad de las obras.

En la actualidad hay muchos países que se encuentran con la problemática de no contar con agregados finos naturales que cumplan con las especificaciones, o en el más exigente de los casos, existen controles gubernamentales que impiden la explotación de ciertas áreas o depósitos.

Tomando como alternativa la manufactura de arena, la industria de producción de agregados pétreos ha realizado innovaciones en los procesos de producción logrando manufacturar arena de la más alta calidad.

Las arenas trituradas han sido consideradas, por mucho tiempo, como inadecuadas para la elaboración de concreto hidráulico, y en muchos países las normativas las excluyen como materia prima.

Las arenas trituradas presentan un elevado contenido de polvo (material que pasa la malla No. 200) que tiene la misma mineralogía de la roca origen, y su contenido generalmente excede los límites permitidos por las especificaciones.

Bajo determinadas condiciones, existen evidencias de que este material no modifica algunas de las características del concreto. Cuando el concreto se encuentra en estado fresco, el polvo de roca puede aumentar el consumo de agua de la mezcla y disminuir la capacidad y velocidad de exudación (sangrado) y el contenido de aire atrapado, dependiendo del módulo de finura de la arena y el contenido unitario de cemento empleado. En estado endurecido, puede aumentar la resistencia de las mezclas con bajo contenido de cemento y la contracción por secado.

El contenido de polvo está limitado por las normas en función de su influencia sobre el consumo de agua. Con respecto a esta característica, existe un estudio denominado "Influencia del Polvo de Roca Granítica Sobre Las Propiedades de Los Hormigones" en el que los resultados obtenidos concluyen que el empleo de hasta un 20% de polvo de roca con un óptimo factor de empaque de los agregados, no modifica la consistencia, disminuye la capacidad y velocidad de exudación. Para el concreto endurecido, disminuye la absorción de agua, en tanto que la resistencia y el grado de hidratación se incrementan con el contenido de polvo en la arena.

Las arenas trituradas son partículas angulosas y de textura superficial rugosa. Estas características requieren de un incremento en el consumo de agua o de pasta para

alcanzar una determinada trabajabilidad en la mezcla de concreto, pero puede ser corregido mediante un estricto control durante la manufactura de la arena.

El concreto elaborado con arena triturada por la angulosidad y rugosidad de sus partículas, es más difícil de bombear que el concreto elaborado con arena natural. Esto se nota especialmente en concretos con bajos contenidos de cemento, siendo una solución eficaz y económica a este problema, la mezcla de arena manufacturada con arena natural. Otra solución es agregar más cemento o cierta cantidad pequeña de finos inertes a la mezcla, siendo técnicamente una buena solución, aunque costosa.

2.3.1 UTILIZACIÓN DE LA ARENA TRITURADA EN EL SALVADOR EN LOS ÚLTIMOS AÑOS

En El Salvador no es una práctica común la utilización de arena triturada, pero en los últimos años, se está considerado como una alternativa de sustituto para la arena natural.

Para la realización de los proyectos paquete II y III del Viceministerio de Transporte que consistía en la ampliación y pavimentación de la carretera de San Martín a San Rafael Cedros se consideró el uso de arena triturada como agregado fino para el concreto compactado con rodillo (CCR).

Se le realizaron diferentes pruebas de laboratorio a la arena, concluyéndose que utilizando este tipo de agregado se obtiene mayores resistencias con una cantidad mínima de cemento. Además, al usar este tipo de agregado se contribuye a minimizar el impacto ambiental al evitar la explotación de los ríos.

En la tesis denominada “Comportamiento de las arenas de trituración como sustituto de arena natural en la elaboración de concreto hidráulico”¹⁵, se puede observar cómo se ha ido extendiendo el uso de la arena triturada desde el año 2000 en los proyectos de infraestructura vial en el país y en la elaboración de concreto premezclado, utilizando combinaciones de arena natural y arena triturada en algunos casos.

Además, las canteras que producen este tipo de agregados para concreto, como por ejemplo La Cantera S.A. de C.V., se han visto en la necesidad de producir una mayor cantidad de este producto debido a la demanda que en los últimos años se ha generado para proyectos de carreteras, sobre todo.

De acuerdo la tesis antes mencionada, la arena triturada que se utiliza en nuestro país presenta las siguientes características, comparadas con la arena natural que se utiliza ordinariamente en nuestro medio:

¹⁵ Trabajo de graduación elaborado en la Universidad de El Salvador en el año 2005.

- ✓ Mayor gravedad específica
- ✓ Menor porcentaje de absorción
- ✓ Mayor peso volumétrico
- ✓ No presentan materia orgánica
- ✓ Mayor módulo de finura
- ✓ Mayor cantidad de finos que pasan la malla #200
- ✓ Genera un menor consumo de cemento
- ✓ Produce una mayor resistencia a la compresión en el concreto a los 3, 7 y 28 días
- ✓ Proporciona un mayor peso volumétrico al concreto

Por último, es importante mencionar que algunas normas de construcción en nuestro país actualmente sólo permiten la utilización de arena triturada en cierto porcentaje de combinación con arena natural; determinando que el porcentaje de arena de trituración no puede ser mayor al 30% del total de agregado fino¹⁶.

¹⁶ Manual Centroamericano. Especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales. Sección 703.01. SIECA. 2001

2.4 PROPIEDADES FÍSICAS DE LAS ARENAS NATURALES Y DE LAS ARENAS TRITURADAS

Las propiedades físicas más importantes de las arenas se presentan a continuación en la tabla No. 2.8; en la que se comparan los resultados obtenidos de distintos ensayos realizados a las arenas naturales y a las arenas trituradas de distintos bancos, provenientes de: Río Tihuapa, La Cantera y Río Las Cañas.

Tabla No.2.8: Tabla comparativa de los resultados obtenidos en ensayos realizados a distintas arenas

Característica	Tipos de arena		
	Arena natural lavada industrialmente (Río Tihuapa)*	Arena triturada (La Cantera ¹⁷)*	Arena natural (Río Las Cañas)**
Absorción	4.72	2.12	6.94
Módulo de finura	2.57	3.12	2.76
Equivalente de arena	85.6	82.5	-
Sanidad de los agregados	1.42	1.18	-
% de grumos de arcilla y partículas desmenuzables	0.13	0.18	0.41

¹⁷ Proveniente de La Cantera, en San Diego, La Libertad.

Característica	Tipos de arena		
	Arena natural lavada industrialmente (Río Tihuapa)*	Arena triturada (La Cantera ¹⁷)*	Arena natural (Río Las Cañas)**
Partículas livianas en el agregado	8.95	0	12.63
Densidad Relativa	2.441	2.558	2.096
% de material que pasa la malla No. 200	-	6.1	3.91
Características plásticas	-	n.p.	-
Impurezas orgánicas	Más claro que la placa No. 1	n.p.	-

Fuente:

**Ensayos realizados por La Cantera S. A. de C.V. e ICIA S. A. de C.V. (Laboratorio de suelos y materiales.*

*** Tomado del “Estudio de la calidad de los agregados para concreto en las canteras más importantes de El Salvador”, por Ing. José Miguel Landaverde Quijada, El Salvador, 1998*

CAPÍTULO III

DISEÑO Y PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS

3.1 INTRODUCCIÓN

En el siguiente apartado se muestran detalladamente los pasos a seguir en esta investigación, de manera que el trabajo de laboratorio se desarrolle de una manera ordenada y sistemática. En esta metodología se definen las fases o pasos a seguir que abarcan, desde la selección de los materiales hasta el análisis de resultados; además, se muestran los requerimientos en cuanto a calidad exigidos a los materiales a utilizar para elaborar las mezclas de concreto, así como los requisitos que debe cumplir el concreto en estado fresco.

Así mismo, se han definido previamente unos parámetros fijos y otros variables que permitirán delimitar esta investigación y realizar un mejor análisis de los resultados obtenidos en los distintos ensayos que se realizarán a las mezclas de concreto.

También se explica la metodología que se seguirá en el diseño de las mezclas de concreto, las resistencias a la compresión esperadas, el número de especímenes que se elaborarán para los ensayos a compresión y las distintas combinaciones de agregado fino (arena triturada y arena natural). Además, se exponen los ensayos

que se le efectuarán al concreto en estado fresco y endurecido, a fin de obtener la información requerida para la comparación de los distintos diseños de mezcla.

Finalmente, aparece la forma de simbolización de los especímenes de ensayo que serán elaborados para cada una de las mezclas y el desarrollo del cálculo y proporcionamiento de uno de los diseños para una de las mezclas de concreto que competen a esta investigación.

3.2 GENERALIDADES

Los elementos que formarán todas las mezclas de concreto serán los siguientes:

- ✓ Cemento: Portland tipo HE ASTM C1157
- ✓ Agregado grueso: Grava # 6, según ASTM C 33-03
- ✓ Agregado fino: Arena triturada y arena natural lavada industrialmente
- ✓ Agua

Todas las mezclas elaboradas con dichos elementos, deberán cumplir con el nivel de trabajabilidad deseado en estado fresco (revenimiento de 4 pulgadas, con una tolerancia de 1 pulgada) y resistencias de diseño requeridas en esta investigación: 210 kg/cm² y 280 kg/cm².

Por lo tanto, todas las características de los elementos que formarán las mezclas de concreto se determinarán previamente al diseño de las mezclas, pues éstas sirven

como parámetros de partida para los cálculos de las proporciones de las mezclas que se obtendrán según la metodología propuesta por el Comité ACI 211.1-91.

3.3 PARÁMETROS FIJOS Y VARIABLES

3.3.1 PARÁMETROS FIJOS

Los parámetros fijos que regirán esta investigación son los que se mencionan a continuación.

3.3.1.1 CONDICIONES DE LABORATORIO

Todos los ensayos a los agregados para el concreto, la elaboración de las mezclas de concreto y los ensayos al concreto, tanto en estado fresco como endurecido, se llevarán a cabo en los Laboratorios del Plantel Central de Holcim Concretos. Dichas pruebas de laboratorio serán efectuadas por el autor de esta investigación con el apoyo del personal del Laboratorio.

3.3.1.2 AGREGADOS PARA EL CONCRETO

El agregado fino que se utilizará será arena triturada procedente de La Cantera S.A. de C.V. de San Diego, La Libertad y arena natural lavada industrialmente de La Cantera S.A. de C.V. del río Tihuapa. El agregado grueso (grava) que se utilizará en

todas las mezclas, tendrá un tamaño máximo nominal (TMN) de 3/4" y será de La Cantera S.A. de C.V. de San Diego, La Libertad.

3.3.1.3 AGUA

En todas las mezclas se utilizará agua potable, procedente de la red pública de ANDA (Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados), pues es de donde procede el agua que se utiliza en el Laboratorio del Plantel Central de Holcim Concretos.

3.3.1.4 CEMENTO

Para todas las mezclas se utilizará un cemento hidráulico Tipo HE, elaborado según la norma ASTM C-1157, producido por la empresa Holcim.

3.3.1.5 MÉTODOLOGÍA PARA EL PROPORCIONAMIENTO DE LAS MEZCLAS

El proporcionamiento de las mezclas de concreto se llevará a cabo según la metodología propuesta por el Comité ACI 211.1-91 "Práctica estándar para la selección del proporcionamiento de mezclas de concreto normal, pesado y masivo".

3.3.1.6 RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN EN ESTUDIO.

Las resistencias a la compresión en estudio serán las siguientes: 210 kg/cm² y 280 kg/cm²; mismas que servirán para el cálculo de diseño y proporcionamiento de las mezclas de concreto.

3.3.1.7 REVENIMIENTO

Este parámetro se fijará en 4 pulgadas, con una tolerancia de ± 1 pulgada.

3.3.2 PARÁMETROS VARIABLES

Los parámetros variables que se supondrán en este trabajo de investigación, son los siguientes:

- Humedad de los agregados.
- Temperatura del concreto.
- Contenido de aire.
- Pesos volumétricos.
- Agregado fino: arena natural lavada industrialmente, arena triturada y una combinación de arena natural lavada industrialmente y arena triturada.

3.4 METODOLOGÍA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL EN EL LABORATORIO

Tomando como parámetro inicial, resistencias a la compresión de 210 kg/cm² y 280 kg/cm² a 28 días, y que serán denominadas cada una por su letra correlativa (A y B), se procederá a elaborar 6 mezclas resultantes de la utilización de arena triturada, arena natural y una combinación de ambas para cada una de las resistencias mencionadas, la simbología de cada mezcla estará compuesta por la letra que identifica la resistencia (A ó B) y un número correlativo que identifique el tipo de agregado fino (arena triturada: 1, arena natural: 2, combinación de arena triturada y arena natural: 3).

Todos los elementos que conforman cada una de las mezclas, a excepción del agregado fino (agregados gruesos, agua y cemento), poseen las mismas características físicas en cada una de las mezclas, de tal forma que la única variable a tomar en cuenta será el tipo de agregado fino (arena triturada y arena natural).

Se trabajará con un cemento tipo HE, regido por la norma ASTM C-1157, y los agregados que se manejarán para el diseño y elaboración de las mezclas proceden de la misma fuente; según lo mencionado en los alcances de este trabajo de investigación.

Para el diseño de las mezclas se comenzará por el estudio de las propiedades de los agregados, con el fin de comprobar si son apropiados para utilizarse en la

elaboración de las mezclas de concreto; a continuación se procederá al cálculo teórico experimental para el diseño de cada mezcla y así obtener el diseño final para cada una de las 6 mezclas que serán objeto de esta investigación.

Antes de proceder con la elaboración de las mezclas, se llevará a cabo un muestreo de los agregados, para determinar el contenido de humedad de los mismos y efectuar las correcciones por humedad y absorción pertinentes.

Para cada una de las mezclas en estado fresco se medirán los parámetros de:

- ✓ Temperatura (ASTM C-1064),
- ✓ Contenido de aire (ASTM C-231),
- ✓ Trabajabilidad, la cual se medirá con el ensayo de revenimiento (ASTM C-143) y para el que se establecerá como aceptable un revenimiento de 4 pulgadas y una tolerancia de ± 1 pulgada.
- ✓ Peso volumétrico del concreto en estado fresco (ASTM C-138)

Y para el concreto en estado endurecido se estudiará la resistencia a la compresión en cilindros (ASTM C-39).

Todas las mezclas se harán usando una máquina concretera con una capacidad de 80 litros. Se elaborarán 30 pares de especímenes por cada mezcla, ensayándose 10 pares a las edades de 7 días, y 20 pares a 28 días de edad.

La resistencia a la compresión será medida en cilindros de 6 pulgadas de diámetro y 12 pulgadas de altura (15 cm y 30 cm, respectivamente); todos los especímenes serán curados según lo establece la norma ASTM C-192 hasta el día de su ensayo.

3.5 ESTRUCTURA DE LA INVESTIGACIÓN

La estructura de esta investigación está fundamentada en los objetivos específicos de este trabajo de graduación, con lo que se intenta establecer lo siguiente:

- Comprobar cómo afecta a las propiedades en estado fresco del concreto el uso de arena triturada; comparado con otro concreto elaborado en las mismas condiciones, con arena natural lavada industrialmente y otro elaborado con una combinación de ambas. Utilizando los ensayos de revenimiento, temperatura, contenido de aire y peso volumétrico.
- Determinar la influencia de la arena triturada en las propiedades en estado endurecido, de las mezclas de concreto hidráulico con arena triturada, arena natural y una combinación de éstas, ensayados a la compresión, en las mismas condiciones.

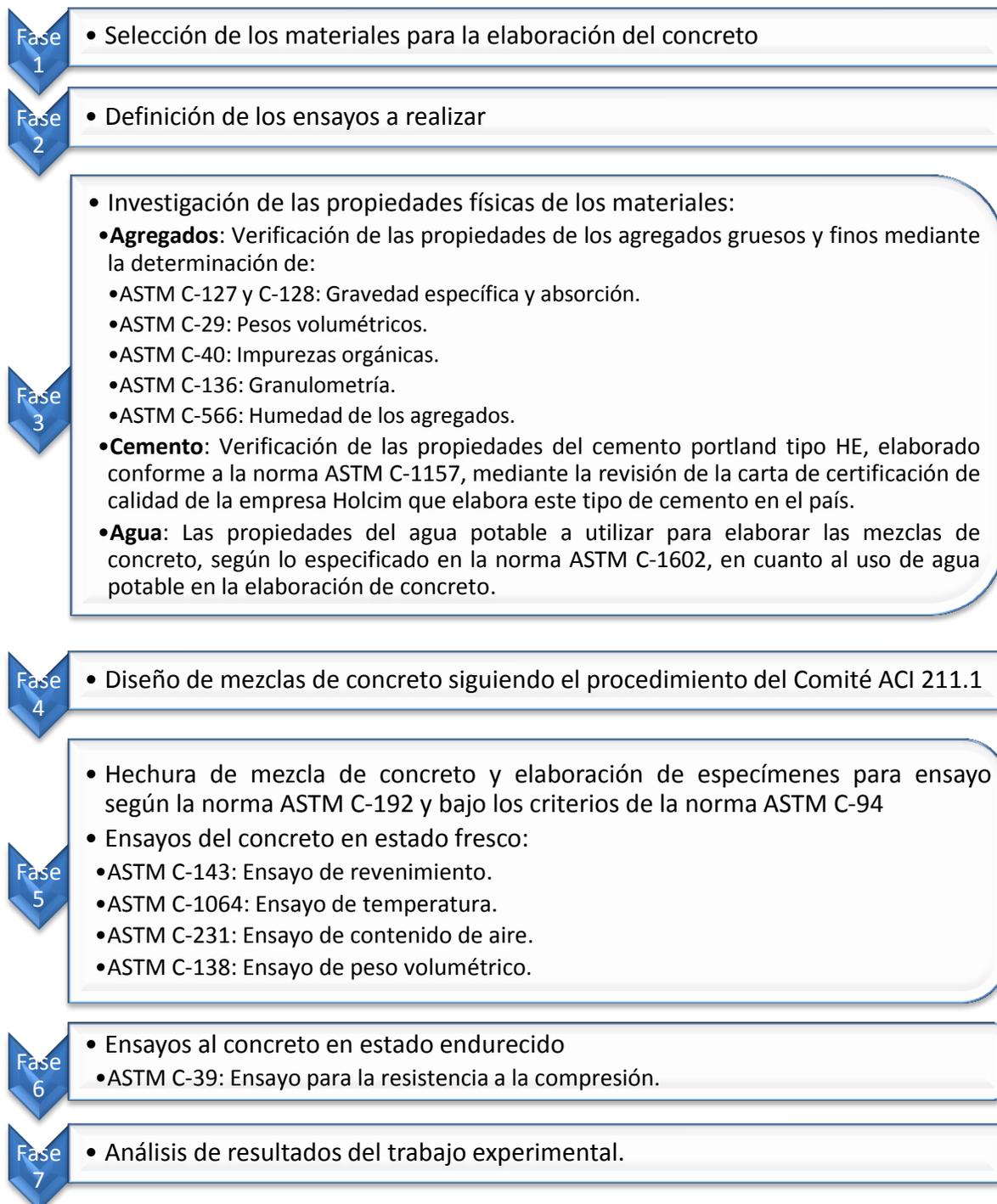
3.5.1 EJECUCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La metodología de la investigación se dividirá en 7 fases que permitirán desarrollar con orden; tanto el trabajo experimental en laboratorio, como el análisis final de los resultados obtenidos.

Dicha división en fases será de la siguiente manera: (ver figura No. 3.1)

- FASE 1: Selección de los materiales.
- FASE 2: Definición de los ensayos a realizar.
- FASE 3: Investigación de las propiedades de los materiales.
- FASE 4: Diseños de mezclas para resistencias especificadas.
- FASE 5: Hechura de mezclas, elaboración de especímenes y ensayo al concreto en estado fresco.
- FASE 6: Ensayos al concreto endurecido.
- FASE 7: Análisis de resultados.

Figura No.3.1: Secuencia del proceso de investigación del trabajo de graduación:



3.5.1.1 FASE 1: SELECCIÓN DE LOS MATERIALES

AGREGADOS

Los materiales a utilizar en la elaboración de todas las mezclas de concretos en esta investigación proceden de una misma fuente respectivamente, el agregado grueso (grava) y el agregado fino (arena), proceden de la empresa La Cantera S.A. de C.V.

DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LA ARENA NATURAL LAVADA INDUSTRIALMENTE Y DE LA ARENA TRITURADA PRODUCIDA POR LA CANTERA S.A. DE C.V.: CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DE LOS BANCOS DE EXTRACCIÓN

A continuación se presenta una breve descripción de las características geológicas de los bancos de extracción, tanto de la arena natural lavada industrialmente, como de la arena triturada y de la grava. Todos ellos de La Cantera S.A. de C.V.

LA CANTERA S.A. DE C.V.: BANCO DE ARENA NATURAL LAVADA INDUSTRIALMENTE.

La arena natural lavada industrialmente que se extrae en la Planta de La Cantera S.A. de C.V. ubicada en Cangrejera, en las riberas del río Tihuapa (Figura No. 3.2). Estas arenas son producto de la desintegración o fragmentación de rocas preexistentes debido al intemperismo y la erosión; procedentes de la roca basáltica de Panchimalco. Y su ubicación se debe al proceso de transporte y depositación por causas naturales antes mencionadas.



Figura No.3.2: Planta de extracción y lavado de arena natural en el río Tihuapa.

Fuente: Google Earth. Noviembre 2011.

LA CANTERA S.A. DE C.V: BANCO DE GRAVAS Y ARENA TRITURADA

El terreno de la empresa La Cantera, S.A. se ubica en el km 57 ½ de la carretera El Litoral, 2 km al oriente de la ciudad y puerto de La Libertad, con el río San Antonio de por medio. Pertenece al cantón Tepeagua del municipio y departamento de La Libertad y se ubica en el cuadrante geográfico 2356 IV, coordenadas 13°29' de latitud norte y 89°17'30" de longitud oeste.

- RELIEVE

El terreno de La Cantera, de una extensión superficial de 1,814,235.00 m², está sobre una zona montañosa costera que constituye el macizo de elevaciones que se caracteriza por ser áreas montañosas de la zona intermedia diseccionadas por quebradas profundas y abruptas. El relieve es bastante irregular y accidentado

debido a fallas y levantamientos; ejemplo de estas fallas es el llamado Salto de San Antonio ubicado a 1 km al norte del terreno. El relieve local es: alto, de ondulado-alomado a accidentado, las pendientes varían desde 30% hasta 80% en elevaciones hasta los 100 metros de altura sobre el nivel del mar. (Ver en la Figura No. 3.3: mapa de topografía de La Cantera S.A. de C.V. Cuadrante 2356 IV NE Escala 1:35,000).

- SUELOS

Los suelos del terreno y de toda su zona de influencia pertenecen al gran grupo Latosol Arcillo Rojizo. Son medianamente profundos con textura que va de franco arcillosa a arcillosa. Los horizontes superiores son franco arcillosos de color pardo rojizo con pedregosidad superficial severa y con pH de 5.5 a 6 que los hace moderadamente ácidos. Las capas inferiores son también arcillosas de color pardo rojizo y con igual grado de pedregosidad. La profundidad hasta la roca madre es variable, pero en promedio se puede establecer en alrededor de 1 a 2 metros dependiendo de la posición que ocupen los suelos en el terreno. En áreas escabrosas, como es el caso de algunas zonas aledañas a la cantera, la roca madre es muy superficial y a veces aflora la roca pura.

Las zonas de mayor elevación, pertenecen a la unidad "Mjc", Majagual – Acajutla Alomado en Planicies Antiguas, la cual corresponde a suelos pedregosos y superficiales que pertenecen al grupo de los Litosoles y Latosoles Arcillo Rojizos.

Los primeros son suelos arcillosos y bastante pedregosos, con poco o ningún nivel de desarrollo. Se encuentran principalmente sobre materiales tales como conglomerados duros y tobas.

El horizonte superficial de 10 centímetros es friable, de color oscuro, con estructura granular débil; el subsuelo arcilloso tiene color café oscuro, pedregoso y estructurado en bloques fuertes. Existen además afloramientos rocosos esparcidos irregularmente en varios puntos. En general, son suelos extremadamente pedregosos, poco profundos y de mediana a baja productividad.

Las zonas más accidentadas, de mayor pendiente y que forman las laderas muy pronunciadas a ambos lados del Río San Antonio, pertenecen a la unidad "Mjb", Majagual Muy Accidentado en Montañas, que son suelos de estructura también pedregosos y de características estructurales similares a los de la Unidad Mjc, con la diferencia de que son de una zona montañosa fuertemente diseccionada y erosionada, ya que se encuentran en quebradas profundas con cortes verticales y sin valles de deposición. Estas formaciones han sido originadas por fallas, levantamientos, algunos plegamientos tectónicos y principalmente por la acción erosiva del agua de lluvia.

El drenaje superficial y subterráneo es de moderado a rápido; son terrenos no excesivamente húmedos en época lluviosa y totalmente secos en época no lluviosa.

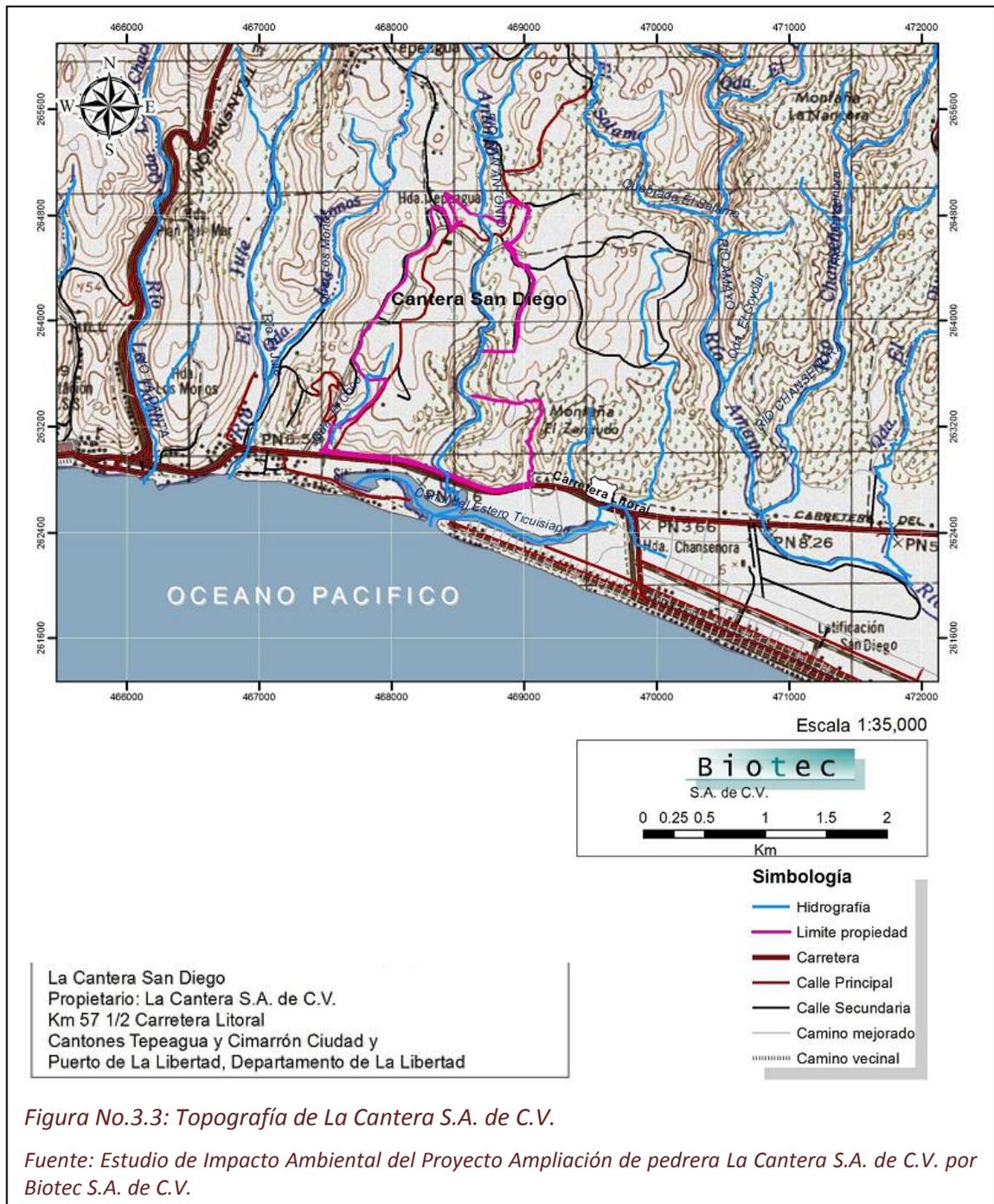


Figura No.3.3: Topografía de La Cantera S.A. de C.V.

Fuente: Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Ampliación de pedrera La Cantera S.A. de C.V. por Biotec S.A. de C.V.

- GEOLOGÍA

El Estudio de Impacto Ambiental del proyecto Ampliación de pedrera La Cantera S.A, de C.V, realizado por Biotec S.A. de C.V., determina solamente la presencia de roca volcánica piroclástica y roca volcánica efusiva denominada basalto, tal como se puede apreciar en el Mapa Geológico que se presenta en la Figura No. 3.4. El depósito de estos materiales proporcionó la siguiente secuencia estratigráfica, que del más antiguo al más reciente, se detalla a continuación:

- ✓ Aglomerados volcánicos que pertenecen a la Formación Bálsamo, conocidos localmente en esta cantera con el nombre de talpetate. Su presencia se visualiza mejor a orillas de la carretera de El Litoral, entre la entrada principal a la cantera y la que sirvió de acceso al área antigua de explotación del material basalto, así como también a orillas del río San Antonio, en ambos sitios con espesores que en algunos casos alcanzan los veinte metros. Son materiales volcánicos piro clásticos que corresponden a la Formación Bálsamo.

Se trata de rocas bastante cohesivas, formadas por una matriz de granulometría arenosa con una gran cantidad de incrustaciones de materiales pétreos andesíticos y basaltitos de diferentes tamaños, que en algunos casos presentan las superficies cubiertas por arcillas.

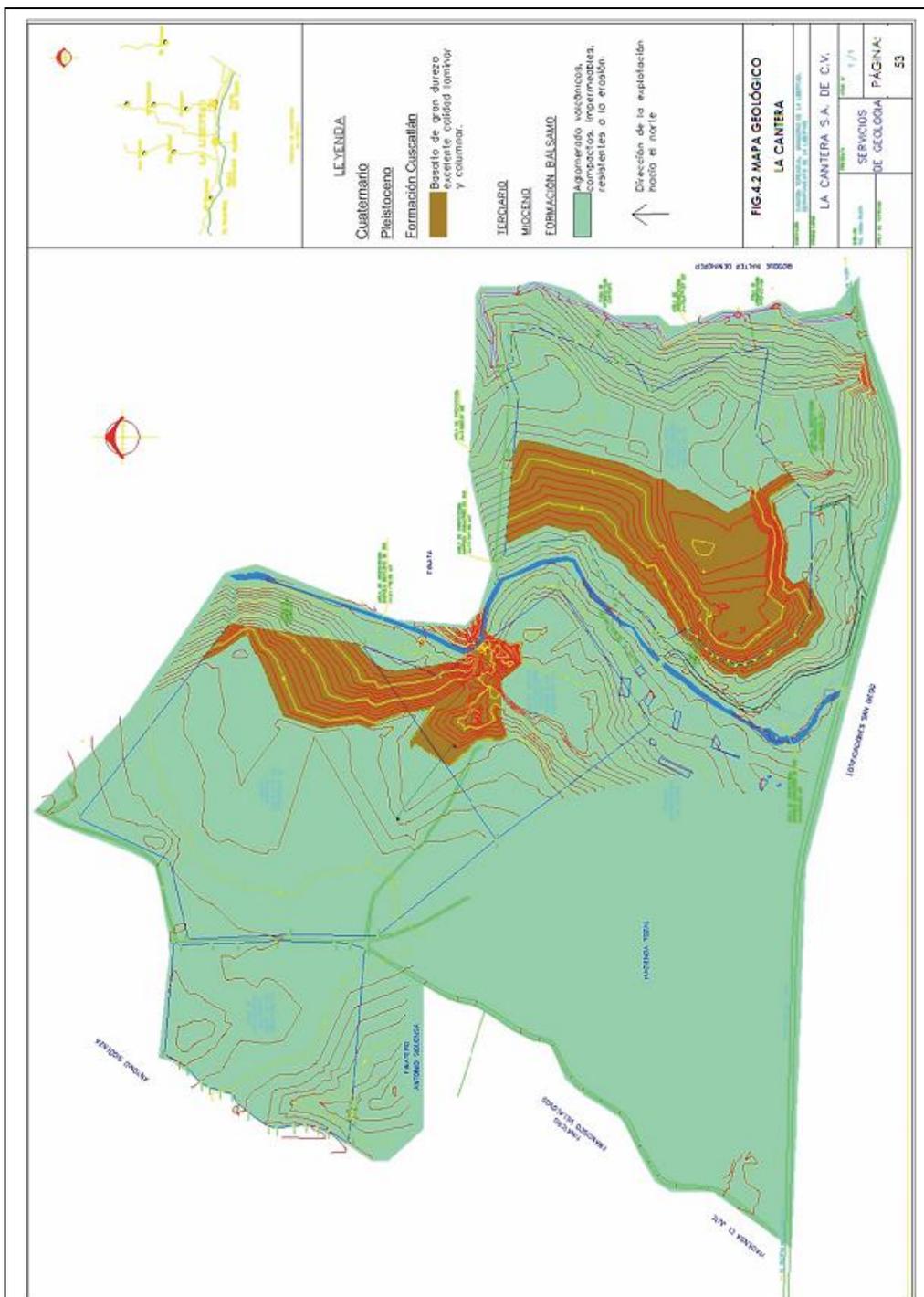


Figura No.3.4: Mapa geológico La Canterera.
 Fuente: Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Ampliación de pedrera La Canterera S.A. de C.V. por Biotec S.A. de C.V.



Debido a su dureza son muy resistentes a la erosión, razón por la que han dado lugar a la formación de taludes verticales o casi verticales de gran estabilidad.

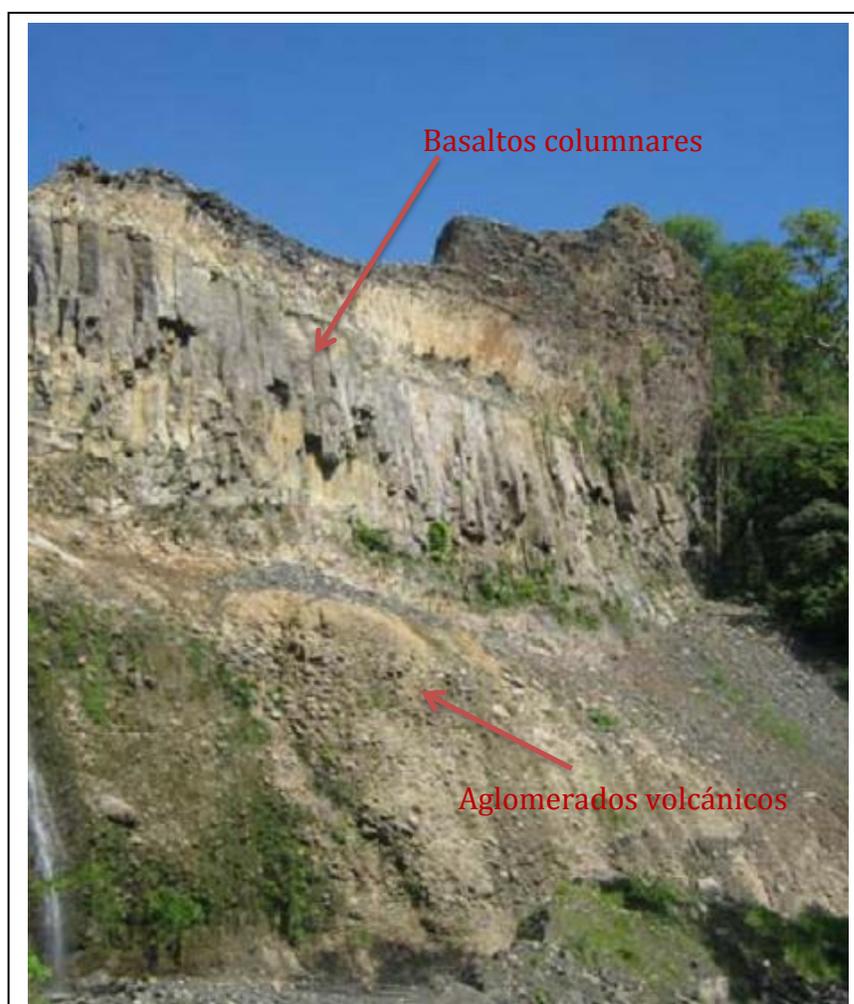
De igual manera son muy impermeables, siendo esta condición la que no permite que constituyan ningún acuífero en el área estudiada.

En el área de la cantera constituyen el piso o basamento, lo cual significa que el material pétreo que se explota se encuentra superpuesto a estos aglomerados volcánicos. De acuerdo a la información obtenida en este lugar, en el pasado se perforó un pozo en búsqueda de agua subterránea en estos materiales geológicos hasta la profundidad de 90 metros, lo cual da una idea del gran espesor que poseen.

✓ Basaltos, en su mayoría columnares

(figura No. 3.5), que pertenecen a la Formación Cuscatlán (c3), los cuales se

originaron como consecuencia de una actividad volcánica efusiva fisural en la era cuaternaria y período pleistoceno. Se trata de una roca de matriz fina, por el hecho de estar formada por minerales ferromagnesianos microscópicos fuertemente unidos entre sí, lo cual incide para que la roca presente una gran dureza.



*Figura No.3.6: Basaltos columnares y aglomerados volcánicos.
Fuente: Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Ampliación de
pedrera La Cantera S.A. de C.V. por Biotec S.A. de C.V.*

Para mayor ilustración, en la Figura No. 3.6 se presenta la secuencia estratigráfica entre ambos materiales, donde se nota claramente que los estratos de basaltos columnares yacen sobre los aglomerados volcánicos.

En la cantera actual en explotación, el espesor del basalto en las cinco terrazas es de aproximadamente 80 metros, lo cual se puede considerar como el espesor máximo de este material pétreo; sin embargo, en la medida que se avanza hacia el norte, el espesor va en disminución hasta llegar a la cota 120 (ver figura No. 3.3: Topografía de La Cantera S.A. de C.V.) donde se nota la presencia de los aglomerados volcánicos.

Tabla No.3.1 Características de los agregados producidos por La Cantera S.A. de C.V

Característica	Valor
Contenido de orgánicos (según carta de colores)	Arena natural: 1 Arena triturada: menor de 1
Gravedad Especifica	Arena natural: 2.45 Arena triturada: 2.62 Grava: 2.6
Absorción	Arena natural: 4.70 % Arena triturada: 2.40 % Grava: 1.5 %
<i>Fuente: Ensayos de laboratorio realizados por el autor de este trabajo de graduación. Fechas: septiembre-octubre 2011</i>	

En resumen, las características de los agregados que produce la Cantera S.A. de C.V. son las que se muestran en la tabla No. 3.1

CEMENTO

El material cementicio a utilizar es un cemento hidráulico tipo HE (según ASTM C-1157).

El cemento Tipo HE es un cemento hidráulico por desempeño, el cual posee la misma composición del cemento Tipo I, pero con la adición de puzolana y filler en proporciones específicas en la molienda final.

Este cemento alcanza resistencias mayores a los 4200 psi a los 28 días, por lo que es recomendado para cualquier tipo de uso en las construcciones en general, especialmente en concretos estructurales para pavimentos.

Debido a sus características de alta resistencia inicial, este cemento puede ser utilizado en la construcción en general, aunque principalmente se recomienda para la construcción de pavimentos de concreto, estabilización de suelos y bases granulares.¹⁸

¹⁸ Tomado de <http://www.holcim.com.sv/holcimcms/index.php?id=14850>. Fecha: 22/05/12

AGUA

El agua que se utilizará para elaborar todas las mezclas será potable, de la red de suministro de agua de ANDA, y que cumple con los requisitos de las normas ASTM C-94 y ASTM C-1602.

3.5.1.2 FASE 2: DEFINICIÓN DE ENSAYOS A REALIZAR

Los ensayos de laboratorio se llevarán a cabo según los procedimientos señalados en las normas ASTM (Sociedad Americana para Ensayos de Materiales, por sus siglas en inglés). Dichos ensayos, se clasificarán en: ensayos al concreto en estado fresco: ensayo de revenimiento, contenido de aire, peso volumétrico, y temperatura de la mezcla. Y ensayos al concreto en estado endurecido: resistencia a la compresión de cilindros de concreto. En la Tabla No. 3.2 se exponen los ensayos y las normas a que se usarán para la elaboración de las mezclas de concreto en este trabajo de graduación.

Tabla No.3.2: Ensayos a realizar al concreto en esta investigación

Estado del concreto	Pruebas de laboratorio	Norma
Fresco	Revenimiento de concreto de cemento hidráulico	ASTM C-143
	Temperatura de concreto de cemento hidráulico	ASTM C-1064
	Contenido de aire del concreto	ASTM C-231
	Peso volumétrico	ASTM C-138
Endurecido	Determinación de esfuerzos a compresión en cilindros de concreto	ASTM C-39
<i>Fuente: el autor</i>		

3.5.1.3 FASE 3: INVESTIGACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

Dado que las propiedades físicas de los agregados influyen en gran medida en el cálculo de las proporciones de la mezcla, es muy importante su estudio y análisis. En el caso de esta investigación, se tomarán en cuenta: la gravedad específica, la absorción y los pesos volumétricos (suelos y varillados). Para la obtención de dicha información, se realizarán las pruebas respectivas a los agregados (según las normas ASTM), las cuales serán ejecutadas por el autor de esta investigación; asimismo se realizarán los ensayos de impurezas orgánicas (solamente a la arena) y el análisis granulométrico para determinar la calidad de los agregados.

En la tabla No. 3.3 se presentan los ensayos a realizar a los agregados en esta investigación para verificar su calidad.

Tabla No.3.3: Ensayos a realizar a los agregados en esta investigación

Prueba	Norma
Muestreo de agregados	ASTM D-75
Reducción a tamaño de prueba	ASTM C-702
Análisis granulométrico	ASTM C-136
Impurezas orgánicas	ASTM C-40
Gravedad específica y absorción	ASTM C-127 (agregado grueso) ASTM C-128 (agregado fino)
Pesos volumétricos	ASTM C-29
Humedad de los agregados	ASTM C-566
<i>Fuente: el autor</i>	

En cuanto a la calidad del cemento, como se mencionó en la sección 3.3.1.4 de este documento, éste cumple con los requisitos de la Norma ASTM C-1157.

3.5.1.4 FASE 4: DISEÑO DE MEZCLAS

Como ya se había mencionado, se harán 6 diseños de mezclas para 2 diferentes resistencias: tres diseños para cada resistencia modificando únicamente el agregado fino. Para el diseño de la mezcla se acatará lo señalado por el Comité ACI 211.1. Dicho proceso se expone en el capítulo siguiente.

3.5.1.5 FASE 5: HECHURA DE MEZCLA DE CONCRETO, ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES Y ENSAYOS AL CONCRETO EN ESTADO FRESCO.

HECHURA DE LA MEZCLA DE CONCRETO EN EL LABORATORIO Y ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES (CILINDROS) DE ENSAYO

La elaboración de las mezclas de concreto se ajustará a la norma ASTM C-192 “Práctica estándar para la elaboración y curado en laboratorio de especímenes de concreto para ensayo”.

PRUEBA DE REVENIMIENTO

Se seguirá lo señalado por la norma ASTM C-143 “Método estándar de ensayo para revenimiento del concreto de cemento hidráulico”; este ensayo arrojará resultados variables en la investigación, pero siempre dentro del rango que se fijó en la sección 3.3.1.7 de este documento; pues de lo contrario, las mezclas serán desechadas.

FABRICACIÓN, CURADO Y ALMACENAMIENTO DE ESPECÍMENES DE CONCRETO ELABORADOS EN LABORATORIO

La fabricación, curado y almacenamiento de los especímenes de concreto se regirá por el contenido de la norma ASTM C 192 “Práctica estándar para elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayo”.

ENSAYO DE TEMPERATURA

Para el ensayo de temperatura, se seguirá el procedimiento indicado en la norma ASTM C 1064 “Método estándar de ensayo para temperatura de concreto de cemento portland recién mezclado”.

Dado que un concreto con temperaturas mayores a 32 °C, tiende a evaporar agua con mayor facilidad, creando en la superficie “Agrietamiento por secado”, es de suma importancia la medición de la temperatura en el concreto recién mezclado.

ENSAYO DE CONTENIDO DE AIRE DEL CONCRETO

Para el ensayo de contenido de aire del concreto, se tomará en cuenta la norma ASTM C-231 “Método de ensayo estándar para la determinación del contenido de aire del concreto recién mezclado por el método de presión”.

3.5.1.6 FASE 6: ENSAYOS AL CONCRETO ENDURECIDO

El único ensayo que se realizará al concreto en estado endurecido será el de resistencia a la compresión, con el objetivo de conocer la influencia que tiene la arena triturada como sustituto de la arena natural en mezclas de concreto hidráulico.

RESISTENCIA DEL CONCRETO A LA COMPRESIÓN

Para este ensayo, se usará la norma ASTM C-39 “Método estándar de ensayo para esfuerzo de compresión en especímenes cilíndricos de concreto”.

3.5.1.7 FASE 7: ANÁLISIS DE RESULTADOS

Después de realizar todas las pruebas y registrar todos los resultados de los ensayos, se procederá al análisis de los mismos.

3.6 REQUISITOS DEL CONCRETO Y SUS COMPONENTES

3.6.1 REQUISITOS DEL CEMENTO

Los requerimientos que debe cumplir el cemento que se utilizará para realizar las mezclas de concreto en esta investigación estarán determinados por la norma ASTM C-1157, para el cemento hidráulico Tipo HE, según lo especificado en la sección 3.3.1.3 de este documento.

3.6.2 REQUISITOS DEL AGREGADO FINO

Los requisitos que debe cumplir el agregado fino (arena natural, arena triturada y la combinación de ambas) son los que se mencionan a continuación en las especificaciones utilizadas en esta investigación para elaborar concreto y que aparecen en la tabla No. 3.4.

Tabla No.3.4: Especificaciones de agregado fino para elaborar concreto

Prueba de laboratorio	Requisitos
Análisis granulométrico	ASTM C-33
Gravedad específica y absorción	$2.4 < G_s < 2.9$ Abs% < 6.0%
Impurezas orgánicas	Color estándar 3 Máximo
<i>Fuente: Curso "Fundamentos de tecnología del concreto" ISCYC (2006)</i>	

3.6.3 REQUISITOS DEL AGREGADO GRUESO

El agregado grueso para la elaboración de las mezclas de concreto que se realizarán en esta investigación debe cumplir con lo que se muestra en la tabla No. 3.5:

Tabla No.3.5: Calidad de los agregados gruesos (especificaciones).

Ensayos de laboratorio	Requisitos
Análisis Granulométrico	Según ASTM C 33
Peso Unitario	1260-1750 kg/m ³
Gravedad específica y absorción	2.4 < G _s < 2.9 Abs% < 4%
<i>Fuente: Curso "Fundamentos de tecnología del concreto" ISCYC (2006)</i>	

3.6.4 REQUISITOS DEL AGUA

Como se mencionó en la sección 3.3.1.3 el agua a que se utilizará es la que proporciona ANDA a la red local de suministro para uso doméstico. En este caso, no muestra color, sabor, ni olor; y teniendo en cuenta que el agua tiene antecedentes en la elaboración de concreto con buenos resultados, no se estima necesario efectuar pruebas para determinar la calidad de la misma.

3.6.5 REQUISITOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

En la tabla No. 3.6 se muestran los requerimientos que deberá cumplir el concreto en estado fresco.

Tabla No.3.6: Requisitos del concreto en estado fresco

Pruebas de laboratorio	Requisitos
Hechura de mezcla	Según ASTM C-192
Temperatura del concreto	32 °C Máxima (según ASTM C-94)
Revenimiento	4 Pulgadas (± 1 plg)
Contenido de aire	3.5% máximo (según ASTM C-94)
<i>Fuente: el autor.</i>	

3.7 SIMBOLIZACIÓN DE ESPECÍMENES DE CONCRETO PARA ENSAYO

En primer lugar, se designó una letra para identificar la resistencia a la compresión deseada en los especímenes de concreto, tal como se explica en la sección 3.4 de este documento. De tal forma que la simbolización de los especímenes queda determinada por una letra que identifica el $f'c$ que se desea obtener, seguido de un número comprendido entre 1 y 3 que representa el tipo de agregado fino, este número se encuentra seguido de un guion y de otro número respectivo a cada espécimen a elaborar que estará comprendido entre 1 y 60 debido a que serán

elaborados 30 pares de especímenes, 10 pares que serán probados a compresión a los 7 días y 20 pares de especímenes que serán probados a compresión a 28 días. En la tabla No. 3.7 se presenta la simbolización que se utilizara para evaluar las características en estado endurecido de cada una de las mezclas de concreto.

Tabla No.3.7: Simbolización de especímenes para ensayo

Resistencia a compresión		Tipo de agregado fino		No correlativo de espécimen	Ejemplo
Kg/cm ²	Simbología	Agregado fino	Simbología		
210	A	A.T. ¹⁹	1	1...60	A1-46
		A.N. ²⁰	2	1...60	A2-1
		Comb. ²¹	3	1...60	A3-60
280	B	A.T.	1	1...60	B1-21
		A.N.	2	1...60	B2-5
		Comb.	3	1...60	B3-38

Fuente: el autor.

¹⁹ A.T.: Arena triturada

²⁰ A.N.: Arena natural

²¹ Comb: Combinación de arena natural (60%) y arena triturada (40%)

3.8 DISEÑO DE MEZCLAS

3.8.1 INTRODUCCIÓN

A continuación se presenta el procedimiento utilizado para la elaboración de los diseños de las mezclas de concreto con arena natural y arena triturada para las resistencias requeridas en este trabajo de investigación.

Como primer paso en el diseño de una mezcla de concreto es necesario conocer algunos parámetros que comprueben las propiedades de los agregados que se utilizarán y verificar si cumplen los requerimientos exigidos para el tipo de concreto a fabricar. Por lo tanto, a continuación se presentan los resultados obtenidos de los ensayos realizados a los agregados que se utilizarán en este trabajo de investigación: arena natural del río Tihuapa, arena triturada y grava de La Cantera.

Asimismo, se incluye el cálculo experimental para el diseño de las mezclas de concreto en donde se puntualizan los diez pasos en los que ha sido dividido el procedimiento de diseño, los cuales se han determinado según el procedimiento correspondiente al comité ACI 211. Luego, se muestra de forma detallada cada uno de los pasos antes mencionados aplicados a las mezclas de diseño de esta investigación.

3.8.2 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO A LOS AGREGADOS A UTILIZAR

La sección 3.5.1.3 de este documento muestra los ensayos a realizar para comprobar las propiedades de los agregados a utilizar en las mezclas de concreto requeridas en este trabajo de graduación. De la misma forma, en la sección 3.6 se muestran los requisitos que deberán cumplir dichos agregados.

A continuación se muestran, en la tabla No. 3.8 los resultados de los ensayos realizados a la grava, a la arena triturada y natural que se usarán en esta investigación.

Tabla No.3.8: Resumen de resultados de las pruebas de laboratorio realizadas a los agregados

Ensayo	Resultado
Granulometría del agregado grueso	Grava #6 y TMN ¾" Según ASTM C33
Granulometría arena triturada	M.F.: 3.0 Según ASTM C33: 2.3 < M.F. < 3.1
Granulometría arena natural	M.F.: 2.7 Según ASTM C33: 2.3 < M.F. < 3.1
Peso volumétrico de la grava	PVV: 1580 kg/m ³ PVS: 1490 kg/m ³ Requisito: 1260-1750 kg/m ³
Peso volumétrico de la arena triturada	PVV: 1890 kg/m ³ PVS: 1700 kg/m ³
Peso volumétrico de la arena natural	PVV: 1510 kg/m ³ PVS: 1400 kg/m ³

Ensayo	Resultado
Gravedad específica de la grava²²	$G_{S_{SSS}} = 2.59$ $G_{S_{SS}} = 2.55$ $G_{S_{aparente}} = 2.65$ Requisito: $2.4 < G_s < 2.9$
Absorción de la grava	$Abs = 1.5 \%$ Requisito: $\%Abs < 4\%$
Gravedad específica de la arena triturada²³	$G_{S_{SSS}} = 2.64$ $G_{S_{SS}} = 2.58$ $G_{S_{aparente}} = 2.74$ Requisito: $2.4 < G_s < 2.9$
Absorción de la arena triturada	$Abs = 2.4 \%$ Requisito: $\%Abs < 6\%$
Gravedad específica de la arena natural²⁴	$G_{S_{SSS}} = 2.45$ $G_{S_{SS}} = 2.34$ $G_{S_{aparente}} = 2.63$ Requisito: $2.4 < G_s < 2.9$
Absorción de la arena natural	$Abs = 4.7 \%$ Requisito: $\%Abs < 6\%$
Impurezas orgánicas arena natural y arena triturada	Menor que 1
<i>Fuente: Ensayos de laboratorio realizados por el autor de este trabajo de graduación. Fechas: septiembre-octubre 2011</i>	

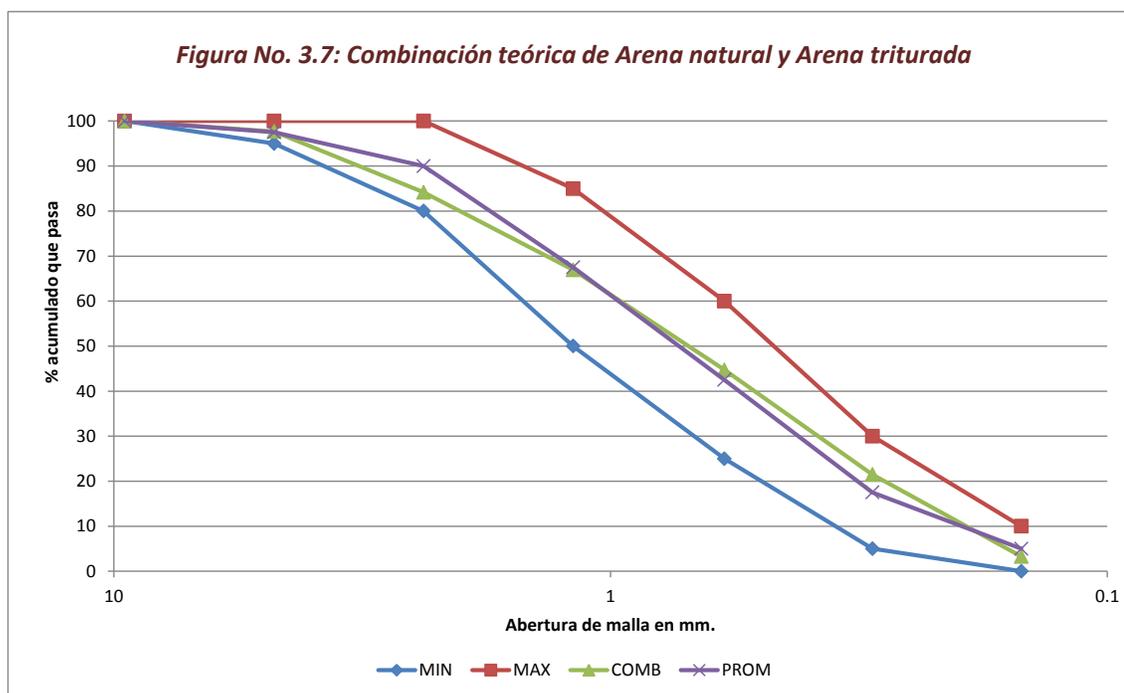
²² $G_{S_{SSS}}$: Gravedad Específica Saturada con Superficie Seca. $G_{S_{SS}}$: Gravedad Específica con Superficie Seca (gravedad específica en masa). $G_{S_{aparente}}$: Gravedad Específica Aparente (gravedad específica aparente de los sólidos con superficie seca).

²³ Idem

²⁴ Idem

3.8.2.1 SELECCIÓN DE LAS PROPORCIONES ÓPTIMAS PARA LA COMBINACIÓN DE ARENA NATURAL Y ARENA TRITURADA.

Para determinar la proporción óptima para la combinación de arena natural y arena triturada para los diseños "A" y "B", se realizaron combinaciones teóricas para las relaciones de arena natural y arena triturada de: 50%-50%, 60%-40% y 70%-30%, respectivamente. Entre estas, la que mejor se ajusta a los parámetros exigidos por la norma ASTM C33 es la relación 60%-40% para las arenas utilizadas en esta investigación, como se muestra en la figura No. 3.7.



3.8.2.2 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS DE ENSAYOS A LOS AGREGADOS

A continuación se presentan los resultados de los ensayos realizados a los agregados a utilizar en las mezclas de concreto que serán elaboradas para este trabajo de investigación.

En las tablas No. 3.9 a la No. 3.12 y las correspondientes figuras No. 3.8 a la No. 3.11 se muestran los resultados de los ensayos granulométricos para la grava, arena triturada, arena natural y la combinación de arenas natural y triturada.

En las tablas No. 3.13 a la No. 3.20 se presentan los resultados del cálculo del peso volumétrico varillado y suelto; para la grava, la arena triturada, la arena natural y la combinación de arena natural y arena triturada.

Por último, se muestran en las tablas No. 3.21 a la No. 3.24 los resultados del ensayo de gravedad específica para la grava, arena triturada, arena natural y la combinación de arenas natural y triturada.

Tabla No.3.9: Ensayo de granulometría agregado grueso: Grava

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA".					
Proyecto: <u>Trabajo de Graduación</u> Material: <u>GRAVA #6</u> Procedencia <u>La Cantara S.A. de C.V.</u> Ensayo No: <u>1</u> T.M.N.: <u>3/4"</u>	Reporte No: _____ Hoja No: _____ Fecha: <u>18-ago-11</u>					
ENSAYO GRANULOMETRICO DE AGREGADO GRUESO ASTM C-136						
Peso inicial: <u>5.339</u> Kg.						
			% RETENIDO			
Malla No.	MALLA (mm)	PESO RETENIDO (Kg)	PARCIAL		ACUMULADO	% ACUMULADO QUE PASA
1"	25.40	0	0.000	0	0.00	100
3/4"	19.05	0.815	15.265	15	15.27	85
1/2"	12.70	2.554	47.837	48	63.10	37
3/8"	9.53	1.196	22.401	22	85.50	14
No.4	4.76	0.702	13.149	13	98.65	1
No.8	2.38	0.054	1.011	1	99.66	0
Pasa No.8	Pasa No.8	0.018	0.337	0	100.00	0
	TOTAL	5.339				
Observaciones: _____ _____ _____ _____						

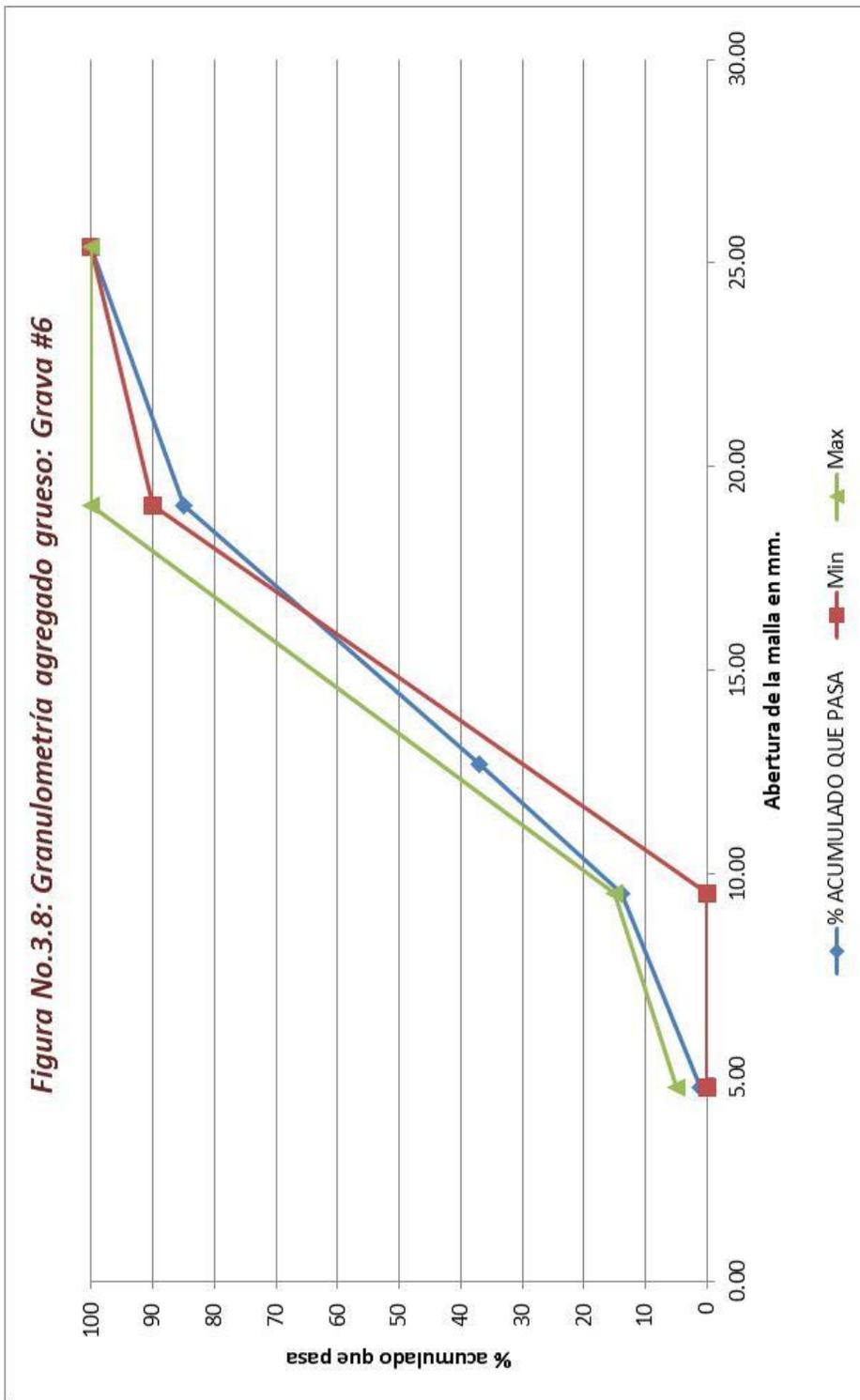


Tabla No.3.10: Ensayo de granulometría agregado fino: Arena triturada

Malla No.	MALLA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO			% ACUMULADO QUE PASA
			PARCIAL		ACUMULADO	
3/8"	9.52	0.0	0.000	0	0.00	100
No.4	4.76	12.0	2.067	2	2.07	98
No.8	2.38	124.9	21.512	22	23.58	76
No.16	1.19	127.9	22.029	22	45.61	54
No.30	0.59	90.4	15.570	16	61.18	39
No.50	0.297	71.9	12.384	12	73.56	26
No.100	0.149	113.5	19.549	20	93.11	7
Pasa No.100	Pasa No.100	40.0	6.889	7	100.00	0
TOTAL		580.6				



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
"ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA".

Proyecto: Trabajo de Graducación

Reporte No: _____

Material: ARENA TRITURADA

Hoja No: _____

Procedencia: La Cantera S.A. de C.V.

Fecha: 17-ago-11

Ensayo No: 2

Muestra No: 1

ENSAYO GRANULOMETRICO
DE AGREGADO FINO
ASTM C-136

Peso inicial: 580.6 g.

M.F.: 3.0

Observaciones: _____

Figura No.3.9: Granulometría agregado fino: Arena triturada

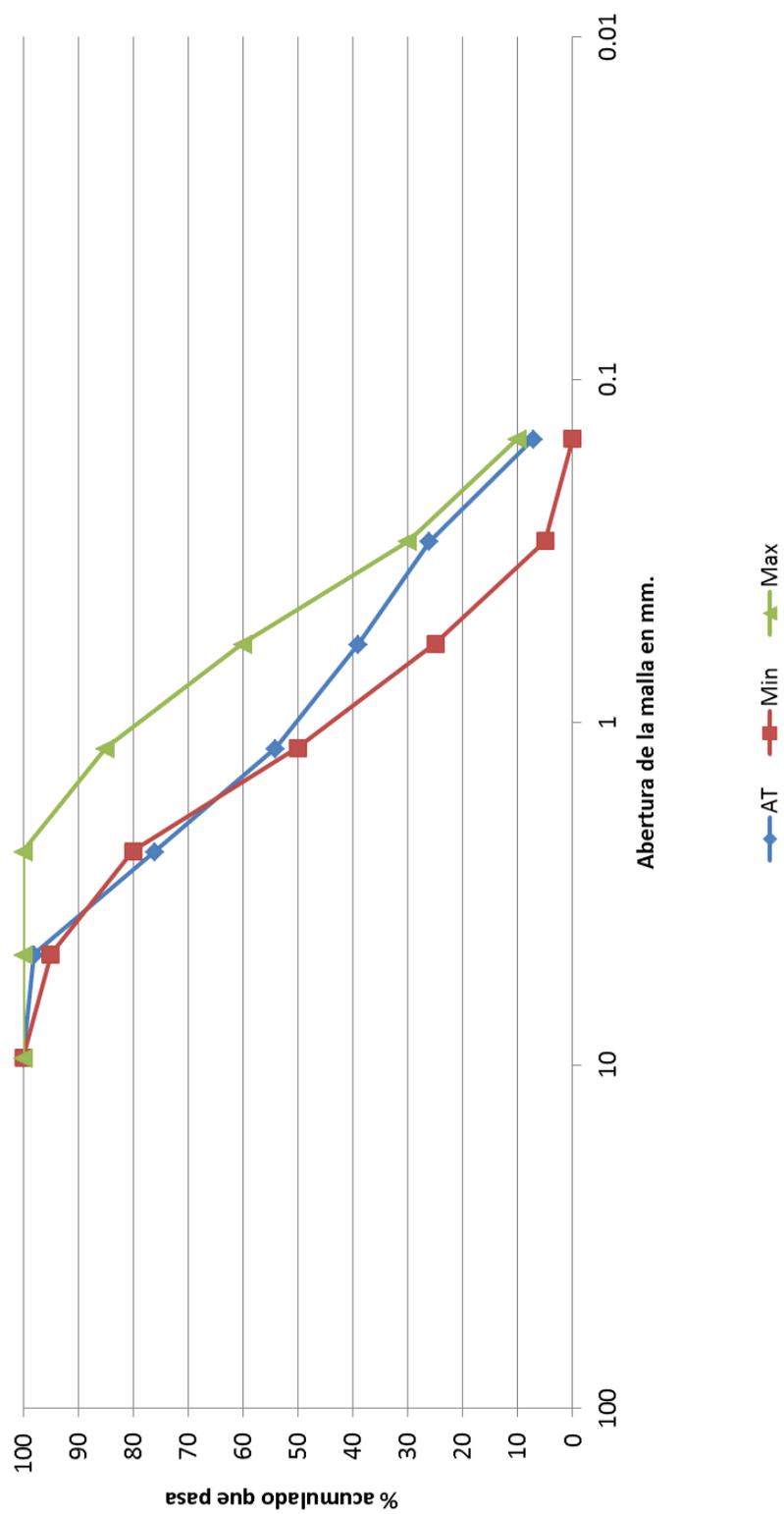


Tabla No.3.11: Ensayo de granulometría agregado fino: Arena natural

		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA".				
		Proyecto: <u>Trabajo de Graducación</u>	Reporte No: _____			
Ubicación: <u>ARENA NATURAL RÍO TIHUAPA</u>		Hoja No: _____				
Procedencia	<u>Río Tihuapa</u>	Fecha: <u>16-ago-11</u>				
Ensayo No:	<u>1</u>					
Muestra No:	<u>1</u>					
ENSAYO GRANULOMETRICO DE AGREGADO FINO ASTM C-136						
Peso inicial: <u>371.4</u> g.		M.F.: <u>2.70</u>				
Malla No.	MALLA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO			% ACUMULADO QUE PASA
			PARCIAL		ACUMULADO	
3/8"	9.52	0.0	0.00	0	0.00	100
No.4	4.76	9.2	2.48	2	2.48	98
No.8	2.38	30.4	8.19	8	10.66	89
No.16	1.19	52.0	14.00	14	24.66	75
No.30	0.59	99.2	26.71	27	51.37	49
No.50	0.297	113.0	30.43	30	81.80	18
No.100	0.149	64.4	17.34	17	99.14	1
Pasa No.100	Pasa No.100	3.2	0.86	1	100.00	0
TOTAL		371.4				
Observaciones: _____						

Figura No.3.10: Granulometría agregado fino: Arena natural

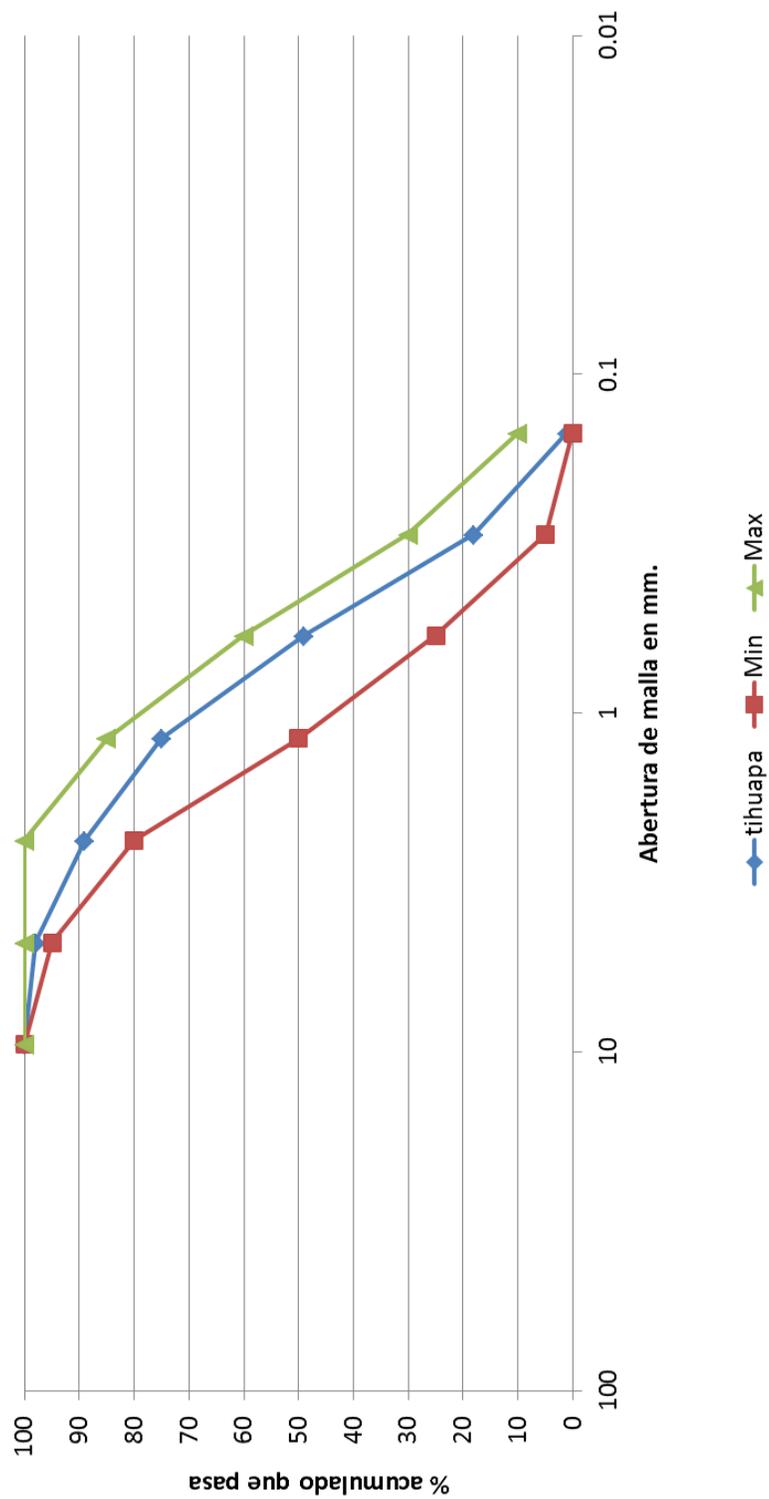


Tabla No.3.12: Ensayo de granulometría agregado fino: Combinación de arena natural (60%) y arena triturada (40%)

Malla No.	MALLA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO			% ACUMULADO QUE PASA
			PARCIAL		ACUMULADO	
3/8"	9.52	0.0	0.00	0	0.00	100
No.4	4.76	19.1	2.70	3	2.70	97
No.8	2.38	86.5	12.25	12	14.95	85
No.16	1.19	115.9	16.41	16	31.36	69
No.30	0.59	147.4	20.87	21	52.23	48
No.50	0.297	172.8	24.47	24	76.70	23
No.100	0.149	97.8	13.85	14	90.54	9
Pasa No.100	Pasa No.100	66.8	9.46	9	100.00	0
	TOTAL	706.3				



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
"ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA".

Proyecto: Trabajo de Graduación

Reporte No: _____

Ubicación: COMBINACIÓN AN (60%) - AT (40%)

Hoja No: _____

Procedencia Combinación AN y AT

Fecha: 25-oct-11

Ensayo No: 1

Muestra No: 1

ENSAYO GRANULOMETRICO
DE AGREGADO FINO
ASTM C-136

Peso inicial: 706.3 g.

M.F.: 2.68

Observaciones: _____

Figura No.3.11: Granulometría agregado fino: Combinación de AN (60%) y AT (40%)

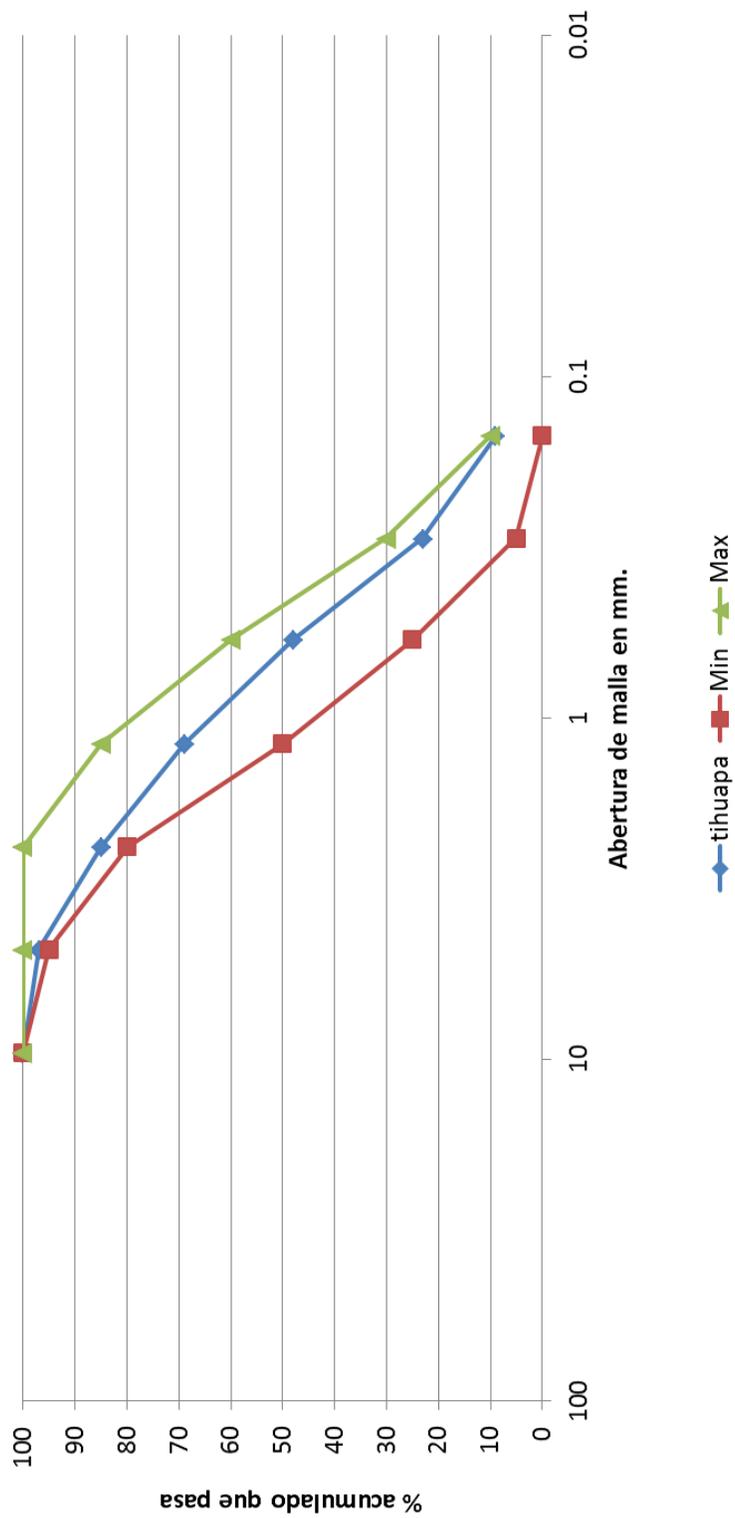


Tabla No.3.13: Peso volumétrico varillado de la grava

 <p style="text-align: center;">FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA. ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES " ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"</p> <p style="text-align: center;">DETERMINACION DEL PESO VOLUMÉTRICO VARILLADO DE LA GRAVA ASTM C-29</p>				
ENSAYO No.		1	2	3
Peso de molde	Kg	4.980	4.980	4.980
Peso de molde + material	Kg	19.785	19.880	19.835
Peso de material	Kg	14.805	14.900	14.855
Volumen del molde	cm ³	9,380	9,380	9,380
Peso volumétrico varillado	kg/m ³	1,580	1,590	1,580
Promedio	kg/m ³	1,580		
OBSERVACIONES: _____				

Tabla No.3.14: Peso volumétrico suelto de la grava

 <p style="text-align: center;">FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA. ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES " ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA "</p> <p style="text-align: center;">DETERMINACION DEL PESO VOLUMÉTRICO SUELTO DE LA GRAVA ASTM C-29</p>				
ENSAYO No.		1	2	3
Peso de molde	Kg	4.980	4.980	4.980
Peso de molde + material	Kg	18.925	19.005	18.890
Peso de material	Kg	13.945	14.025	13.910
Volumen del molde	cm ³	9,380	9,380	9,380
Peso volumétrico suelto	kg/m ³	1,490	1,500	1,480
Promedio	kg/m ³	1,490		
OBSERVACIONES:				

Tabla No.3.15: Peso volumétrico varillado de la arena triturada

 <p style="text-align: center;">FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA. ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES " ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA "</p> <p style="text-align: center;">DETERMINACION DEL PESO VOLUMÉTRICO VARILLADO DE LA ARENA TRITURADA ASTM C-29</p>				
ENSAYO No.		1	2	3
Peso de molde	Kg	5.340	5.340	5.340
Peso de molde + material	Kg	10.605	10.640	10.650
Peso de material	Kg	5.265	5.300	5.310
Volumen del molde	cm ³	2,800	2,800	2,800
Peso volumétrico varillado	kg/m ³	1,880	1,890	1,900
Promedio	kg/m ³	1,890		
OBSERVACIONES: _____				

Tabla No.3.16: Peso volumétrico suelto de la arena triturada

 <p style="text-align: center;">FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA. ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES " ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"</p> <p style="text-align: center;">DETERMINACION DEL PESO VOLUMÉTRICO SUELTO DE LA ARENA TRITURADA ASTM C-29</p>				
ENSAYO No.		1	2	3
Peso de molde	Kg	5.340	5.340	5.340
Peso de molde + material	Kg	10.135	10.075	10.090
Peso de material	Kg	4.795	4.735	4.750
Volumen del molde	cm ³	2,800	2,800	2,800
Peso volumétrico suelto	kg/m ³	1,710	1,690	1,700
Promedio	kg/m ³	1,700		
OBSERVACIONES:				

Tabla No.3.17: Peso volumétrico varillado de la arena natural

 <p style="text-align: center;">FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA. ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES " ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"</p> <p style="text-align: center;">DETERMINACION DEL PESO VOLUMÉTRICO VARILLADO DE LA ARENA NATURAL ASTM C-29</p>				
ENSAYO No.		1	2	3
Peso de molde	Kg	5.340	5.340	5.340
Peso de molde + material	Kg	9.550	9.585	9.595
Peso de material	Kg	4.210	4.245	4.255
Volumen del molde	cm ³	2,800	2,800	2,800
Peso volumétrico varillado	kg/m ³	1,500	1,520	1,520
Promedio	kg/m ³	1510		
OBSERVACIONES:				

Tabla No.3.18: Peso volumétrico suelto de la arena natural

 <p style="text-align: center;">FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA. ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES " ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA "</p> <p style="text-align: center;">DETERMINACION DEL PESO VOLUMÉTRICO SUELTO DE LA ARENA NATURAL ASTM C-29</p>				
ENSAYO No.		1	2	3
Peso de molde	Kg	5.340	5.340	5.340
Peso de molde + material	Kg	9.250	9.250	9.285
Peso de material	Kg	3.910	3.910	3.945
Volumen del molde	cm ³	2,800	2,800	2,800
Peso volumétrico suelto	kg/m ³	1,400	1,400	1,410
Promedio	kg/m ³	1,400		
OBSERVACIONES: _____				

Tabla No.3.19: Peso volumétrico varillado de la combinación de arena natural y arena triturada.

 <p style="text-align: center;">FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA. ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES " ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA "</p> <p style="text-align: center;">DETERMINACION DEL PESO VOLUMÉTRICO VARILLADO DE LA COMBINACIÓN DE AN Y AT ASTM C-29</p>				
ENSAYO No.		1	2	3
Peso de molde	Kg	5.340	5.340	5.340
Peso de molde + material	Kg	10.080	10.085	10.085
Peso de material	Kg	4.740	4.745	4.745
Volumen del molde	cm ³	2,800	2,800	2,800
Peso volumétrico varillado	kg/m ³	1,690	1,690	1,690
Promedio	kg/m ³	1,690		
OBSERVACIONES:				
.....				
.....				

Tabla No.3.20: Peso volumétrico suelto de la combinación de arena natural y arena triturada.

 <p style="text-align: center;">FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA. ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES " ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA "</p> <p style="text-align: center;">DETERMINACION DEL PESO VOLUMÉTRICO SUELTO DE LA COMBINACIÓN DE AN Y AT ASTM C-29</p>				
ENSAYO No.		1	2	3
Peso de molde	Kg	5.340	5.340	5.340
Peso de molde + material	Kg	9.760	9.725	9.745
Peso de material	Kg	4.420	4.385	4.405
Volumen del molde	cm ³	2,800	2,800	2,800
Peso volumétrico suelto	kg/m ³	1,580	1,570	1,570
Promedio	kg/m ³	1,570		
OBSERVACIONES: _____				

Tabla No.3.21: Gravedad específica de la grava.

 <p style="text-align: center;"> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA. ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES " ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA" </p> <p style="text-align: center;"> DETERMINACION DE LA GRAVEDAD ESPECIFICA DE GRAVA (ASTM C-127) </p>			
ENSAYO No.	1	2	
MUESTRA No	1	2	
Peso de grava saturada con superficie seca Kg	3.704	3.696	Promedio:
Peso de grava sumergida Kg	2.272	2.270	
Gravedad específica Bulk Sss	2.59	2.59	2.59
Peso seco de grava Kg	3.649	3.642	
Gravedad específica (aparente) de los sólidos Ss	2.65	2.65	2.65
Gravedad específica en masa Ss	2.55	2.55	2.55
Absorción %	1.5	1.5	1.5
OBSERVACIONES: _____			

Tabla No.3.22: Gravedad específica de la arena triturada.

 <p style="text-align: center;"> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA. ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES " ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA" </p> <p style="text-align: center;"> DETERMINACION DE LA GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO (ASTM C-128) ARENA TRITURADA </p>		
Muestra No	1	2
No de Picnómetro:	1	2
Peso de Picnómetro + agua (aforado) g	1458.70	1447.8
Peso de arena _{sss} g	509.6	509.4
Peso de picnómetro + agua + arena _{sss} (aforado)	1775.2	1,763.7
Gravedad específica Bulk Sss	2.64	2.63
Gravedad específica aparente	2.74	2.74
Gravedad específica en masa Ss	2.58	2.57
Peso seco de arena g	498.4	497.2
Peso de agua g	11.2	12.2
Absorción %	2.2	2.5
Promedio de gravedad específica aparente	2.74	
Promedio de gravedad específica en masa	2.58	
Promedio de gravedad específica Bulk _{sss}	2.64	
Promedio de Absorción %	2.4	

Tabla No.3.23: Gravedad específica de la arena natural.

 <p style="text-align: center;"> FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA. ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES " ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA" </p> <p style="text-align: center;"> DETERMINACION DE LA GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO (ASTM C-128) ARENA NATURAL RIÓ TIHUAPA </p>		
Muestra No	1	2
No de Picnómetro:	1	2
Peso de Picnómetro + agua (aforado) g	1468.90	1454.1
Peso de arena _{sss} g	500.30	500.0
Peso de picnómetro + agua + arena _{sss} (aforado)	1764.2	1,751.1
Gravedad específica Bulk Sss	2.44	2.46
Gravedad específica aparente	2.63	2.64
Gravedad específica en masa Ss	2.32	2.36
Peso seco de arena g	476.6	478.6
Peso de agua g	23.7	21.4
Absorción %	5.0	4.5
Promedio de gravedad específica aparente	2.63	
Promedio de gravedad específica en masa	2.34	
Promedio de gravedad específica Bulk _{sss}	2.45	
Promedio de Absorción %	4.7	

Tabla No.3.24: Gravedad específica de la combinación de arena natural y arena triturada.

Muestra No	1	2
No de Picnómetro:	1	1
Peso de Picnómetro + agua (aforado) g	1446.40	1446.40
Peso de arena _{sss} g	500.1	500.0
Peso de picnómetro + agua + arena _{sss} (aforado)	1744.4	1,743.4
Gravedad específica Bulk Sss	2.47	2.46
Gravedad específica aparente	2.64	2.63
Gravedad específica en masa Ss	2.37	2.36
Peso seco de arena g	479.8	479.6
Peso de agua g	20.3	20.4
Absorción %	4.2	4.3
Promedio de gravedad específica aparente	2.63	
Promedio de gravedad específica en masa	2.37	
Promedio de gravedad específica Bulk _{sss}	2.47	
Promedio de Absorción %	4.2	

3.9 CÁLCULO PARA EL DISEÑO DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO

Para el desarrollo del trabajo experimental de esta investigación, se utilizarán los Laboratorios de Holcim Concretos, donde se elaborarán todas las mezclas de concreto, se realizará el curado de los especímenes y la ruptura a compresión de los mismos.

El agua, la grava, la arena y el cemento a utilizar serán pesados en cubetas con un peso estándar de 1kg en una balanza con una precisión 1g. En cuanto a la dosificación de los componentes del concreto en la concreteira se hará en el orden según lo requerido en la norma ASTM C192.

3.9.1 DISEÑO DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO SEGÚN EL PROCEDIMIENTO INDICADO POR EL COMITÉ ACI 211.

Para el diseño de las 6 mezclas de concreto que se realizarán en este trabajo de graduación, se utilizará el método de diseño proporcionado por el Comité ACI 211, para unas resistencias a la compresión de 210 y 280 Kg/cm².

Este es el procedimiento que se muestra a continuación, dividido en diez pasos que facilitarán el desarrollo de esta investigación; e inmediatamente después, se muestra un ejemplo en el que se explican cada uno de los pasos²⁵:

- PASO I: Información de los materiales.
- PASO II: Cálculo de la resistencia de diseño del concreto (f'_{cr}).
- PASO III: Elección del revenimiento.
- PASO IV: Cálculo del agua de mezclado y contenido de aire.
- PASO V: Selección de la relación agua/cemento.
- PASO VI: Cálculo del contenido de cemento.
- PASO VII: Estimación del contenido de agregado grueso.
- PASO VIII: Estimación del contenido de agregado fino.
- PASO IX: Ajuste por contenido de agua de los agregados.
- PASO X: Selección de proporciones de la mezcla óptima de laboratorio.

3.9.2 APLICACIÓN DEL DISEÑO DE LA MEZCLA PROPUESTO POR EL COMITÉ ACI 211

A continuación se aplicará el procedimiento mencionado en el apartado anterior para el cálculo del proporcionamiento de la mezcla A1, que según la sección 3.7 de

²⁵ Es importante mencionar que los cálculos se llevaron a cabo en una hoja de cálculo de Microsoft Excel

este documento, pertenece a una mezcla con una resistencia de 210 kg/cm², elaborada con arena triturada.

3.9.2.1 PASO I: INFORMACIÓN DE LOS MATERIALES.

Para realizar el proporcionamiento de la mezcla es necesario tener los datos siguientes:

1. Tipo de estructura para la cual se hará el diseño.
2. Resistencia requerida.
3. Tipo de cemento.
4. Gravedad específica de agregados.
5. Pesos volumétricos de gravas y arenas.
6. Tamaño máximo del agregado.
7. Módulo de finura de la arena.
8. Límites de gravas.
9. Absorción de grava y arena.
10. Contenido de humedad de agregados.
11. Revenimiento.

A continuación se presentan las propiedades de los materiales (tabla No. 3.25), los cuales han sido obtenidos mediante la realización de cada uno de los ensayos correspondientes conforme a lo expuesto en la sección 3.5.1.3 de este documento.

Tabla No.3.25: Información de las propiedades de los materiales

Material	Propiedades						
	Gravedad Específica ²⁶			Abs (%)	P.V.V. (kg/m ³)	Módulo de finura	Materia orgánica
	G _{Ssss}	G _{Sss}	G _{Saparente}				
Arena Natural	2.45	2.34	2.63	4.7	1510	2.7	No
Arena Triturada	2.62	2.58	2.74	2.4	1890	3.0	No
Grava	2.59	2.55	2.65	1.5	1580	-	No
Cemento	2.98	-	-	-	-	-	No
Agua	1.00	-	-	-	-	-	No

Fuente: el autor. Tablas de ensayos realizados, sección 3.8.2 de este documento y Tabla 3.8: Resumen de resultados.

3.9.2.2 PASO II: CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DE DISEÑO DEL CONCRETO (f'_{cr})

Para el cálculo de la resistencia de diseño del concreto (f'_{cr}) se utilizará la tabla No.

3.26, la cual depende del f'_c .

²⁶ **G_{Ssss}**: Gravedad Específica Saturada con Superficie Seca. **G_{Sss}**: Gravedad Específica con Superficie Seca (gravedad específica en masa). **G_{Saparente}**: Gravedad Específica Aparente (gravedad específica aparente de los sólidos con superficie seca).

En este trabajo de investigación se utilizará una resistencia a la compresión promedio requerida cuando no se dispone de datos para una desviación estándar, según lo indicado en el comité ACI 318-08.

Tabla No.3.26: Resistencia a la compresión promedio requerida cuando no se dispone de datos para una desviación estándar.

Resistencia a la compresión especificada f'_c (kg/cm ²)	Resistencia a la compresión requerida promedio, f'_{cr} (kg/cm ²)
Menos que 210	$f'_c + 70$
210 a 350	$f'_c + 85$
Mayor que 350	$1.10 f'_c + 50$

Fuente: Adaptación de la Tabla 5.3.2.2 del ACI 318-08

En el caso de las resistencias a compresión para este trabajo de investigación, las resistencias requeridas promedio (f'_{cr}) serán, respectivamente:

Para (según tabla No. 3.26):

$$f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow f'_{cr} = 210 + 85 = 295 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow f'_{cr} = 280 + 85 = 365 \text{ kg/cm}^2$$

3.9.2.3 PASO III: ELECCIÓN DEL REVENIMIENTO.

Para esta investigación se definió, en los alcances y en la sección 3.6.5 un revenimiento de 4" para el concreto en estado fresco, con una tolerancia de ± 1 ".

3.9.2.4 PASO IV: CÁLCULO DEL AGUA DE MEZCLADO Y CONTENIDO DE AIRE.

Tabla No.3.27: Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales de agregados.

Agua, kg/m ³ de concreto para los tamaños máximos nominal de agregados indicados								
Revenimiento (cm)	9.5 mm (3/8")	12.5 mm (1/2")	19.0 mm (3/4")	25 mm (1")	37.5 mm (1 1/2")	50 mm (2")	75 mm (3")	150 mm (6")
De 2.5 a 5	207	199	190	179	166	154	130	113
De 7.5 a 10	228	216	205	193	181	169	145	124
De 15 a 17.5	243	228	216	202	190	178	160	-
Cantidad aproximada de aire atrapado en concreto sin inclusión de aire, expresado como %	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2

Fuente: Adaptación de la Tabla 9-5 del Capítulo 9 del libro de Tecnología del Concreto de la PCA, que a su vez fue tomada del ACI 211.1 y del ACI 318

Para el cálculo del agua de mezclado y contenido de aire se necesita conocer el revenimiento y el tamaño máximo nominal del agregado grueso y conocer si el concreto tendrá o no aire incluido. En este caso, se tomó de la tabla No. 3.27 el valor de 205 kg/m³, teniendo en cuenta que se elaborará un concreto sin aire incluido, de 10 cm de revenimiento y con un tamaño máximo nominal del agregado de ¾".

3.9.2.5 PASO V: SELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO.

Tabla No.3.28: Dependencia entre la Relación Agua-Material Cementante y la Resistencia a Compresión del Concreto.

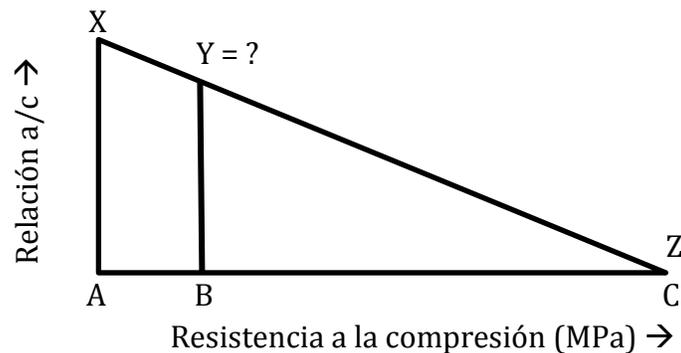
Resistencia a Compresión a los 28 días, kg/cm ² (MPa)	Relación agua-material cementante en masa	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
450 (45)	0.38	0.31
400 (40)	0.43	0.34
350 (35)	0.48	0.40
300 (30)	0.55	0.46
250 (25)	0.62	0.53
200 (20)	0.70	0.61
150 (15)	0.80	0.72

Fuente: Tabla 9-3 del Capítulo 9 del libro de Tecnología del Concreto de la PCA, que a su vez fue tomada del ACI 211.1 y del ACI 211.3

La relación agua-material cementante es simplemente la masa de agua dividida por la masa de material cementante. Dicha relación debe ser el menor valor necesario para resistir a las condiciones de exposición anticipadas. Para determinar la relación agua/cemento de la mezcla de concreto, se debe tener en cuenta los requisitos de resistencia así como las condiciones a la que estará expuesta la estructura. En el caso de este trabajo de graduación, se determinará la relación agua/cemento de acuerdo a la resistencia requerida promedio (f'_{cr}) esperada a los 28 días, según la tabla No. 3.28.

Para los f'_{cr} de este trabajo de graduación, se tomará de la interpolación entre los valores de relación agua-cemento para 300 y 250 kg/cm² (sin aire incluido), para f'_{cr} de 295 kg/cm² ($f'_c = 210$ kg/cm²) y entre 350 y 400 kg/cm² (sin aire incluido), para f'_{cr} de 365 kg/cm² ($f'_c = 280$ kg/cm²). Obteniendo así un valor de relación agua/cemento de 0.56 y 0.47, respectivamente. En la figura No. 3.12 se muestra el cálculo de la interpolación para obtener los valores de relación a/c antes mencionados.

Figura No.3.12: Interpolación para calcular relación a/c (Ver también tabla No.3.28)



$$\frac{Y - Z}{X - Z} = \frac{C - B}{C - A} \rightarrow Y = \frac{(X - Z)(C - B)}{(C - A)} + Z$$

Para $f'_{cr} = 295$ kg/cm²:

$$Relación\ a/c = \frac{(0.62 - 0.55)(30 - 29.5)}{(30 - 25)} + 0.55 = 0.557 = \mathbf{0.56}$$

Para $f'_{cr} = 365$ kg/cm²:

$$Relación\ a/c = \frac{(0.48 - 0.43)(40 - 36.5)}{(40 - 35)} + 0.43 = 0.465 = \mathbf{0.47}$$

3.9.2.6 PASO VI: CÁLCULO DEL CONTENIDO DE CEMENTO

Los requisitos de contenido mínimo de cemento tienen como objetivo asegurar durabilidad y acabado satisfactorios, mejorar la resistencia al desgaste de losas y garantizar una apariencia adecuada para las superficies verticales. Esto es importante aun cuando los requisitos de resistencia se cumplan con contenidos de materiales cementantes más bajos. Sin embargo, se deben evitar cantidades de cemento excesivamente elevadas, para que se mantenga la economía en la mezcla y no afecte adversamente la trabajabilidad y otras propiedades.

El cemento requerido es igual al contenido estimado de agua de mezclado dividido por la relación agua/cemento. Así:

$$C = \frac{\text{agua de mezclado}}{\text{relación a/c}} = \frac{205}{0.56} = 366.1 \text{ kg/m}^3$$

$$C = \frac{\text{agua de mezclado}}{\text{relación a/c}} = \frac{205}{0.47} = 436.2 \text{ kg/m}^3$$

3.9.2.7 PASO VII: ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO

Se estimará el contenido de agregado grueso, este parámetro lo obtendremos de la tabla No. 3.29 y necesitaremos para ello el tamaño máximo del agregado y el módulo de finura; el valor obtenido multiplicado por el peso volumétrico varillado

(P.V.V.) nos permitirá encontrar la cantidad de agregado grueso seco por metro cúbico de concreto.

Por ejemplo, para el diseño de la mezcla A1 se tiene una arena con un módulo de finura de 3.0 (aproximado de la tabla No. 3.10) y un tamaño nominal máximo para el agregado grueso de $\frac{3}{4}$ ". De lo que se obtiene que el volumen del agregado grueso en la mezcla es de 0.60. A continuación se multiplica por el peso volumétrico varillado y se obtiene el volumen de agregado grueso para dicha mezcla. Y el mismo proceso se sigue en todos los diseños.

Tabla No.3.29: Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto

Tamaño máximo nominal del agregado en mm (plg)	Volumen de agregado grueso varillado en seco por volumen unitario de concreto para distintos módulos de finura de la arena.			
	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5 (3/8)	0.5	0.48	0.46	0.44
12.5 (1/2)	0.59	0.57	0.55	0.53
19 (3/4)	0.66	0.64	0.62	0.60
25 (1)	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5 (1 ½)	0.75	0.73	0.71	0.69
50 (2)	0.78	0.76	0.74	0.72
75 (3)	0.82	0.80	0.78	0.76
150 (6)	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: Tabla 9-4 del Capítulo 9 del libro de Tecnología del Concreto de la PCA, que a su vez fue tomada del ACI 211.1

Una vez realizados los ensayos de prueba, se determinó que el porcentaje de agregado grueso era muy alto para los tres diseños previstos para 210 kg/cm² (simbolizados por la letra A), dado que la mezcla mostraba una baja trabajabilidad y una apariencia “gravosa”; por lo que se hicieron las siguientes correcciones (tabla No. 3.30):

Tabla No.3.30: Resumen de % de volumen de agregado grueso a utilizar en las mezclas de concreto.

Mezcla	Factor de volumen según tabla 3.9.5	Factor de volumen real a utilizar
A1	0.60	0.50
A2	0.63	0.50
A3	0.60	0.50
B1	0.60	0.60
B2	0.63	0.63
B3	0.60	0.60

Fuente: El autor.

3.9.2.8 PASO VIII: ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AGREGADO FINO

Una vez establecidas las cantidades de agua, cemento y agregado grueso, el material restante que completa un metro cúbico de concreto debe ser completado con arena y el aire que pueda quedar incluido. La arena requerida puede determinarse con base en el volumen absoluto: con las cantidades de cemento, agua y agregado grueso, y tomando de la tabla No. 3.27 el contenido aproximado de

aire atrapado, que en este caso será de 2.0, el contenido de arena puede calcularse restando de un metro cúbico (1000 litros) el volumen que ocupe cada uno de ellos. Se utilizarán las siguientes fórmulas para determinar los volúmenes requeridos:

$$\text{Volumen de agua} = \frac{W_{\text{agua de mezclado}}}{\text{densidad del agua}} = \frac{W_{\text{agua de mezclado}}}{1000} = m^3$$

$$\text{Volumen sólido de cemento} = \frac{W_{\text{cemento}}}{\text{densidad del material}} = \frac{W_{\text{cemento}}}{\text{Peso específico} \times 1000} = m^3$$

$$\text{Volumen sólido de agregado grueso} = \frac{W_{\text{agregado grueso}}}{\text{Peso específico} \times 1000} = m^3$$

$$\text{Volumen de aire incluido} = \frac{\text{Porcentaje de aire}}{100} \times 1 = m^3$$

$$\text{Volumen de arena} = 1 - (\text{vol. cemento} + \text{vol. grava} + \text{vol. agua} + \text{vol. aire}) = m^3$$

3.9.2.9 PASO IX: AJUSTE POR CONTENIDO DE AGUA DE LOS AGREGADOS.

Las cantidades de agregado que realmente deben pesarse para el concreto deben considerar la humedad del agregado, regularmente los agregados están húmedos, y sus pesos secos deben incrementarse con el porcentaje de agua, tanto absorbida como superficial, que éstos contienen.

3.9.2.10 PASO X: SELECCIÓN DE PROPORCIONES DE LA MEZCLA ÓPTIMA DE LABORATORIO.

Para la mezcla de prueba de laboratorio, se considera conveniente reducir los pesos de los agregados, agua y cemento a utilizar en cada mezcla; para producir el concreto necesario para elaborar los cilindros de prueba y realizar el ensayo de revenimiento, considerando que cada cilindro y el ensayo de revenimiento ocupa un volumen de 7 litros aproximadamente cada uno y que se harán un total de entre 6 y 10 cilindros más el ensayo de revenimiento, por cada bachada.

3.9.3 DISEÑOS TEÓRICOS DE MEZCLAS

3.9.3.1 Diseño de mezcla a1: 210 kg/cm² con arena triturada

- 1) Revenimiento: 4 plg ó 10 cm
- 2) Resistencia (f'c): 210 kg/cm²
- 3) Tamaño máximo nominal del agregado: 3/4 plg
- 4) Datos de los agregados:

GRAVA	
Gravedad específica sss:	2.59
Absorción:	1.5
P.V.S.:	1490
P.V.V.:	1580

ARENA TRITURADA	
Gravedad específica sss:	2.62
Absorción:	2.4
M.F.:	3.0
P.V.S.:	1700
P.V.V.:	1890

- 5) $f'_{cr} = f'_c + 85 = 295 \text{ kg/cm}^2$
- 6) Agua de mezclado (de Tabla 3.9.3): 205 kg/m³
- 7) Relación agua/cemento (de Tabla 3.9.4): 0.56
- 8) Contenido de cemento:

$$c = \frac{\text{Agua}}{a/c} = \frac{205}{0.56} = 366.1 \text{ kg/m}^3$$

- 9) Contenido de agregado grueso (de tabla 3.9.5): 0.6
 TMNA: 3/4 plg
 M.F.: 3.0

$$\text{Cont. de agregado grueso: } 0.6 \times \text{P.V.V.} = 948.0 \text{ kg/m}^3$$

10) Peso del agregado grueso sss:

$$\text{Peso seco} \times \text{Abs} = \text{Peso sss}$$

$$948.0 \text{ kg/m}^3 \times 1.02 = 962.2 \text{ kg/m}^3$$

11) Volúmenes:

Material	Peso	Grav. Esp.	Volumen
Agua de mezclado	205 kg/m ³	1	205 ℓ
Cemento	366 kg/m ³	2.98	123 ℓ
Grava sss	962 kg/m ³	2.59	372 ℓ
Aire atrapado	1 %		10 ℓ
Suma:			709 ℓ

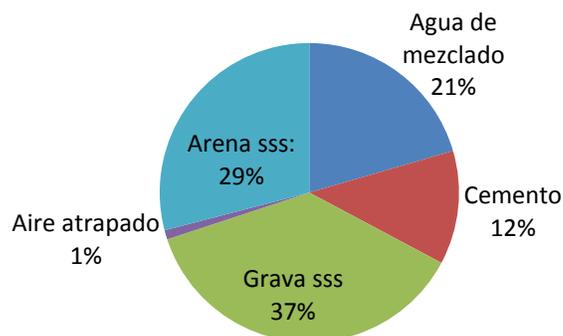
$$\text{Cantidad de agregado fino} = 1000 \text{ ℓ} - 709 \text{ ℓ} = 291 \text{ ℓ}$$

$$\text{En peso: } = 291 \text{ ℓ} \times 2.62 = 761 \text{ kg/m}^3$$

12) Diseño

Material:	Para 1 m ³	Para 80 l	Para 40 l
Agua:	205 ℓ	16 ℓ	8 ℓ
Cemento:	366 kg	29 kg	15 kg
Grava sss:	962 kg	77 kg	38 kg
Arena sss:	761 kg	61 kg	30 kg

Resumen de las proporciones de los componentes de la mezcla A1 en volumen



3.9.3.2 Diseño de mezcla a2: 210 kg/cm² con arena natural

- 1) Revenimiento: 4 plg ó 10 cm
- 2) Resistencia (f'_c): 210 kg/cm²
- 3) Tamaño máximo nominal del agregado: 3/4 plg
- 4) Datos de los agregados:

GRAVA	
Gravedad específica sss:	2.59
Absorción:	1.5
P.V.S.:	1490
P.V.V.:	1580

ARENA NATURAL	
Gravedad específica sss:	2.45
Absorción:	4.7
M.F.:	2.7
P.V.S.:	1400
P.V.V.:	1510

- 5) $f'_{cr} = f'_c + 85 = 295 \text{ kg/cm}^2$
- 6) Agua de mezclado (de Tabla 3.9.3): 205 kg/m³
- 7) Relación agua/cemento (de Tabla 3.9.4): 0.56
- 8) Contenido de cemento:

$$c = \frac{\text{Agua}}{a/c} = \frac{205}{0.56} = 366.1 \text{ kg/m}^3$$
- 9) Contenido de agregado grueso (de tabla 3.9.5): 0.63
 TMNA: 3/4 plg
 M.F.: 2.7
 Cont. de agregado grueso: $0.63 \times \text{P.V.V.} = 995.4 \text{ kg/m}^3$

10) Peso del agregado grueso sss:

Peso seco x Abs = Peso sss

$$995.4 \text{ kg/m}^3 \times 1.02 = 1010.3 \text{ kg/m}^3$$

11) Volúmenes:

Material	Peso	Grav. Esp.	Volumen
Agua de mezclado	205 kg/m ³	1	205 ℓ
Cemento	366 kg/m ³	2.98	123 ℓ
Grava sss	1010 kg/m ³	2.59	390 ℓ
Aire incluido	1 %		10 ℓ
Suma:			728 ℓ

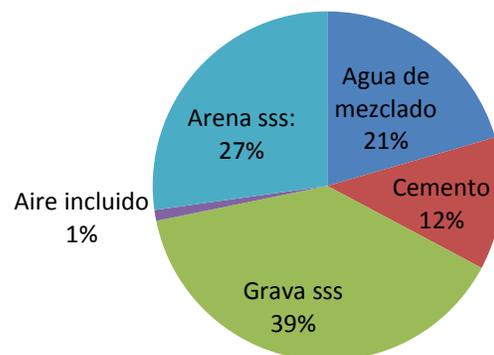
Cantidad de agregado fino = 1000 ℓ - 728 ℓ = 272 ℓ

$$\text{En peso: } = 272 \text{ ℓ} \times 2.45 = 667 \text{ kg/m}^3$$

12) Diseño

Material:	Para 1 m ³	Para 80 l	Para 40 l
Agua:	205 ℓ	16 ℓ	8 ℓ
Cemento:	366 kg	29 kg	15 kg
Grava sss:	1010 kg	81 kg	40 kg
Arena sss:	667 kg	53 kg	27 kg

Resumen de las proporciones de los componentes de la mezcla A2 en volumen



3.9.3.3 Diseño de mezcla a3: 210 kg/cm² con arena natural y arena triturada

- 1) Revenimiento: 4 plg ó 10 cm
- 2) Resistencia (f'c): 210 kg/cm²
- 3) Tamaño máximo nominal del agregado: 3/4 plg
- 4) Datos de los agregados:

GRAVA	
Gravedad específica sss:	2.59
Absorción:	1.5
P.V.S.:	1490
P.V.V.:	1580

	ARENA TRITURADA (40% AT)	ARENA NATURAL (60% AN)
Gravedad específica sss:	2.62	2.45
Absorción:	2.4	4.7
M.F.:	3.0	2.7
P.V.S.:	1700	1400
P.V.V.:	1890	1510

- 5) $f'_{cr} = f'_c + 85 = 295 \text{ kg/cm}^2$
- 6) Agua de mezclado (de Tabla 3.9.3): 205 kg/m³
- 7) Relación agua/cemento (de Tabla 3.9.4): 0.56

- 8) Contenido de cemento:

$$c = \frac{\text{Agua}}{a/c} = \frac{205}{0.56} = 366.1 \text{ kg/m}^3$$

- 9) Contenido de agregado grueso (de tabla 3.9.5): 0.60

TMNA: 3/4 plg

M.F.: 3.00

Cont. de agregado grueso: $0.6 \times \text{P.V.V.} = 948.0 \text{ kg/m}^3$

10) Peso del agregado grueso sss:

Peso seco x Abs = Peso sss

$$948.0 \text{ kg/m}^3 \times 1.02 = 962.2 \text{ kg/m}^3$$

11) Volúmenes:

Material	Peso	Grav. Esp.	Volumen
Agua de mezclado	205 kg/m ³	1	205 ℓ
Cemento	366 kg/m ³	2.98	123 ℓ
Grava sss	962 kg/m ³	2.59	372 ℓ
Aire incluido	1 %		10 ℓ
		Suma:	709 ℓ

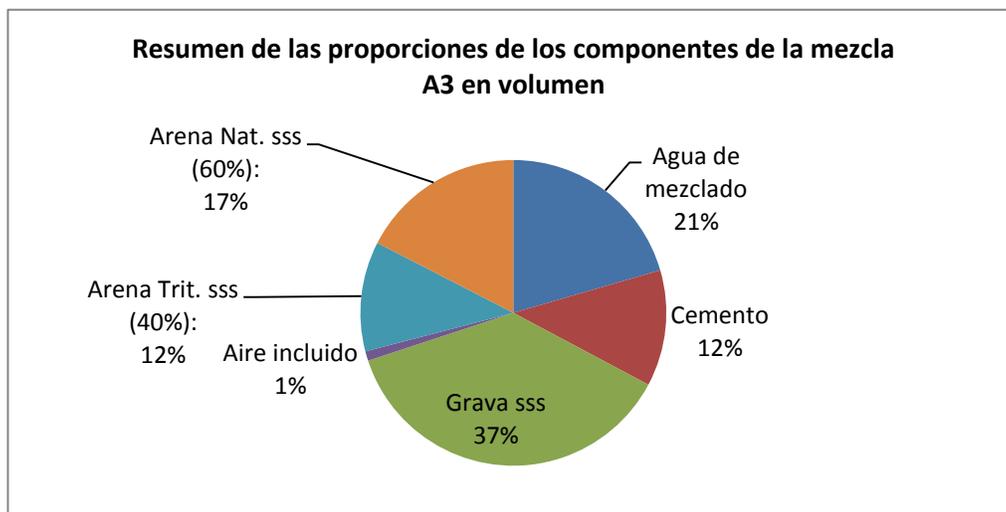
Cantidad de agregado fino = 1000 ℓ - 709 ℓ = 291 ℓ

En peso AT: = 116 ℓ x 2.62 = 305 kg/m³

En peso AN: = 174 ℓ x 2.45 = 427 kg/m³

12) Diseño

Material:	Para 1 m ³	Para 80 l	Para 40 l
Agua:	205 ℓ	16 ℓ	8 ℓ
Cemento:	366 kg	29 kg	15 kg
Grava sss:	962 kg	77 kg	39 kg
Arena Trit. sss (40%):	305 kg	24 kg	12 kg
Arena Nat. sss (60%):	427 kg	34 kg	17 kg



3.9.3.4 Diseño de mezcla b1: 280 kg/cm² con arena triturada

- 1) Revenimiento: 4 plg ó 10 cm
- 2) Resistencia (f'c): 280 kg/cm²
- 3) Tamaño máximo nominal del agregado: 3/4 plg
- 4) Datos de los agregados:

GRAVA	
Gravedad específica sss:	2.59
Absorción:	1.5
P.V.S.:	1490
P.V.V.:	1580

ARENA TRITURADA	
Gravedad específica sss:	2.62
Absorción:	2.4
M.F.:	3.0
P.V.S.:	1700
P.V.V.:	1890

- 5) $f'_{cr} = f'_c + 85 = 365 \text{ kg/cm}^2$
- 6) Agua de mezclado (de Tabla 3.9.3): 205 kg/m³
- 7) Relación agua/cemento (de Tabla 3.9.4): 0.47
- 8) Contenido de cemento:

$$c = \frac{\text{Agua}}{a/c} = \frac{205}{0.47} = 436.2 \text{ kg/m}^3$$

- 9) Contenido de agregado grueso (de tabla 3.9.5): 0.60
 TMNA: 3/4 plg
 M.F.: 3.00
 Cont. de agregado grueso: 0.6 x P.V.V. = 948.0 kg/m³
- 10) Peso del agregado grueso sss:

$$\text{Peso seco} \times \text{Abs} = \text{Peso sss}$$

$$948.0 \text{ kg/m}^3 \times 1.02 = 962.2 \text{ kg/m}^3$$

11) Volúmenes:

Material	Peso	Grav. Esp.	Volumen
Agua de mezclado	205 kg/m ³	1	205 ℓ
Cemento	436 kg/m ³	2.98	146 ℓ
Grava sss	962 kg/m ³	2.59	372 ℓ
Aire incluido	1 %		10 ℓ
		Suma:	733 ℓ

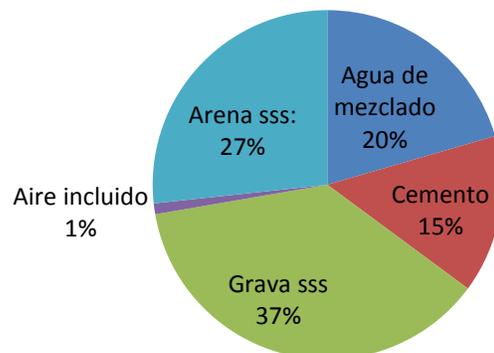
$$\text{Cantidad de agregado fino} = 1000 \text{ ℓ} - 733 \text{ ℓ} = 267 \text{ ℓ}$$

$$\text{En peso:} = 267 \text{ ℓ} \times 2.62 = 700 \text{ kg/m}^3$$

12) Diseño

Material:	Para 1 m ³	Para 80 l	Para 40 l
Agua:	205 ℓ	16 ℓ	8 ℓ
Cemento:	436 kg	35 kg	17 kg
Grava sss:	962 kg	77 kg	38 kg
Arena sss:	700 kg	56 kg	28 kg

Resumen de las proporciones de los componentes de la mezcla B1 en volumen



3.9.3.5 Diseño de mezcla b2: 280 kg/cm² con arena natural

- 1) Revenimiento: 4 plg ó 10 cm
- 2) Resistencia (f'c): 280 kg/cm²
- 3) Tamaño máximo nominal del agregado: 3/4 plg
- 4) Datos de los agregados:

GRAVA	
Gravedad específica sss:	2.59
Absorción:	1.5
P.V.S.:	1490
P.V.V.:	1580

ARENA NATURAL	
Gravedad específica sss:	2.45
Absorción:	4.7
M.F.:	2.7
P.V.S.:	1400
P.V.V.:	1510

- 5) $f'_{cr} = f'_c + 85 = 365 \text{ kg/cm}^2$
- 6) Agua de mezclado (de Tabla 3.9.3): 205 kg/m³
- 7) Relación agua/cemento (de Tabla 3.9.4): 0.47
- 8) Contenido de cemento:

$$c = \frac{\text{Agua}}{a/c} = \frac{205}{0.47} = 436.2 \text{ kg/m}^3$$
- 9) Contenido de agregado grueso (de tabla 3.9.5): 0.63
 TMNA: 3/4 plg
 M.F.: 2.70
 Cont. de agregado grueso: 0.63 x P.V.V. = 995.4 kg/m³
- 10) Peso del agregado grueso sss:

Peso seco x Abs = Peso sss

$$995.4 \text{ kg/m}^3 \times 1.02 = 1010.3 \text{ kg/m}^3$$

11) Volúmenes:

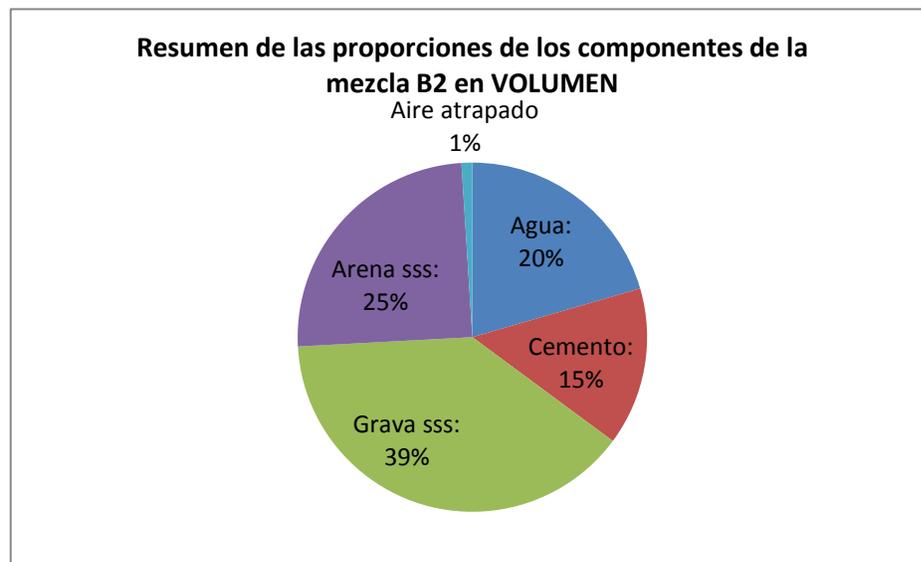
Material	Peso	Grav. Esp.	Volumen
Agua de mezclado	205 kg/m ³	1	205 ℓ
Cemento	436 kg/m ³	2.98	146 ℓ
Grava sss	1010 kg/m ³	2.59	390 ℓ
Aire incluido	1 %		10 ℓ
Suma:			751 ℓ

$$\text{Cantidad de agregado fino} = 1000 \text{ ℓ} - 751 \text{ ℓ} = 249 \text{ ℓ}$$

$$\text{En peso:} = 249 \text{ ℓ} \times 2.45 = 609 \text{ kg/m}^3$$

12) Diseño

Material:	Para 1 m ³	Para 80 l	Para 40 l
Agua:	205 ℓ	16 ℓ	8 ℓ
Cemento:	436 kg	35 kg	17 kg
Grava sss:	1010 kg	81 kg	40 kg
Arena sss:	609 kg	49 kg	24 kg



3.9.3.6 Diseño de mezcla b3: 280 kg/cm² con arena natural y arena triturada

- 1) Revenimiento: 4 plg ó 10 cm
- 2) Resistencia (f'c): 280 kg/cm²
- 3) Tamaño máximo nominal del agregado: 3/4 plg
- 4) Datos de los agregados:

GRAVA	
Gravedad específica sss:	2.59
Absorción:	1.5
P.V.S.:	1490
P.V.V.:	1580

	ARENA TRITURADA (40% AT)	ARENA NATURAL (60% AN)
Gravedad específica sss:	2.62	2.45
Absorción:	2.4	4.7
M.F.:	3.0	2.7
P.V.S.:	1700	1400
P.V.V.:	1890	1510

- 5) $f'_{cr} = f'_c + 85 = 365 \text{ kg/cm}^2$
- 6) Agua de mezclado (de Tabla 3.9.3): 205 kg/m³
- 7) Relación agua/cemento (de Tabla 3.9.4): 0.47
- 8) Contenido de cemento:

$$c = \frac{\text{Agua}}{a/c} = \frac{205}{0.47} = 436.2 \text{ kg/m}^3$$

- 9) Contenido de agregado grueso (de tabla 3.9.5): 0.60
 TMNA: 3/4 plg
 M.F.: 3.00

$$\text{Cont. de agregado grueso: } 0.6 \times \text{P.V.V.} = 948.0 \text{ kg/m}^3$$

10) Peso del agregado grueso sss:

Peso seco x Abs = Peso sss

$$948.0 \text{ kg/m}^3 \times 1.02 = 962.2 \text{ kg/m}^3$$

11) Volúmenes:

Material	Peso	Grav. Esp.	Volumen
Agua de mezclado	205 kg/m ³	1	205 ℓ
Cemento	436 kg/m ³	2.98	146 ℓ
Grava sss	962 kg/m ³	2.59	372 ℓ
Aire incluido	2 %		20 ℓ
Suma:			743 ℓ

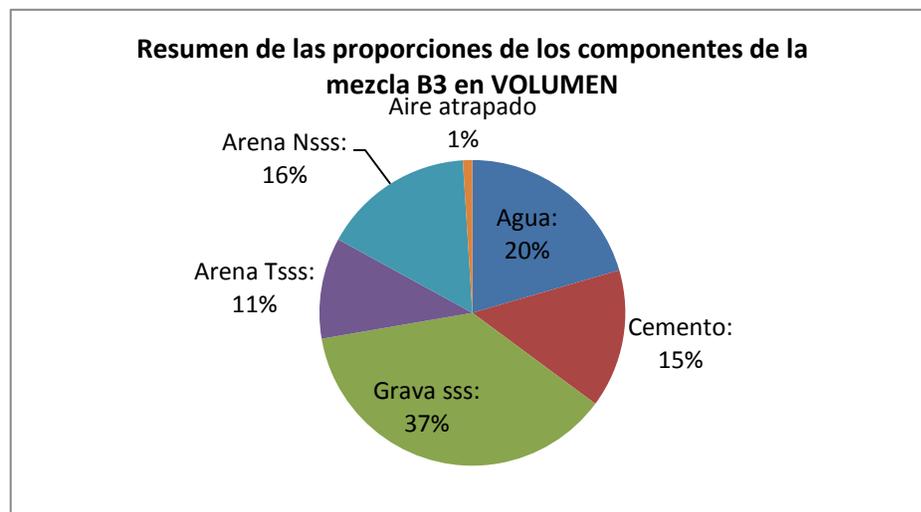
$$\text{Cantidad de agregado fino} = 1000 \text{ ℓ} - 743 \text{ ℓ} = 257 \text{ ℓ}$$

$$\text{En peso AT:} = 103 \text{ ℓ} \times 2.62 = 269 \text{ kg/m}^3$$

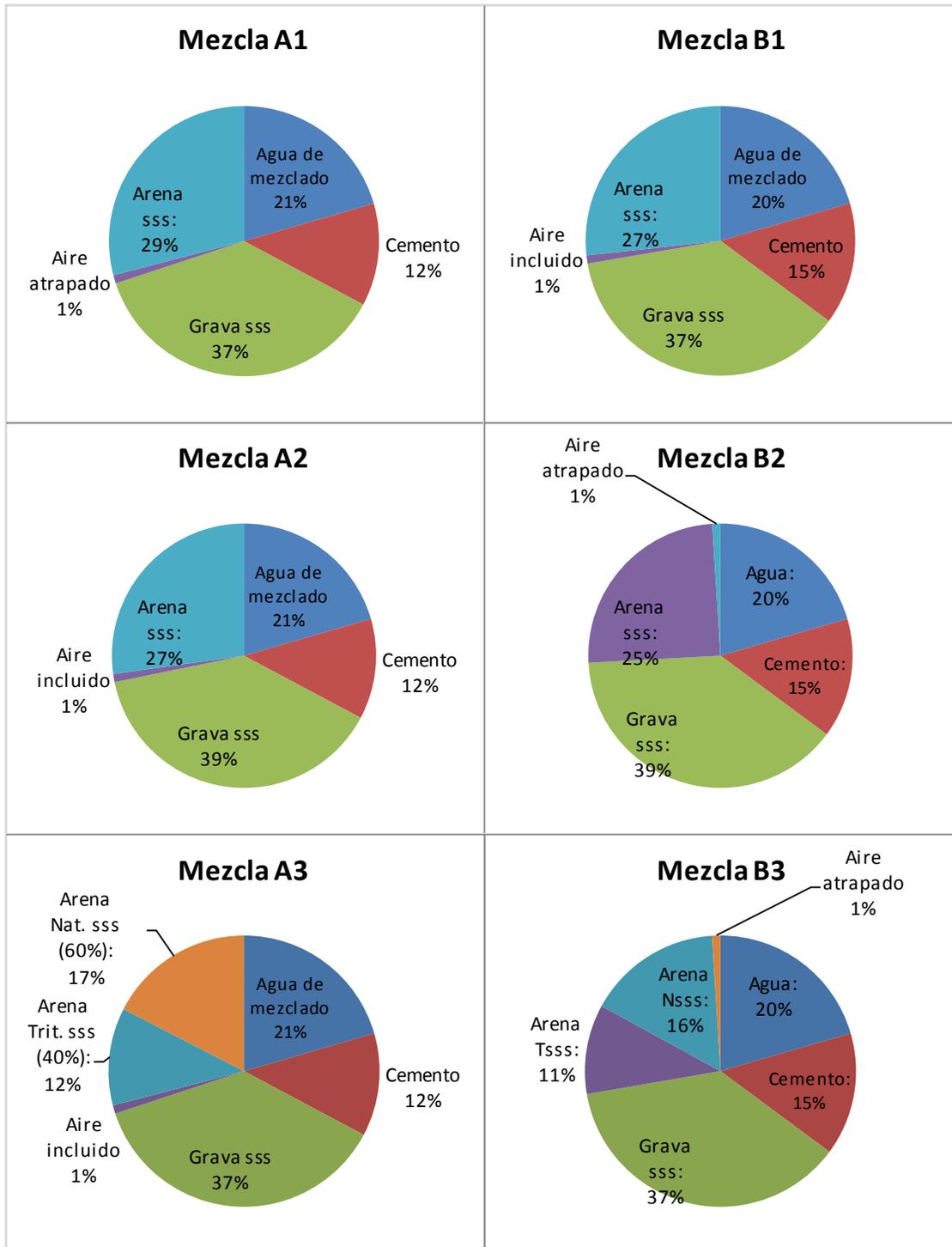
$$\text{En peso AN:} = 154 \text{ ℓ} \times 2.45 = 378 \text{ kg/m}^3$$

12) Diseño

Material:	Para 1 m ³	Para 80 l	Para 40 l
Agua:	205 ℓ	16 ℓ	8 ℓ
Cemento:	436 kg	35 kg	17 kg
Grava sss:	962 kg	77 kg	38 kg
Arena Trit. sss (40%):	269 kg	22 kg	11 kg
Arena Nat. sss (60%):	378 kg	30 kg	15 kg



3.9.4 RESUMEN COMPARATIVO DE LAS PROPORCIONES DE CADA DISEÑO TEÓRICO DE MEZCLA EN VOLUMEN



3.9.5 DISEÑOS DEFINITIVOS DE MEZCLAS

3.9.5.1 Diseño de mezcla a1: 210 kg/cm² con arena triturada

En este diseño se redujo la cantidad de agregado grueso en un 10% del que se había determinado en el diseño teórico, puesto que en la mezcla de prueba se observó poca trabajabilidad y una apariencia “gravosa”. La reducción se hizo disminuyendo poco a poco la cantidad de agregado grueso hasta obtener el revenimiento deseado y una apariencia aceptable.

- 1) Revenimiento: 4 plg ó 10 cm
- 2) Resistencia (f'c): 210 kg/cm²
- 3) Tamaño máximo nominal del agregado: 3/4 plg
- 4) Datos de los agregados:

GRAVA	
Gravedad específica sss:	2.59
Absorción:	1.5
P.V.S.:	1490
P.V.V.:	1580

ARENA TRITURADA	
Gravedad específica sss:	2.62
Absorción:	2.4
M.F.:	3.0
P.V.S.:	1700
P.V.V.:	1890

- 5) $f'_{cr} = f'_c + 85 = 295 \text{ kg/cm}^2$

6) Agua de mezclado (de Tabla 3.9.3): 205 kg/m³

7) Relación agua/cemento (de Tabla 3.9.4): 0.56

8) Contenido de cemento:

$$c = \frac{\text{Agua}}{a/c} = \frac{205}{0.56} = 366.1 \text{ kg/m}^3$$

9) Contenido de agregado grueso (de tabla 3.9.5): 0.50 (Ver tabla 3.9.6)

TMNA: 3/4 plg

M.F.: 3.0

$$\text{Cont. de agregado grueso: } 0.50 \times \text{P.V.V.} = 790.0 \text{ kg/m}^3$$

10) Peso del agregado grueso sss:

Peso seco x Abs = Peso sss

$$790.0 \text{ kg/m}^3 \times 1.02 = 801.9 \text{ kg/m}^3$$

11) Volúmenes:

Material	Peso	Grav. Esp.	Volumen
Agua de mezclado	205 kg/m ³	1	205 ℓ
Cemento	366 kg/m ³	2.98	123 ℓ
Grava sss	802 kg/m ³	2.59	310 ℓ
Aire atrapado	1 %		10 ℓ
Suma:			647 ℓ

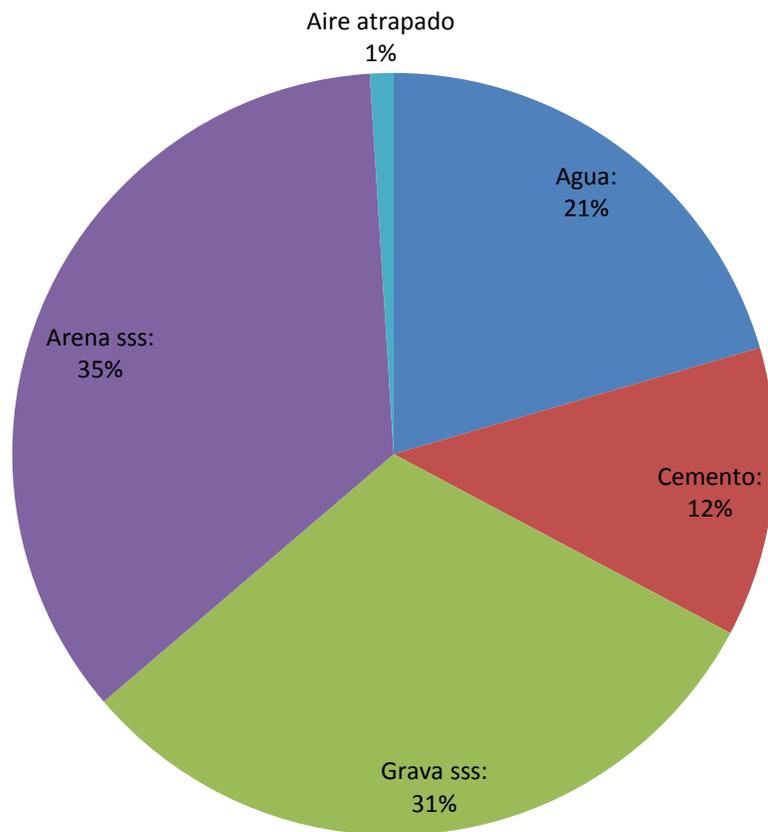
$$\text{Cantidad de agregado fino} = 1000 \text{ ℓ} - 647 \text{ ℓ} = 353 \text{ ℓ}$$

$$\text{En peso: } = 353 \text{ ℓ} \times 2.62 = 924 \text{ kg/m}^3$$

12) Diseño

Material:	Para 1 m ³	Para 80 l	Para 40 l
Agua:	205 ℓ	16 ℓ	8 ℓ
Cemento:	366 kg	29 kg	15 kg
Grava sss:	802 kg	64 kg	32 kg
Arena sss:	924 kg	74 kg	37 kg

Resumen de las proporciones de los componentes de la mezcla A1 en VOLUMEN



3.9.5.2 Diseño de mezcla a2: 210 kg/cm² con arena natural

En este diseño se redujo la cantidad de agregado grueso en un 7% del que se había determinado en el diseño teórico, puesto que en la mezcla de prueba se observó poca trabajabilidad y una apariencia “gravosa”. La reducción se hizo disminuyendo poco a poco la cantidad de agregado grueso hasta obtener el revenimiento deseado y una apariencia aceptable.

- 1) Revenimiento: 4 plg ó 10 cm
- 2) Resistencia (f'c): 210 kg/cm²
- 3) Tamaño máximo nominal del agregado: 3/4 plg
- 4) Datos de los agregados:

GRAVA	
Gravedad específica sss:	2.59
Absorción:	1.5
P.V.S.:	1490
P.V.V.:	1580

ARENA NATURAL	
Gravedad específica sss:	2.45
Absorción:	4.7
M.F.:	2.7
P.V.S.:	1400
P.V.V.:	1510

- 5) $f'_{cr} = f'_c + 85 = 295 \text{ kg/cm}^2$
- 6) Agua de mezclado (de Tabla 3.9.3): 205 kg/m³
- 7) Relación agua/cemento (de Tabla 3.9.4): 0.56

8) Contenido de cemento:

$$c = \frac{\text{Agua}}{a/c} = \frac{205}{0.56} = 366.1 \text{ kg/m}^3$$

9) Contenido de agregado grueso (de tabla 3.9.5): **0.50 (Ver tabla 3.9.6)**

TMNA: 3/4 plg

M.F.: 2.7

Cont. de agregado grueso: $0.50 \times \text{P.V.V.} = 790.0 \text{ kg/m}^3$

10) Peso del agregado grueso sss:

Peso seco x Abs = Peso sss

$$790.0 \text{ kg/m}^3 \times 1.02 = 801.9 \text{ kg/m}^3$$

11) Volúmenes:

Material	Peso	Grav. Esp.	Volumen
Agua de mezclado	205 kg/m ³	1	205 ℓ
Cemento	366 kg/m ³	2.98	123 ℓ
Grava sss	802 kg/m ³	2.59	310 ℓ
Aire incluido	1 %		10 ℓ
Suma:			647 ℓ

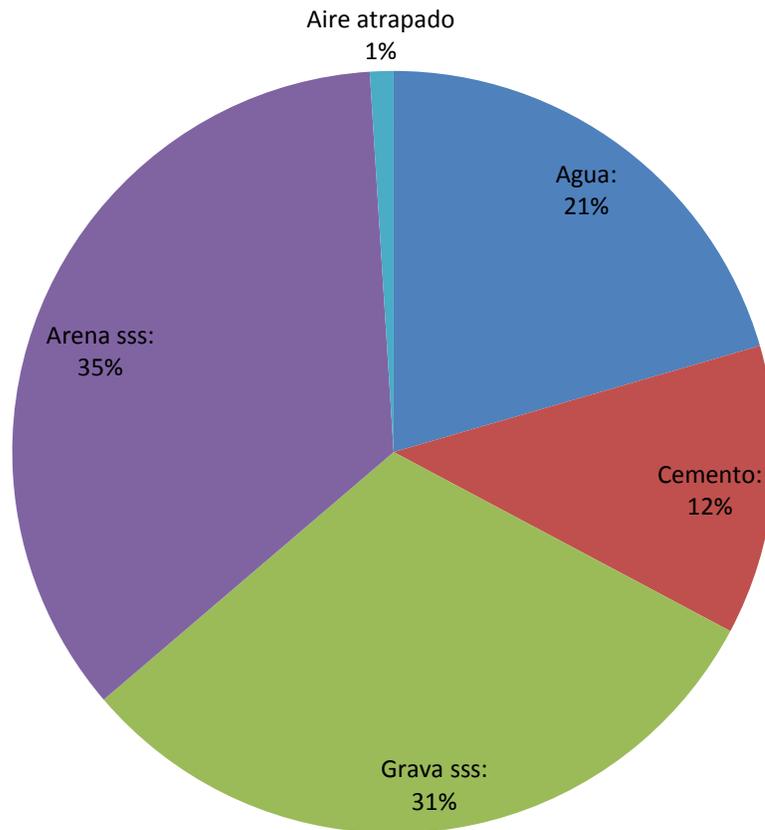
Cantidad de agregado fino = $1000 \text{ ℓ} - 647 \text{ ℓ} = 353 \text{ ℓ}$

En peso: $= 353 \text{ ℓ} \times 2.45 = 864 \text{ kg/m}^3$

12) Diseño

Material:	Para 1 m ³	Para 80 l	Para 40 l
Agua:	205 ℓ	16 ℓ	8 ℓ
Cemento:	366 kg	29 kg	15 kg
Grava sss:	802 kg	64 kg	32 kg
Arena sss:	864 kg	69 kg	35 kg

Resumen de las proporciones de los componentes de la mezcla A2 en VOLUMEN



3.9.5.3 Diseño de mezcla a3: 210 kg/cm² con arena natural y arena triturada

En este diseño se redujo la cantidad de agregado grueso en un 10% del que se había determinado en el diseño teórico, puesto que en la mezcla de prueba se observó poca trabajabilidad y una apariencia “gravosa”. La reducción se hizo disminuyendo poco a poco la cantidad de agregado grueso hasta obtener el revenimiento deseado y una apariencia aceptable.

- 1) Revenimiento: 4 plg ó 10 cm
- 2) Resistencia (f'c): 210 kg/cm²
- 3) Tamaño máximo nominal del agregado: 3/4 plg
- 4) Datos de los agregados:

GRAVA	
Gravedad específica sss:	2.59
Absorción:	1.5
P.V.S.:	1490
P.V.V.:	1580

	ARENA TRITURADA (40% AT)	ARENA NATURAL (60% AN)
Gravedad específica sss:	2.62	2.45
Absorción:	2.4	4.7
M.F.:	3.0	2.7
P.V.S.:	1700	1400
P.V.V.:	1890	1510

- 5) $f'_{cr} = f'_c + 85 = 295 \text{ kg/cm}^2$
- 6) Agua de mezclado (de Tabla 3.9.3): 205 kg/m³
- 7) Relación agua/cemento (de Tabla 3.9.4): 0.56

8) Contenido de cemento:

$$c = \frac{\text{Agua}}{a/c} = \frac{205}{0.56} = 366.1 \text{ kg/m}^3$$

9) Contenido de agregado grueso (de tabla 3.9.5): **0.50 (Ver tabla 3.9.6)**

TMNA: 3/4 plg

M.F.: 3.00

Cont. de agregado grueso: $0.50 \times \text{P.V.V.} = 790.0 \text{ kg/m}^3$

10) Peso del agregado grueso sss:

Peso seco \times Abs = Peso sss

$$790.0 \text{ kg/m}^3 \times 1.02 = 801.9 \text{ kg/m}^3$$

11) Volúmenes:

Material	Peso	Grav. Esp.	Volumen
Agua de mezclado	205 kg/m ³	1	205 ℓ
Cemento	366 kg/m ³	2.98	123 ℓ
Grava sss	802 kg/m ³	2.59	310 ℓ
Aire incluido	1 %		10 ℓ
		Suma:	647 ℓ

Cantidad de agregado fino = 1000 ℓ - 647 ℓ = 353 ℓ

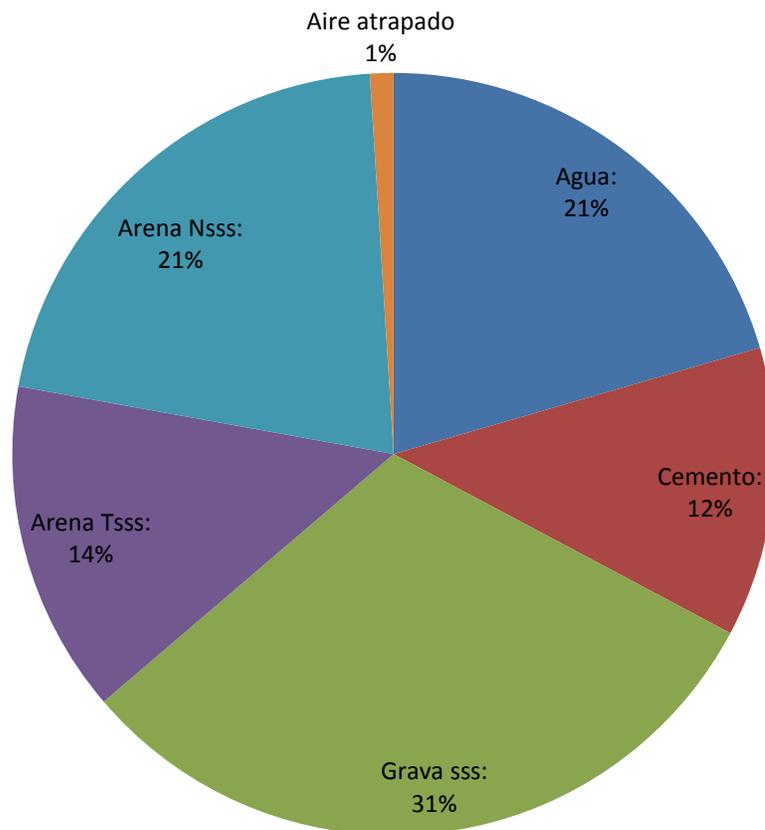
En peso AT: = 141 ℓ \times 2.62 = 369 kg/m³

En peso AN: = 212 ℓ \times 2.45 = 518 kg/m³

12) Diseño

Material:	Para 1 m ³		Para 80 l		Para 40 l	
Agua:	205	ℓ	16	ℓ	8	ℓ
Cemento:	366	kg	29	kg	15	kg
Grava sss:	802	kg	64	kg	32	kg
Arena Trit. sss (40%):	369	kg	30	kg	15	kg
Arena Nat. sss (60%):	518	kg	41	kg	21	kg

Resumen de las proporciones de los componentes de la mezcla A3 en VOLUMEN



3.9.5.4 Diseño de mezcla b1: 280 kg/cm² con arena triturada

En este diseño se agregó más agua, debido a que la mezcla de prueba mostró poco revenimiento, incrementándose en un 7% del calculado teóricamente. Esto se hizo poco a poco hasta que se obtuvo el revenimiento deseado para la mezcla. Por lo que se volvió a calcular la cantidad de cemento, quedando para este diseño en 468.1 kg/m³.

- 1) Revenimiento: 4 plg ó 10 cm
- 2) Resistencia (f'c): 280 kg/cm²
- 3) Tamaño máximo nominal del agregado: 3/4 plg
- 4) Datos de los agregados:

GRAVA	
Gravedad específica sss:	2.59
Absorción:	1.5
P.V.S.:	1490
P.V.V.:	1580
ARENA TRITURADA	
Gravedad específica sss:	2.62
Absorción:	2.4
M.F.:	3.0
P.V.S.:	1700
P.V.V.:	1890

- 5) $f'_{cr} = f'_c + 85 = 365 \text{ kg/cm}^2$
- 6) Agua de mezclado (de Tabla 3.9.3): 220 kg/m³ (Se agregó más agua)
- 7) Relación agua/cemento (de Tabla 3.9.4): 0.47

8) Contenido de cemento:

$$c = \frac{\text{Agua}}{a/c} = \frac{220}{0.47} = 468.1 \text{ kg/m}^3$$

9) Contenido de agregado grueso (de tabla 3.9.5): **0.60**

TMNA: 3/4 plg

M.F.: 3.00

Cont. de agregado grueso: 0.6 x P.V.V. = 948.0 kg/m³

10) Peso del agregado grueso sss:

Peso seco x Abs = Peso sss

$$948.0 \text{ kg/m}^3 \times 1.02 = 962.2 \text{ kg/m}^3$$

11) Volúmenes:

Material	Peso	Grav. Esp.	Volumen
Agua de mezclado	220 kg/m ³	1	220 ℓ
Cemento	468 kg/m ³	2.98	157 ℓ
Grava sss	962 kg/m ³	2.59	372 ℓ
Aire incluido	1 %		10 ℓ
		Suma:	759 ℓ

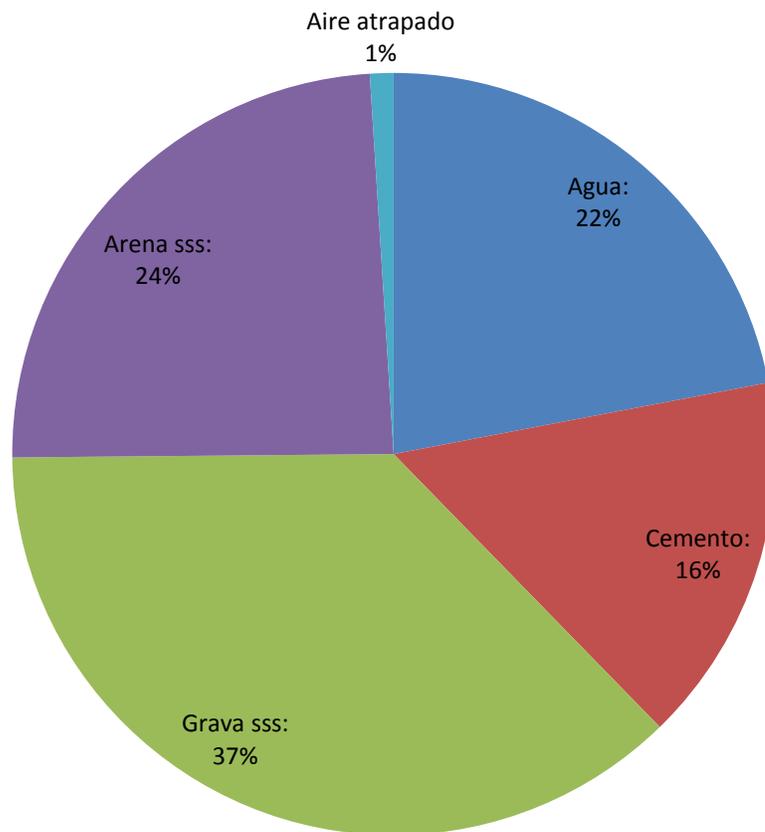
Cantidad de agregado fino = 1000 ℓ - 759 ℓ = 241 ℓ

En peso: = 241 ℓ x 2.62 = 632 kg/m³

12) Diseño

Material:	Para 1 m ³	Para 80 l	Para 40 l
Agua:	220 ℓ	18 ℓ	9 ℓ
Cemento:	468 kg	37 kg	19 kg
Grava sss:	962 kg	77 kg	38 kg
Arena sss:	632 kg	51 kg	25 kg

Resumen de las proporciones de los componentes de la mezcla B1 en VOLUMEN



3.9.5.5 Diseño de mezcla b2: 280 kg/cm² con arena natural

Para este diseño se mantuvieron las mismas proporciones de agregados, agua y cemento que para el diseño teórico.

- 1) Revenimiento: 4 plg ó 10 cm
- 2) Resistencia (f'c): 280 kg/cm²
- 3) Tamaño máximo nominal del agregado: 3/4 plg
- 4) Datos de los agregados:

GRAVA	
Gravedad específica sss:	2.59
Absorción:	1.5
P.V.S.:	1490
P.V.V.:	1580

ARENA NATURAL	
Gravedad específica sss:	2.45
Absorción:	4.7
M.F.:	2.7
P.V.S.:	1400
P.V.V.:	1510

- 5) $f'_{cr} = f'_c + 85 = 365 \text{ kg/cm}^2$
- 6) Agua de mezclado (de Tabla 3.9.3): 205 kg/m³
- 7) Relación agua/cemento (de Tabla 3.9.4): 0.47
- 8) Contenido de cemento:

$$c = \frac{\text{Agua}}{a/c} = \frac{205}{0.47} = 436.2 \text{ kg/m}^3$$

9) Contenido de agregado grueso (de tabla 3.9.5): **0.63**

TMNA: 3/4 plg

M.F.: 2.70

$$\text{Cont. de agregado grueso: } 0.63 \times \text{P.V.V.} = 995.4 \text{ kg/m}^3$$

10) Peso del agregado grueso sss:

Peso seco \times Abs = Peso sss

$$995.4 \text{ kg/m}^3 \times 1.02 = 1010.3 \text{ kg/m}^3$$

11) Volúmenes:

Material	Peso	Grav. Esp.	Volumen
Agua de mezclado	205 kg/m ³	1	205 ℓ
Cemento	436 kg/m ³	2.98	146 ℓ
Grava sss	1010 kg/m ³	2.59	390 ℓ
Aire incluido	1 %		10 ℓ
		Suma:	751 ℓ

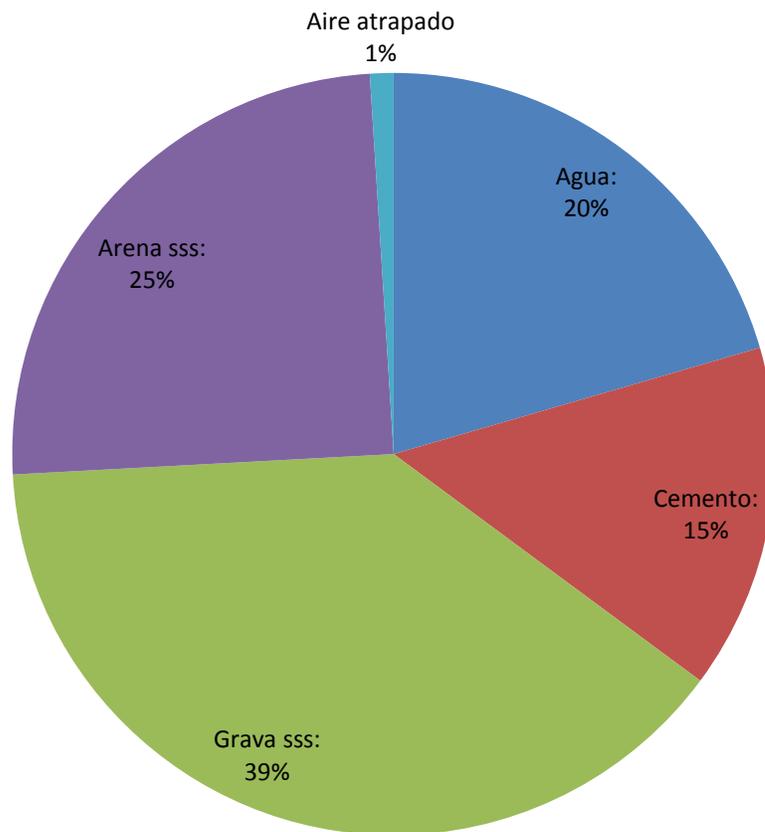
$$\text{Cantidad de agregado fino} = 1000 \text{ ℓ} - 751 \text{ ℓ} = 249 \text{ ℓ}$$

$$\text{En peso: } = 249 \text{ ℓ} \times 2.45 = 609 \text{ kg/m}^3$$

12) Diseño

Material:	Para 1 m ³	Para 80 l	Para 40 l
Agua:	205 ℓ	16 ℓ	8 ℓ
Cemento:	436 kg	35 kg	17 kg
Grava sss:	1010 kg	81 kg	40 kg
Arena sss:	609 kg	49 kg	24 kg

Resumen de las proporciones de los componentes de la mezcla B2 en VOLUMEN



3.9.5.6 Diseño de mezcla b3: 280 kg/cm² con arena natural y arena triturada

Para este diseño se mantuvieron las mismas proporciones de agregados, agua y cemento que para el diseño teórico.

- 1) Revenimiento: 4 plg ó 10 cm
- 2) Resistencia (f'_c): 280 kg/cm²
- 3) Tamaño máximo nominal del agregado: 3/4 plg
- 4) Datos de los agregados:

GRAVA	
Gravedad específica sss:	2.59
Absorción:	1.5
P.V.S.:	1490
P.V.V.:	1580

	ARENA TRITURADA (40% AT)	ARENA NATURAL (60% AN)
Gravedad específica sss:	2.62	2.45
Absorción:	2.4	4.7
M.F.:	3.0	2.7
P.V.S.:	1700	1400
P.V.V.:	1890	1510

- 5) $f'_{cr} = f'_c + 85 = 365 \text{ kg/cm}^2$
- 6) Agua de mezclado (de Tabla 3.9.3): 205 kg/m³
- 7) Relación agua/cemento (de Tabla 3.9.4): 0.47
- 8) Contenido de cemento:

$$c = \frac{\text{Agua}}{a/c} = \frac{205}{0.47} = 436.2 \text{ kg/m}^3$$

9) Contenido de agregado grueso (de tabla 3.9.5): **0.60**

TMNA: 3/4 plg

M.F.: 3.00

$$\text{Cont. de agregado grueso: } 0.6 \times \text{P.V.V.} = 948.0 \text{ kg/m}^3$$

10) Peso del agregado grueso sss:

Peso seco \times Abs = Peso sss

$$948.0 \text{ kg/m}^3 \times 1.02 = 962.2 \text{ kg/m}^3$$

11) Volúmenes:

Material	Peso	Grav. Esp.	Volumen
Agua de mezclado	205 kg/m ³	1	205 ℓ
Cemento	436 kg/m ³	2.98	146 ℓ
Grava sss	962 kg/m ³	2.59	372 ℓ
Aire incluido	2 %		20 ℓ
Suma:			743 ℓ

$$\text{Cantidad de agregado fino} = 1000 \text{ ℓ} - 743 \text{ ℓ} = 257 \text{ ℓ}$$

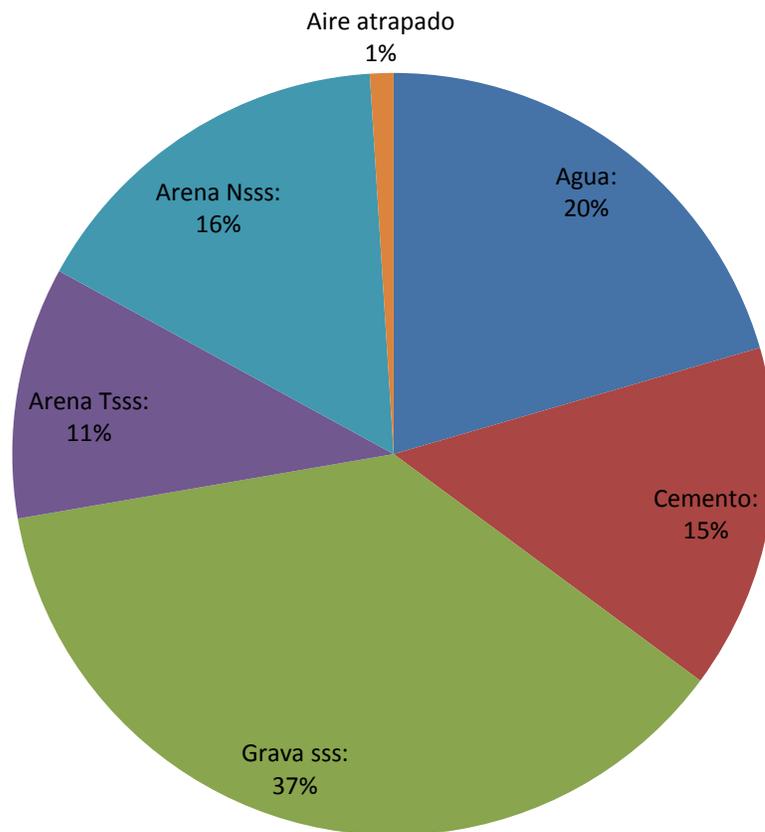
$$\text{En peso AT: } = 103 \text{ ℓ} \times 2.62 = 269 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{En peso AN: } = 154 \text{ ℓ} \times 2.45 = 378 \text{ kg/m}^3$$

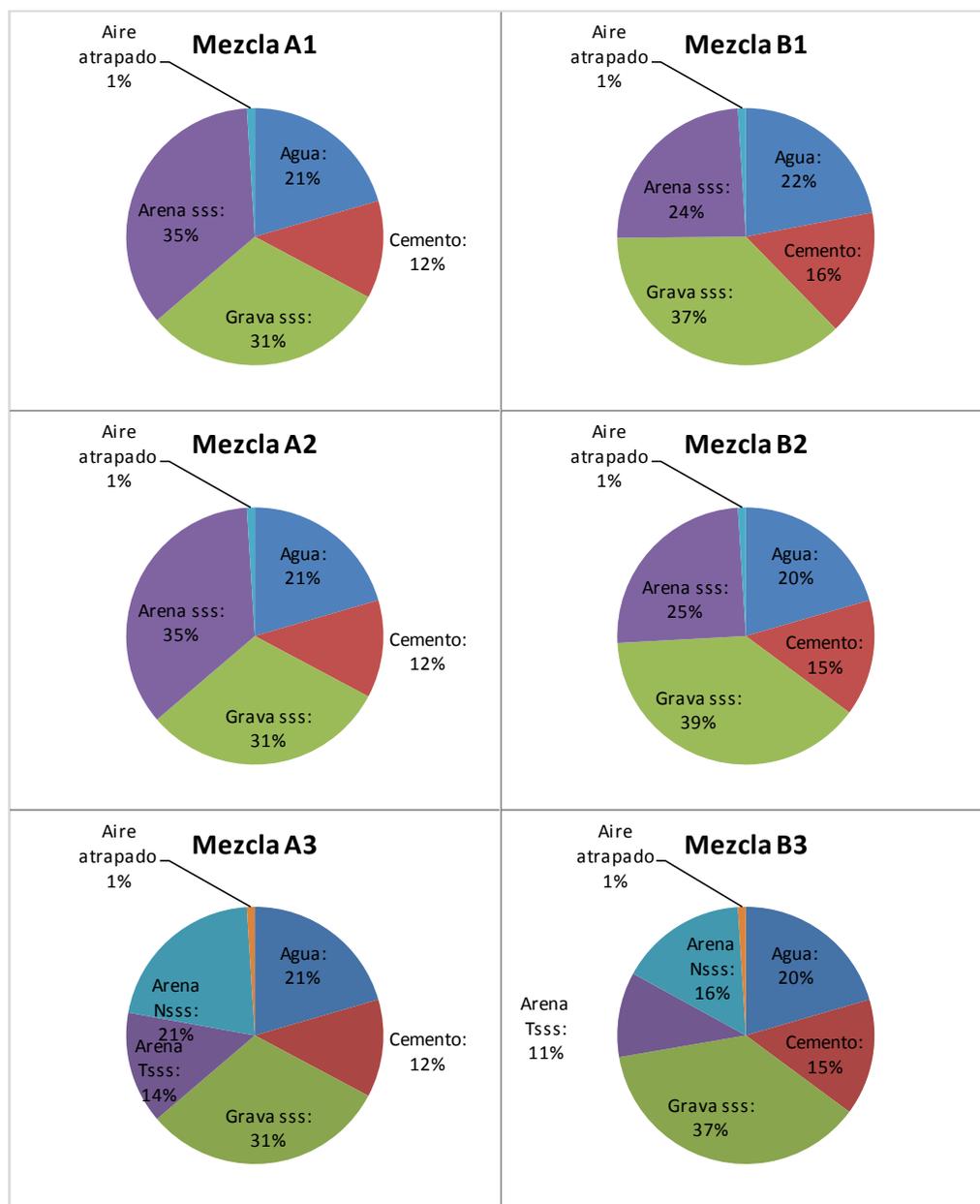
12) Diseño

Material:	Para 1 m ³	Para 80 l	Para 40 l
Agua:	205 ℓ	16 ℓ	8 ℓ
Cemento:	436 kg	35 kg	17 kg
Grava sss:	962 kg	77 kg	38 kg
Arena Trit. sss (40%):	269 kg	22 kg	11 kg
Arena Nat. sss (60%):	378 kg	30 kg	15 kg

Resumen de las proporciones de los componentes de la mezcla B3 en VOLUMEN



3.9.6 RESUMEN COMPARATIVO DE LAS PROPORCIONES DE CADA DISEÑO DEFINITIVO DE MEZCLA EN VOLUMEN²⁷



²⁷ En el Anexo 1 aparecen los diseños definitivos por cada bachada que se elaboró en el laboratorio para cada diseño de mezcla

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 INTRODUCCIÓN

A continuación se exponen los resultados obtenidos en los ensayos realizados a las mezclas de concreto en estado fresco y endurecido para cada uno de los diseños a evaluar, según lo mencionado en la sección 3.5.1.2 y en la tabla No. 3.2 de este documento.

Para evaluar el comportamiento del concreto en estado fresco se realizaron ensayos de revenimiento, contenido de aire, temperatura y peso volumétrico, lo que nos permitirá determinar la trabajabilidad, apariencia y consistencia del concreto elaborado con arena triturada, arena natural y una combinación de ambas, al mismo tiempo que cumplen con los requerimientos mencionados en la sección 3.6.5 del capítulo 3 de este trabajo.

En cuanto al concreto en estado endurecido, se expondrán los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión realizados a 7 y 28 días a 30 pares de especímenes por cada diseño de mezcla, de los cuales se presenta el promedio de los datos obtenidos en todos los ensayos, de tal forma que se pueda comparar un concreto elaborado con arena natural y otro con arena triturada elaborados bajo

las mismas condiciones, según lo indicado en los objetivos y alcances de este trabajo de graduación.

4.2 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.2.1 ENSAYOS AL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

Los ensayos al concreto en estado fresco se realizaron en cada una de las mezclas que se elaboró en el laboratorio; dichos ensayos se llevaron a cabo siguiendo lo indicado en la sección 3.5.1.5 para el revenimiento, contenido de aire, temperatura y peso volumétrico; así como también para la elaboración y curado de los especímenes que luego se utilizarían para los ensayos al concreto en estado endurecido.

A continuación se muestran, en la tabla No. 4.1, los resultados de los ensayos mencionados.

Tabla No.4.1: Detalle de resultados de los ensayos al concreto en estado fresco

No. de Bachada	Fecha	Revenimiento (mm). 100 mm ± 25 mm	Temperatura (°C)	Peso volumétrico (kg/m ³)	Contenido de Aire (%)	Mezcla	No. Cilindros
1	21/02/2012	100	32.0	2280	1.7	A1	1-4
2	12/03/2012	125	30.5	2310	1.2	A1	5-10
3	13/03/2012	100	32.0	2330	1.4	A1	11-18
4	15/03/2012	125	27.5	2310	1.7	A1	19-22

No. de Bachada	Fecha	Revenimiento (mm). 100 mm \pm 25 mm	Temperatura (°C)	Peso volumétrico (kg/m ³)	Contenido de Aire (%)	Mezcla	No. Cilindros
5	16/03/2012	100	30.5	2320	1.2	A1	23-28
6	19/03/2012	115	30.0	2330	1.3	A1	29-34
7	21/03/2012	100	29.5	2320	1.1	A1	35-40
8	22/03/2012	105	28.5	2310	1.4	A1	41-44
9	09/04/2012	105	30.5	2320	1.3	A1	45-50
10	11/04/2012	125	28.5	2310	1.5	A1	51-60
PROMEDIO		110	30.0	2310	1.4		
1	16/04/2012	100	26.0	2250	1.9	A2	1-10
2	17/04/2012	100	28.0	2250	2.1	A2	11-20
3	17/05/2012	100	25.0	2270	2.0	A2	21-30
4	18/05/2012	100	27.0	2260	2.3	A2	31-38
5	21/05/2012	125	26.0	2260	2.1	A2	39-50
6	22/05/2012	100	30.5	2280	1.8	A2	51-60
PROMEDIO		105	27.0	2260	2.0		
1	29/05/2012	125	25.0	2300	1.0	B2	1-10
2	30/05/2012	100	32.0	2300	1.0	B2	11-20
3	31/05/2012	115	30.0	2310	1.2	B2	21-30
4	04/06/2012	105	31.0	2310	1.1	B2	31-40
5	05/06/2012	125	27.0	2300	1.0	B2	41-50
6	07/06/2012	100	31.0	2300	1.2	B2	51-60
PROMEDIO		110	29.5	2300	1.1		
1	14/06/2012	100	28.5	2310	0.9	B1	1-10
2	14/06/2012	100	29.0	2300	1.1	B1	11-20
3	18/06/2012	125	28.0	2310	1.0	B1	21-30
4	19/06/2012	100	27.0	2300	1.0	B1	31-40
5	21/06/2012	125	27.5	2310	0.9	B1	41-50
6	21/06/2012	100	27.5	2330	0.8	B1	51-60
PROMEDIO		110	28.0	2310	1.0		
1	22/06/2012	120	30.5	2310	1.2	A3	1-10
2	22/06/2012	115	31.0	2300	1.5	A3	11-20
3	26/06/2012	115	29.0	2310	1.1	A3	21-30

No. de Bachada	Fecha	Revenimiento (mm). 100 mm \pm 25 mm	Temperatura (°C)	Peso volumétrico (kg/m ³)	Contenido de Aire (%)	Mezcla	No. Cilindros
4	26/06/2012	125	31.5	2310	1.3	A3	31-40
5	02/07/2012	100	27.5	2300	1.5	A3	41-50
6	05/07/2012	125	31.0	2330	1.1	A3	51-60
PROMEDIO		115	30.0	2310	1.3		
1	25/06/2012	115	32.0	2300	1.5	B3	1-10
2	27/06/2012	125	30.0	2310	1.2	B3	11-20
3	02/07/2012	115	30.5	2310	1.5	B3	21-30
4	03/07/2012	115	29.5	2300	1.1	B3	31-40
5	03/07/2012	125	28.0	2320	1.2	B3	41-50
6	05/07/2012	125	31.5	2300	1.6	B3	51-60
PROMEDIO		105	30.5	2310	1.4		

4.2.1.1 ENSAYO DE REVENIMIENTO

El ensayo de revenimiento se realizó según la norma ASTM C-143, de acuerdo con lo mencionado en la sección 3.6.5., tabla No. 3.6.

Los resultados que se obtuvieron en el ensayo de revenimiento se encuentran dentro de los límites esperados (de 4 a 5 pulgadas). Cabe aclarar, que los resultados que se presentan son el promedio de los valores obtenidos para cada “bachada”, pero que siempre se mantuvieron en el rango antes mencionado. El rango de valores que se obtuvieron para el ensayo de revenimiento en las diferentes mezclas se puede ver en la tabla No. 4.2.1.

En la tabla No. 4.2.1 se exponen los promedios de los ensayos de revenimiento realizados a cada una de las “bachadas” que se realizó por cada diseño de mezcla.

En la tabla No. 4.1 se muestran los resultados de revenimiento para cada bachada elaborada en la fecha especificada; cabe mencionar, que se observó que esta propiedad se veía afectada no sólo por el contenido de agua de la mezcla, sino también por la hora en que fue realizada la mezcla.

Tabla No.4.2.1: Resultados del ensayo de revenimiento a las mezclas de diseño

Mezcla²⁸	Resistencia en estudio (kg/cm²)	Resistencia de diseño (kg/cm²)	Promedio Revenimiento en mm.	Rango en mm.
A1	210	295	110	100-125
A2	210	295	105	100-125
A3	210	295	115	100-125
B1	280	365	110	100-125
B2	280	365	110	100-125
B3	280	365	120	100-125

Fuente: Ensayos de laboratorio realizados por el autor de este trabajo de graduación. Fechas: febrero - julio 2012

²⁸ Cfr. Sección 3.7

4.2.1.2 ENSAYO DE TEMPERATURA

El ensayo de temperatura se realizó según la norma ASTM C-1064, de acuerdo con lo mencionado en la sección 3.6.5., tabla No. 3.6.

En la tabla No. 4.2.2 se exponen los promedios de los ensayos de temperatura realizados a cada una de las “bachadas” que se realizó por cada diseño de mezcla.

Tabla No.4.2.2: Resultados del ensayo de temperatura a las mezclas de diseño

Mezcla	Resistencia en estudio (kg/cm ²)	Resistencia de diseño (kg/cm ²)	Promedio Temperatura (°C)	Rango de temperaturas obtenidas
A1	210	295	30.0	27.5 - 32.0
A2	210	295	27.0	25.0 - 30.5
A3	210	295	30.0	27.5 - 31.5
B1	280	365	28.0	27.0 - 29.0
B2	280	365	29.5	25.0 - 32.0
B3	280	365	30.5	28.0 - 32.0

*Fuente: Ensayos de laboratorio realizados por el autor de este trabajo de graduación.
Fechas: febrero - julio 2012*

Los resultados que se obtuvieron en el ensayo de temperatura se encuentran debajo del límite indicado en la norma ASTM C-94, de 32°C como máximo; y se encuentran redondeados a los 0.5 °C más próximos al valor obtenido en el

laboratorio, como lo pide la norma ASTM C-1064. Cabe aclarar, que los datos que se presentan corresponden al promedio de los valores obtenidos para cada “bachada”, pero que siempre se mantuvieron debajo del límite superior antes mencionado.

En la tabla No. 4.1 se muestran los resultados del ensayo de temperatura para cada mezcla realizada. Además se coloca el rango de temperaturas en que se comportó cada mezcla.

4.2.1.3 ENSAYO DE CONTENIDO DE AIRE

El ensayo de contenido de aire se realizó según la norma ASTM C-231, de acuerdo con lo mencionado en la sección 3.6.5., tabla No. 3.6.

En la tabla No. 4.2.3 se exponen los promedios de los ensayos de contenido de aire realizados a cada una de las “bachadas” que se realizó por cada diseño de mezcla. Así como el rango de valores mínimos y máximos que se observaron para el contenido de aire.

Los resultados que se obtuvieron en el ensayo de contenido de aire se encuentran debajo del límite indicado en la norma ASTM C-94, de 3.5% como máximo. Cabe aclarar, que los datos que se presentan son el promedio de los valores obtenidos para cada “bachada”, pero que siempre se mantuvieron debajo del límite superior

antes mencionado. Los resultados del ensayo de contenido de aire para cada mezcla realizada se muestran en la tabla No. 4.1

Tabla No.4.2.3: Resultados del ensayo de contenido de aire a las mezclas de diseño

Mezcla	Resistencia en estudio (kg/cm²)	Resistencia de diseño (kg/cm²)	Promedio Contenido de aire (%)	Rango de % obtenidos (min-max)
A1	210	295	1.4	1.1 - 1.7
A2	210	295	2.0	1.8 - 2.3
A3	210	295	1.3	1.1 - 1.5
B1	280	365	1.0	0.9 - 1.1
B2	280	365	1.1	1.0 - 1.2
B3	280	365	1.4	1.1 - 1.6

*Fuente: Ensayos de laboratorio realizados por el autor de este trabajo de graduación.
Fechas: febrero - julio 2012*

4.2.1.4 ENSAYO DE PESO VOLUMÉTRICO

El cálculo de peso volumétrico se efectuó según la norma ASTM C-138, de acuerdo con lo mencionado en la sección 3.5.1.2, tabla No. 3.2.

En la tabla No. 4.2.4 se exponen los promedios obtenidos para el cálculo del peso volumétrico realizados para cada una de las “bachadas” que se elaboró por cada

diseño de mezcla; y el rango en que varió el peso volumétrico para las diferentes mezclas.

Tabla No.4.2.4: Resultados del cálculo del peso volumétrico en las mezclas de diseño

Mezcla	Resistencia en estudio (kg/cm²)	Resistencia de diseño (kg/cm²)	Promedio del Peso Volumétrico (kg/m³)	Rango de PVol obtenidos (kg/m³)
A1	210	295	2310	2280 - 2330
A2	210	295	2260	2250 - 2280
A3	210	295	2310	2300 - 2330
B1	280	365	2310	2300 - 2330
B2	280	365	2300	2300 - 2310
B3	280	365	2310	2300 - 2320

*Fuente: Ensayos de laboratorio realizados por el autor de este trabajo de graduación.
Fechas: febrero - julio 2012*

Los resultados del cálculo para el peso volumétrico se muestran redondeados a los 10 kg más próximos. Los resultados del ensayo de peso volumétrico para cada mezcla realizada se muestran en la tabla No. 4.1

4.2.2 ENSAYO AL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

Se presentan a continuación, en las tablas No. 4.2.5 y No. 4.2.6, los resultados del ensayo de resistencia a la compresión para los 30 pares de especímenes de concreto por cada diseño de mezcla; para las edades de 7 y 28 días respectivamente.

Tabla No. 4.2.5: Resistencia a la compresión para los especímenes ensayados a 7 días

No. de Barchada	Fecha	Identificación	Resistencia a la compresión					
			A 7 días				Media Aritmética	
			Fecha	Carga (kgf)	Resistencia (MPa)	% de la Resistencia ²⁹	Resistencia (Mpa)	% de la Resistencia ³⁰
1	21/02/2012	A1-1	28/02/2012	42980	24.0	114%	23.1	110%
		A1-2	28/02/2012	40360	22.2	106%		
2	12/03/2012	A1-5	19/03/2012	38780	21.4	102%	21.8	104%
		A1-6	19/03/2012	40650	22.1	105%		
3	13/03/2012	A1-11	20/03/2012	46170	25.4	121%	25.5	121%
		A1-12	20/03/2012	46510	25.6	122%		
4	15/03/2012	A1-17	22/03/2012	38860	21.4	102%	21.5	102%
		A1-18	22/03/2012	39230	21.6	103%		
5	16/03/2012	A1-23	23/03/2012	47225	25.7	122%	25.4	121%
		A1-24	23/03/2012	46145	25.1	120%		
6	19/03/2012	A1-29	26/03/2012	46490	26.0	124%	25.8	123%
		A1-30	26/03/2012	46380	25.6	122%		
7	21/03/2012	A1-35	28/03/2012	45245	24.6	117%	24.9	118%

²⁹ Porcentaje de la resistencia adquirida con respecto a la resistencia de diseño f_c . Para los diseños A: 21 MPa y para los diseños B: 28 MPa

³⁰ Idem.

No. de Bachada	Fecha	Identificación	Resistencia a la compresión					
			A 7 días				Media Aritmética	
			Fecha	Carga (kgf)	Resistencia (MPa)	% de la Resistencia ²⁹	Resistencia (Mpa)	% de la Resistencia ³⁰
		A1-36	28/03/2012	45490	25.1	120%		
8	22/03/2012	A1-41	29/03/2012	41460	22.6	108%	23.2	110%
		A1-42	29/03/2012	43530	23.7	113%		
9	09/04/2012	A1-45	16/04/2012	46230	25.1	120%	25.1	119%
		A1-46	16/04/2012	46010	25.0	119%		
10	11/04/2012	A1-51	18/04/2012	38785	21.4	102%	21.3	101%
		A1-52	18/04/2012	38341	21.1	100%		
PROMEDIO				43244	23.7	113%		
1	16/04/2012	A2-1	23/04/2012	38975	20.9	100%	20.8	99%
		A2-2	23/04/2012	38365	20.6	98%		
		A2-3	23/04/2012	39010	20.9	100%	20.8	99%
		A2-4	23/04/2012	38549	20.7	99%		
2	17/04/2012	A2-11	24/04/2012	37980	20.7	99%	20.9	100%
		A2-12	24/04/2012	38200	21.1	100%		
		A2-13	24/04/2012	38001	20.9	100%	21.0	100%
		A2-14	24/04/2012	38154	21.0	100%		
3	17/05/2012	A2-21	24/05/2012	39180	21.0	100%	21.0	100%
		A2-22	24/05/2012	38910	20.9	100%		
4	18/05/2012	A2-31	25/05/2012	37990	20.9	100%	20.8	99%
		A2-32	25/05/2012	37970	20.7	99%		
5	21/05/2012	A2-39	28/05/2012	36550	20.1	96%	21.2	101%
		A2-40	28/05/2012	40220	22.2	106%		
		A2-41	28/05/2012	36480	19.8	94%	20.3	96%
		A2-42	28/05/2012	37510	20.7	99%		
6	22/05/2012	A2-51	29/05/2012	42510	23.1	79%	23.3	79%
		A2-52	29/05/2012	42650	23.5	80%		
		A2-53	29/05/2012	41640	22.9	78%	23.1	78%
		A2-54	29/05/2012	43770	23.2	79%		
PROMEDIO				39131	21.3	95%		
1	29/05/2012	B2-1	05/06/2012	56310	30.2	108%	28.9	103%
		B2-2	05/06/2012	51400	27.6	99%		
		B2-3	05/06/2012	55920	30.8	110%	30.9	110%
		B2-4	05/06/2012	56220	31.0	111%		

No. de Bchada	Fecha	Identificación	Resistencia a la compresión					
			A 7 días				Media Aritmética	
			Fecha	Carga (kgf)	Resistencia (MPa)	% de la Resistencia ²⁹	Resistencia (Mpa)	% de la Resistencia ³⁰
2	30/05/2012	B2-11	06/06/2012	56330	31.0	111%	30.9	110%
		B2-12	06/06/2012	55640	30.7	110%		
		B2-13	06/06/2012	56460	31.1	111%	29.9	107%
		B2-14	06/06/2012	52140	28.7	103%		
3	31/05/2012	B2-21	07/06/2012	55460	29.8	106%	30.3	108%
		B2-22	07/06/2012	56510	30.7	110%		
4	04/06/2012	B2-31	11/06/2012	56020	30.9	110%	30.4	109%
		B2-32	11/06/2012	54200	29.9	107%		
		B2-33	11/06/2012	56120	30.5	109%	29.6	106%
		B2-34	11/06/2012	52015	28.7	103%		
5	05/06/2012	B2-41	12/06/2012	56770	30.5	109%	30.4	109%
		B2-42	12/06/2012	56400	30.3	108%		
		B2-43	12/06/2012	55020	29.5	105%	29.9	107%
		B2-44	12/06/2012	55620	30.3	108%		
6	07/06/2012	B2-51	14/06/2012	56270	29.8	106%	29.6	106%
		B2-52	14/06/2012	55030	29.5	105%		
PROMEDIO				55293	30.1	107%		
1	14/06/2012	B1-1	21/06/2012	57900	31.9	114%	32.0	114%
		B1-2	21/06/2012	59060	32.1	115%		
		B1-3	21/06/2012	57560	31.7	113%	31.9	114%
		B1-4	21/06/2012	58830	32.0	114%		
2	14/06/2012	B1-11	21/06/2012	57980	32.0	114%	32.2	115%
		B1-12	21/06/2012	58710	32.4	116%		
3	18/06/2012	B1-21	25/06/2012	58456	31.8	114%	31.3	112%
		B1-22	25/06/2012	55872	30.8	110%		
		B1-23	25/06/2012	56766	30.9	110%	30.6	109%
		B1-24	25/06/2012	54870	30.2	108%		
4	19/06/2012	B1-31	26/06/2012	59310	32.3	115%	32.1	114%
		B1-32	26/06/2012	58404	31.8	114%		
		B1-33	26/06/2012	59650	32.0	114%	31.8	113%
		B1-34	26/06/2012	58724	31.5	113%		
5	21/06/2012	B1-41	28/06/2012	58330	31.7	113%	31.0	111%
		B1-42	28/06/2012	55670	30.3	108%		

No. de Bachada	Fecha	Identificación	Resistencia a la compresión					
			A 7 días				Media Aritmética	
			Fecha	Carga (kgf)	Resistencia (MPa)	% de la Resistencia ²⁹	Resistencia (Mpa)	% de la Resistencia ³⁰
		B1-43	28/06/2012	56460	30.7	110%	29.8	106%
		B1-44	28/06/2012	52870	28.8	103%		
6	21/06/2012	B1-51	28/06/2012	57120	31.1	111%	30.9	110%
		B1-52	28/06/2012	56500	30.7	110%		
PROMEDIO				57452	31.3	112%		
1	22/06/2012	A3-1	29/06/2012	41890	23.1	110%	23.2	110%
		A3-2	29/06/2012	42750	23.3	111%		
		A3-3	29/06/2012	41540	22.6	108%	23.2	110%
		A3-4	29/06/2012	42980	23.7	113%		
2	22/06/2012	A3-11	29/06/2012	42270	23.3	111%	23.1	110%
		A3-12	29/06/2012	41450	22.8	109%		
3	26/06/2012	A3-21	03/07/2012	42500	23.4	111%	23.3	111%
		A3-22	03/07/2012	43050	23.1	110%		
		A3-23	03/07/2012	43360	23.9	114%	23.7	113%
		A3-24	03/07/2012	42390	23.4	111%		
4	26/06/2012	A3-31	03/07/2012	40250	22.2	106%	22.7	108%
		A3-32	03/07/2012	42060	23.2	110%		
		A3-33	03/07/2012	41870	23.1	110%	23.0	110%
		A3-34	03/07/2012	41510	22.9	109%		
5	02/07/2012	A3-41	09/07/2012	42480	23.7	113%	23.6	112%
		A3-42	09/07/2012	42510	23.4	111%		
6	05/07/2012	A3-51	12/07/2012	41350	22.8	109%	23.5	112%
		A3-52	12/07/2012	43250	24.2	115%		
		A3-53	12/07/2012	43350	23.9	114%	23.6	112%
		A3-54	12/07/2012	42270	23.3	111%		
PROMEDIO				42254	23.3	111%		
1	25/06/2012	B3-1	02/07/2012	53320	29.0	104%	29.1	104%
		B3-2	02/07/2012	53890	29.3	105%		
		B3-3	02/07/2012	54080	29.4	105%	28.8	103%
		B3-4	02/07/2012	52330	28.1	100%		
2	27/06/2012	B3-11	04/07/2012	54930	29.5	105%	29.5	105%
		B3-12	04/07/2012	54030	29.4	105%		
3	02/07/2012	B3-21	09/07/2012	51980	28.3	101%	28.4	101%

No. de Bachada	Fecha	Identificación	Resistencia a la compresión					
			A 7 días				Media Aritmética	
			Fecha	Carga (kgf)	Resistencia (MPa)	% de la Resistencia ²⁹	Resistencia (Mpa)	% de la Resistencia ³⁰
		B3-22	09/07/2012	53100	28.5	102%		
4	03/07/2012	B3-31	10/07/2012	53700	29.2	104%	29.3	105%
		B3-32	10/07/2012	53980	29.4	105%		
		B3-33	10/07/2012	53080	28.9	103%	29.2	104%
		B3-34	10/07/2012	55010	29.5	105%		
5	03/07/2012	B3-41	10/07/2012	52990	28.4	101%	28.8	103%
		B3-42	10/07/2012	54470	29.2	104%		
		B3-43	10/07/2012	50550	27.5	98%	28.1	100%
		B3-44	10/07/2012	53330	28.6	102%		
6	05/07/2012	B3-51	12/07/2012	53630	28.8	103%	29.0	103%
		B3-52	12/07/2012	54190	29.1	104%		
		B3-53	12/07/2012	52180	28.4	101%	28.9	103%
		B3-54	12/07/2012	54630	29.3	105%		
PROMEDIO				53470	28.9	103%		

Tabla No.4.2.6: Resistencia a la compresión para los especímenes ensayados a 28 días

No. De Bachada	Fecha	Identificación	Resistencia a la compresión					
			A 28 días				Media Aritmética	
			Fecha	Carga (kgf)	Resistencia (kg/cm2)	% de la Resistencia ³¹	Resistencia (Mpa)	% de la Resistencia ³²
1	21/02/2012	A1-3	20/03/2012	57180	31.5	150%	32.4	154%
		A1-4	20/03/2012	60270	33.2	158%		
2	12/03/2012	A1-7	09/04/2012	58580	31.5	150%	30.6	146%

³¹ Porcentaje de la resistencia adquirida con respecto a la resistencia de diseño f_c . Para los diseños A: 21 MPa y para los diseños B: 28 MPa

³² Idem.

No. De Bachada	Fecha	Identificación	Resistencia a la compresión					
			A 28 días				Media Aritmética	
			Fecha	Carga (kgf)	Resistencia (kg/cm ²)	% de la Resistencia ³¹	Resistencia (Mpa)	% de la Resistencia ³²
		A1-8	09/04/2012	54000	29.8	142%	31.0	148%
		A1-9	09/04/2012	59220	31.8	151%		
		A1-10	09/04/2012	54880	30.2	144%		
3	13/03/2012	A1-13	10/04/2012	59850	33.0	157%	33.8	161%
		A1-14	10/04/2012	61890	34.6	165%		
		A1-15	10/04/2012	61040	33.2	158%	33.8	161%
		A1-16	10/04/2012	62300	34.3	163%		
4	15/03/2012	A1-19	12/04/2012	54600	30.1	143%	29.9	142%
		A1-20	12/04/2012	54570	29.7	141%		
		A1-21	12/04/2012	59050	32.5	155%	31.9	152%
		A1-22	12/04/2012	56640	31.2	149%		
5	16/03/2012	A1-25	13/04/2012	63980	34.8	166%	34.8	165%
		A1-26	13/04/2012	63740	34.7	165%		
		A1-27	13/04/2012	62150	33.4	159%	33.8	161%
		A1-28	13/04/2012	62010	34.2	163%		
6	19/03/2012	A1-31	16/04/2012	61530	33.5	160%	33.3	158%
		A1-32	16/04/2012	59950	33.0	157%		
		A1-33	16/04/2012	62250	34.3	163%	34.5	164%
		A1-34	16/04/2012	62090	34.7	165%		
7	21/03/2012	A1-37	18/04/2012	62140	33.8	161%	33.2	158%
		A1-38	18/04/2012	59990	32.6	155%		
		A1-39	18/04/2012	61910	34.1	162%	34.0	162%
		A1-40	18/04/2012	61780	34.0	162%		
8	22/03/2012	A1-43	19/04/2012	55210	29.6	141%	30.5	145%
		A1-44	19/04/2012	56770	31.3	149%		
9	09/04/2012	A1-47	07/05/2012	63100	33.9	161%	34.1	162%
		A1-48	07/05/2012	63120	34.3	163%		
		A1-49	07/05/2012	62790	33.7	160%	34.0	162%
		A1-50	07/05/2012	62420	34.4	164%		
10	11/04/2012	A1-53	09/05/2012	55596	30.6	146%	30.5	145%
		A1-54	09/05/2012	55670	30.3	144%		
		A1-55	09/05/2012	55980	30.8	147%	31.3	149%
		A1-56	09/05/2012	59220	31.8	151%		

No. De Bachada	Fecha	Identificación	Resistencia a la compresión					
			A 28 días				Media Aritmética	
			Fecha	Carga (kgf)	Resistencia (kg/cm2)	% de la Resistencia ³¹	Resistencia (Mpa)	% de la Resistencia ³²
		A1-57	09/05/2012	58050	32.0	152%	31.1	148%
		A1-58	09/05/2012	55650	30.3	144%		
		A1-59	09/05/2012	58610	32.3	154%	31.9	152%
		A1-60	09/05/2012	56940	31.4	150%		
PROMEDIO				59418	32.5	155%		
1	16/04/2012	A2-5	14/05/2012	55700	30.3	144%	30.1	144%
		A2-6	14/05/2012	55105	30.0	143%		
		A2-7	14/05/2012	56200	30.2	144%	30.1	143%
		A2-8	14/05/2012	54995	29.9	142%		
		A2-9	14/05/2012	55999	30.1	143%	29.9	142%
		A2-10	14/05/2012	54367	29.6	141%		
2	17/04/2012	A2-15	15/05/2012	57005	31.0	148%	31.0	147%
		A2-16	15/05/2012	57530	30.9	147%		
		A2-17	15/05/2012	57010	31.0	148%	31.0	148%
		A2-18	15/05/2012	56998	31.0	148%		
		A2-19	15/05/2012	57330	30.8	147%	30.4	145%
		A2-20	15/05/2012	56502	29.9	142%		
3	17/05/2012	A2-23	14/06/2012	55560	30.2	144%	30.2	144%
		A2-24	14/06/2012	56098	30.1	143%		
		A2-25	14/06/2012	54992	29.9	142%	30.0	143%
		A2-26	14/06/2012	55079	30.0	143%		
		A2-27	14/06/2012	56101	30.1	143%	30.0	143%
		A2-28	14/06/2012	55050	29.9	142%		
		A2-29	14/06/2012	56080	30.1	143%	29.8	142%
		A2-30	14/06/2012	54250	29.5	140%		
4	18/05/2012	A2-33	15/06/2012	56980	30.6	146%	30.9	147%
		A2-34	15/06/2012	56350	31.1	148%		
		A2-35	15/06/2012	56990	31.0	148%	31.2	149%
		A2-36	15/06/2012	57680	31.4	150%		
		A2-37	15/06/2012	57450	30.8	147%	30.4	145%
		A2-38	15/06/2012	56400	29.9	142%		
5	21/05/2012	A2-43	18/06/2012	52680	28.7	137%	29.4	140%
		A2-44	18/06/2012	56680	30.0	143%		

No. De Bachada	Fecha	Identificación	Resistencia a la compresión					
			A 28 días				Media Aritmética	
			Fecha	Carga (kgf)	Resistencia (kg/cm2)	% de la Resistencia ³¹	Resistencia (Mpa)	% de la Resistencia ³²
		A2-45	18/06/2012	55440	30.2	144%	30.3	144%
		A2-46	18/06/2012	56370	30.3	144%		
		A2-47	18/06/2012	55990	30.1	143%	30.5	145%
		A2-48	18/06/2012	58240	30.9	147%		
		A2-49	18/06/2012	54820	29.8	142%	30.1	143%
		A2-50	18/06/2012	56510	30.3	144%		
6	22/05/2012	A2-55	19/06/2012	54950	29.5	140%	30.2	144%
		A2-56	19/06/2012	57540	30.9	147%		
		A2-57	19/06/2012	57510	31.7	151%	31.3	149%
		A2-58	19/06/2012	57400	30.8	147%		
		A2-59	19/06/2012	58850	31.2	149%	31.7	151%
		A2-60	19/06/2012	58200	32.1	153%		
PROMEDIO				56275	30.4	145%		
1	29/05/2012	B2-5	26/06/2012	76420	41.0	146%	41.0	147%
		B2-6	26/06/2012	75530	41.1	147%		
		B2-7	26/06/2012	70220	38.7	138%	39.9	143%
		B2-8	26/06/2012	74530	41.1	147%		
		B2-9	26/06/2012	69640	37.9	135%	39.0	139%
		B2-10	26/06/2012	73010	40.2	144%		
2	30/05/2012	B2-15	27/06/2012	77760	42.3	151%	41.8	149%
		B2-16	27/06/2012	75920	41.3	148%		
		B2-17	27/06/2012	77060	41.4	148%	41.7	149%
		B2-18	27/06/2012	77080	41.9	150%		
		B2-19	27/06/2012	78380	42.6	152%	42.4	151%
		B2-20	27/06/2012	78690	42.2	151%		
3	31/05/2012	B2-23	28/06/2012	69710	38.4	137%	38.9	139%
		B2-24	28/06/2012	72270	39.3	140%		
		B2-25	28/06/2012	73300	39.4	141%	39.9	142%
		B2-26	28/06/2012	73180	40.3	144%		
		B2-27	28/06/2012	72060	38.7	138%	38.8	139%
		B2-28	28/06/2012	71570	38.9	139%		
		B2-29	28/06/2012	71400	38.3	137%	39.0	139%
		B2-30	28/06/2012	72770	39.6	141%		

No. De Bachada	Fecha	Identificación	Resistencia a la compresión					
			A 28 días				Media Aritmética	
			Fecha	Carga (kgf)	Resistencia (kg/cm2)	% de la Resistencia ³¹	Resistencia (Mpa)	% de la Resistencia ³²
4	04/06/2012	B2-35	02/07/2012	75760	41.2	147%	41.3	147%
		B2-36	02/07/2012	75920	41.3	148%		
		B2-37	02/07/2012	76060	40.8	146%	41.1	147%
		B2-38	02/07/2012	76080	41.4	148%		
		B2-39	02/07/2012	76380	41.5	148%	41.3	147%
		B2-40	02/07/2012	76290	41.0	146%		
5	05/06/2012	B2-45	03/07/2012	75012	40.3	144%	40.7	145%
		B2-46	03/07/2012	75420	41.0	146%		
		B2-47	03/07/2012	74105	40.8	146%	40.9	146%
		B2-48	03/07/2012	74231	40.9	146%		
		B2-49	03/07/2012	72734	39.6	141%	39.7	142%
		B2-50	03/07/2012	72960	39.7	142%		
6	07/06/2012	B2-53	05/07/2012	77390	42.1	150%	41.7	149%
		B2-54	05/07/2012	75014	41.3	148%		
		B2-55	05/07/2012	76921	41.3	148%	41.6	148%
		B2-56	05/07/2012	76880	41.8	149%		
		B2-57	05/07/2012	76712	41.7	149%	41.9	150%
		B2-58	05/07/2012	78460	42.1	150%		
		B2-59	05/07/2012	77857	41.8	149%	41.9	149%
		B2-60	05/07/2012	77071	41.9	150%		
PROMEDIO				74944	40.7	145%		
1	14/06/2012	B1-5	12/07/2012	80970	43.5	155%	43.4	155%
		B1-6	12/07/2012	80710	43.3	155%		
		B1-7	12/07/2012	78840	42.9	153%	42.7	152%
		B1-8	12/07/2012	77930	42.4	151%		
		B1-9	12/07/2012	78650	42.2	151%	42.8	153%
		B1-10	12/07/2012	80860	43.4	155%		
2	14/06/2012	B1-13	12/07/2012	77870	41.8	149%	41.8	149%
		B1-14	12/07/2012	77920	41.8	149%		
		B1-15	12/07/2012	78220	42.5	152%	42.4	151%
		B1-16	12/07/2012	78710	42.3	151%		
		B1-17	12/07/2012	80090	43.6	156%	43.5	156%
		B1-18	12/07/2012	81020	43.5	155%		

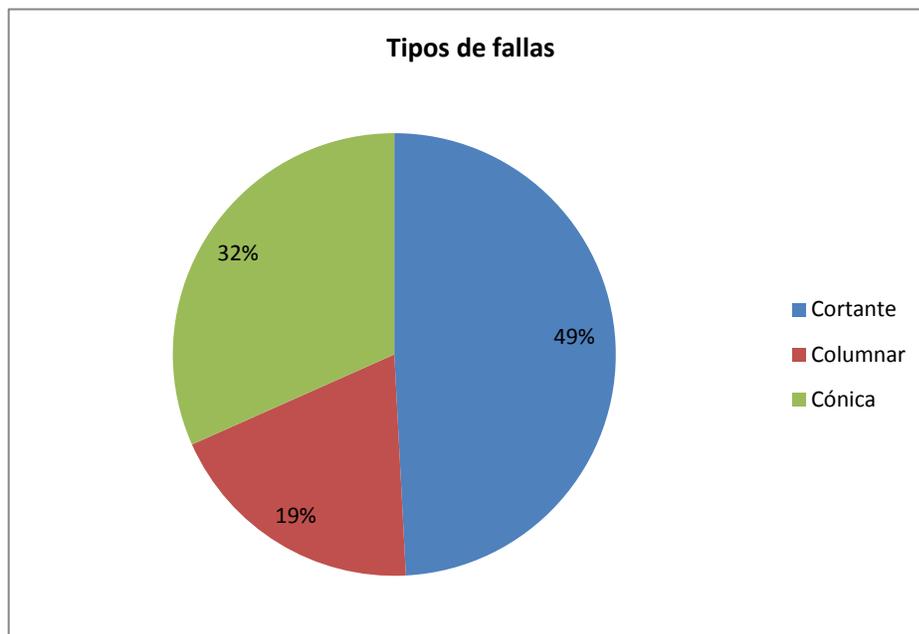
No. De Bachada	Fecha	Identificación	Resistencia a la compresión					
			A 28 días				Media Aritmética	
			Fecha	Carga (kgf)	Resistencia (kg/cm2)	% de la Resistencia ³¹	Resistencia (Mpa)	% de la Resistencia ³²
		B1-19	12/07/2012	78030	41.9	150%	42.2	151%
		B1-20	12/07/2012	79110	42.5	152%		
3	18/06/2012	B1-25	16/07/2012	75990	41.3	148%	41.2	147%
		B1-26	16/07/2012	74510	41.1	147%		
		B1-27	16/07/2012	78400	41.5	148%	40.7	145%
		B1-28	16/07/2012	73200	39.8	142%		
		B1-29	16/07/2012	78980	42.4	151%	41.4	148%
		B1-30	16/07/2012	75060	40.3	144%		
4	19/06/2012	B1-35	17/07/2012	78870	42.3	151%	42.5	152%
		B1-36	17/07/2012	79560	42.7	153%		
		B1-37	17/07/2012	80020	43.5	155%	43.6	156%
		B1-38	17/07/2012	80310	43.7	156%		
		B1-39	17/07/2012	78690	42.8	153%	42.7	153%
		B1-40	17/07/2012	78400	42.6	152%		
5	21/06/2012	B1-45	19/07/2012	75680	41.2	147%	41.0	146%
		B1-46	19/07/2012	73960	40.8	146%		
		B1-47	19/07/2012	78130	41.4	148%	40.4	144%
		B1-48	19/07/2012	72490	39.4	141%		
		B1-49	19/07/2012	80170	43.6	156%	41.9	150%
		B1-50	19/07/2012	74950	40.2	144%		
6	21/06/2012	B1-53	19/07/2012	78620	42.2	151%	43.0	153%
		B1-54	19/07/2012	81390	43.7	156%		
		B1-55	19/07/2012	81430	43.7	156%	43.6	156%
		B1-56	19/07/2012	80830	43.4	155%		
		B1-57	19/07/2012	76590	41.7	149%	41.4	148%
		B1-58	19/07/2012	75540	41.1	147%		
		B1-59	19/07/2012	77430	41.6	149%	41.7	149%
		B1-60	19/07/2012	77610	41.7	149%		
PROMEDIO				78144	42.2	151%		
1	22/06/2012	A3-5	20/07/2012	56500	31.1	148%	31.2	148%
		A3-6	20/07/2012	58880	31.2	149%		
		A3-7	20/07/2012	56100	30.9	147%	31.4	150%
		A3-8	20/07/2012	57970	31.9	152%		

No. De Bachada	Fecha	Identificación	Resistencia a la compresión							
			A 28 días				Media Aritmética			
			Fecha	Carga (kgf)	Resistencia (kg/cm ²)	% de la Resistencia ³¹	Resistencia (Mpa)	% de la Resistencia ³²		
		A3-9	20/07/2012	57450	31.7	151%	31.9	152%		
		A3-10	20/07/2012	58910	32.0	152%				
2	22/06/2012	A3-13	20/07/2012	55970	30.8	147%	31.1	148%		
		A3-14	20/07/2012	57010	31.4	150%				
		A3-15	20/07/2012	56840	31.3	149%				
				A3-16	20/07/2012	58500	31.4	150%	31.4	149%
				A3-17	20/07/2012	57000	31.4	150%		
				A3-18	20/07/2012	58600	32.3	154%	31.9	152%
				A3-19	20/07/2012	57820	31.9	152%		
				A3-20	20/07/2012	58370	32.2	153%		
		3	26/06/2012	A3-25	24/07/2012	56410	31.1	148%	31.8	151%
A3-26	24/07/2012			58830	32.4	154%				
				A3-27	24/07/2012	56070	30.9	147%	31.2	149%
				A3-28	24/07/2012	58660	31.5	150%		
				A3-29	24/07/2012	58070	32.0	152%	31.9	152%
				A3-30	24/07/2012	59240	31.8	151%		
4	26/06/2012	A3-35	24/07/2012	56470	31.1	148%	31.1	148%		
		A3-36	24/07/2012	57850	31.1	148%				
				A3-37	24/07/2012	56050	30.9	147%	31.0	147%
				A3-38	24/07/2012	57010	31.0	148%		
				A3-39	24/07/2012	57180	31.1	148%	31.0	148%
				A3-40	24/07/2012	56080	30.9	147%		
5	02/07/2012	A3-43	30/07/2012	56450	31.1	148%	31.4	150%		
		A3-44	30/07/2012	57570	31.7	151%				
				A3-45	30/07/2012	59080	32.6	155%	32.3	154%
				A3-46	30/07/2012	58670	31.9	152%		
				A3-47	30/07/2012	59120	32.2	153%	32.0	152%
				A3-48	30/07/2012	58550	31.8	151%		
				A3-49	30/07/2012	59070	32.6	155%	32.4	154%
				A3-50	30/07/2012	58990	32.1	153%		
6	05/07/2012	A3-55	02/08/2012	56430	31.1	148%	31.4	149%		
		A3-56	02/08/2012	58850	31.6	150%				
		A3-57	02/08/2012	56090	30.9	147%	31.6	150%		

No. De Bachada	Fecha	Identificación	Resistencia a la compresión					
			A 28 días				Media Aritmética	
			Fecha	Carga (kgf)	Resistencia (kg/cm ²)	% de la Resistencia ³¹	Resistencia (Mpa)	% de la Resistencia ³²
		A3-58	02/08/2012	58680	32.3	154%		
		A3-59	02/08/2012	57230	31.5	150%	31.9	152%
		A3-60	02/08/2012	59260	32.2	153%		
PROMEDIO				57697	31.6	150%		
1	25/06/2012	B3-5	23/07/2012	69970	37.6	134%	37.9	135%
		B3-6	23/07/2012	70060	38.1	136%		
		B3-7	23/07/2012	70790	38.0	136%	37.8	135%
		B3-8	23/07/2012	68010	37.5	134%		
		B3-9	23/07/2012	70310	37.7	135%	38.0	136%
		B3-10	23/07/2012	69440	38.3	137%		
2	27/06/2012	B3-13	25/07/2012	71100	38.7	138%	38.5	138%
		B3-14	25/07/2012	71320	38.3	137%		
		B3-15	25/07/2012	70190	37.7	135%	37.7	134%
		B3-16	25/07/2012	70010	37.6	134%		
		B3-17	25/07/2012	71070	38.7	138%	37.8	135%
		B3-18	25/07/2012	67920	36.9	132%		
		B3-19	25/07/2012	71030	38.6	138%	38.2	136%
		B3-20	25/07/2012	69270	37.7	135%		
3	02/07/2012	B3-23	30/07/2012	70260	37.7	135%	38.6	138%
		B3-24	30/07/2012	72640	39.5	141%		
		B3-25	30/07/2012	68890	37.0	132%	37.2	133%
		B3-26	30/07/2012	69550	37.3	133%		
		B3-27	30/07/2012	72810	39.1	140%	38.4	137%
		B3-28	30/07/2012	68410	37.7	135%		
		B3-29	30/07/2012	68630	37.8	135%	38.3	137%
		B3-30	30/07/2012	70170	38.7	138%		
4	03/07/2012	B3-35	31/07/2012	70340	38.3	137%	38.0	136%
		B3-36	31/07/2012	70220	37.7	135%		
		B3-37	31/07/2012	71100	38.2	136%	37.9	135%
		B3-38	31/07/2012	68200	37.6	134%		
		B3-39	31/07/2012	70160	38.7	138%	38.7	138%
		B3-40	31/07/2012	70070	38.6	138%		
5	03/07/2012	B3-45	31/07/2012	69710	37.4	134%	37.1	133%

No. De Bachada	Fecha	Identificación	Resistencia a la compresión					
			A 28 días				Media Aritmética	
			Fecha	Carga (kgf)	Resistencia (kg/cm ²)	% de la Resistencia ³¹	Resistencia (Mpa)	% de la Resistencia ³²
		B3-46	31/07/2012	69680	36.9	132%	37.5	134%
		B3-47	31/07/2012	71080	37.7	135%		
		B3-48	31/07/2012	68450	37.2	133%		
		B3-49	31/07/2012	71600	38.4	137%	37.9	135%
		B3-50	31/07/2012	67770	37.3	133%		
6	05/07/2012	B3-55	02/08/2012	70210	37.7	135%	37.6	134%
		B3-56	02/08/2012	69760	37.5	134%		
		B3-57	02/08/2012	70880	38.1	136%	37.8	135%
		B3-58	02/08/2012	67900	37.4	134%		
		B3-59	02/08/2012	70250	38.2	136%	38.2	136%
		B3-60	02/08/2012	69270	38.2	136%		
PROMEDIO				69963	37.9	135%		

Figura No.4.1: Tipos de falla en los ensayos de resistencia a la compresión de especímenes de concreto.



Los tipos de falla que presentaron los especímenes que fueron ensayados varían entre fallas de tipo cortante, cónica y columnar; presentándose en su mayoría fallas de tipo cortante, como se puede observar en la figura No. 4.1

A continuación se presenta en las figuras No. 4.2 a la No. 4.5 los gráficos que corresponden a la ganancia de resistencia a la compresión adquiridos por los diseños de mezclas de concreto para 210 kg/cm^2 y 280 kg/cm^2 .

Figura No.4.2: Gráfico comparativo de la resistencia a la compresión adquirida para los diseños de mezclas de concreto para un f'_c de 21.0 MPa.

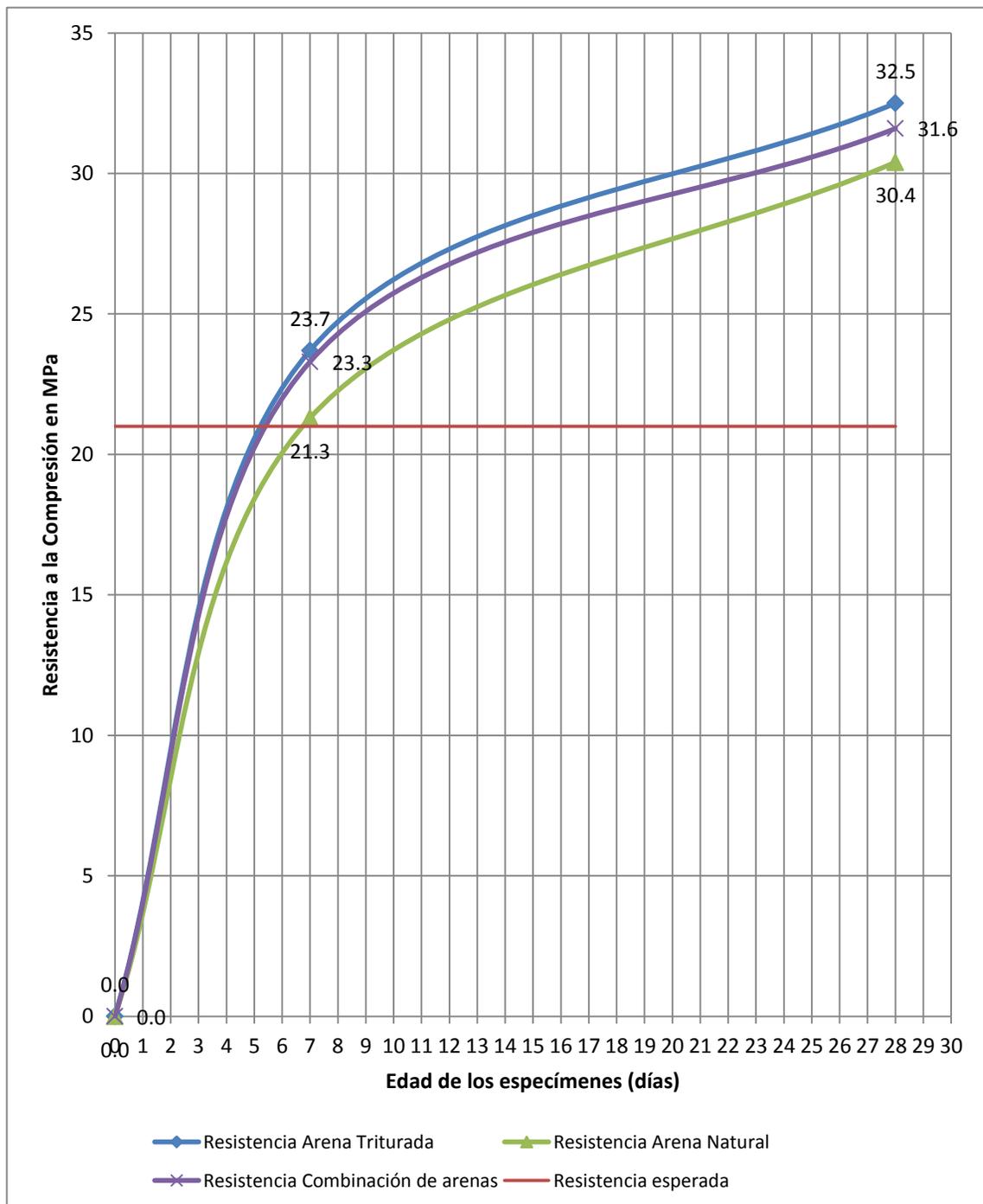


Figura No.4.3: Gráfico comparativo de los porcentajes de resistencia a la compresión adquiridos para los diseños de mezclas de concreto para un f'_c de 21.0 MPa.

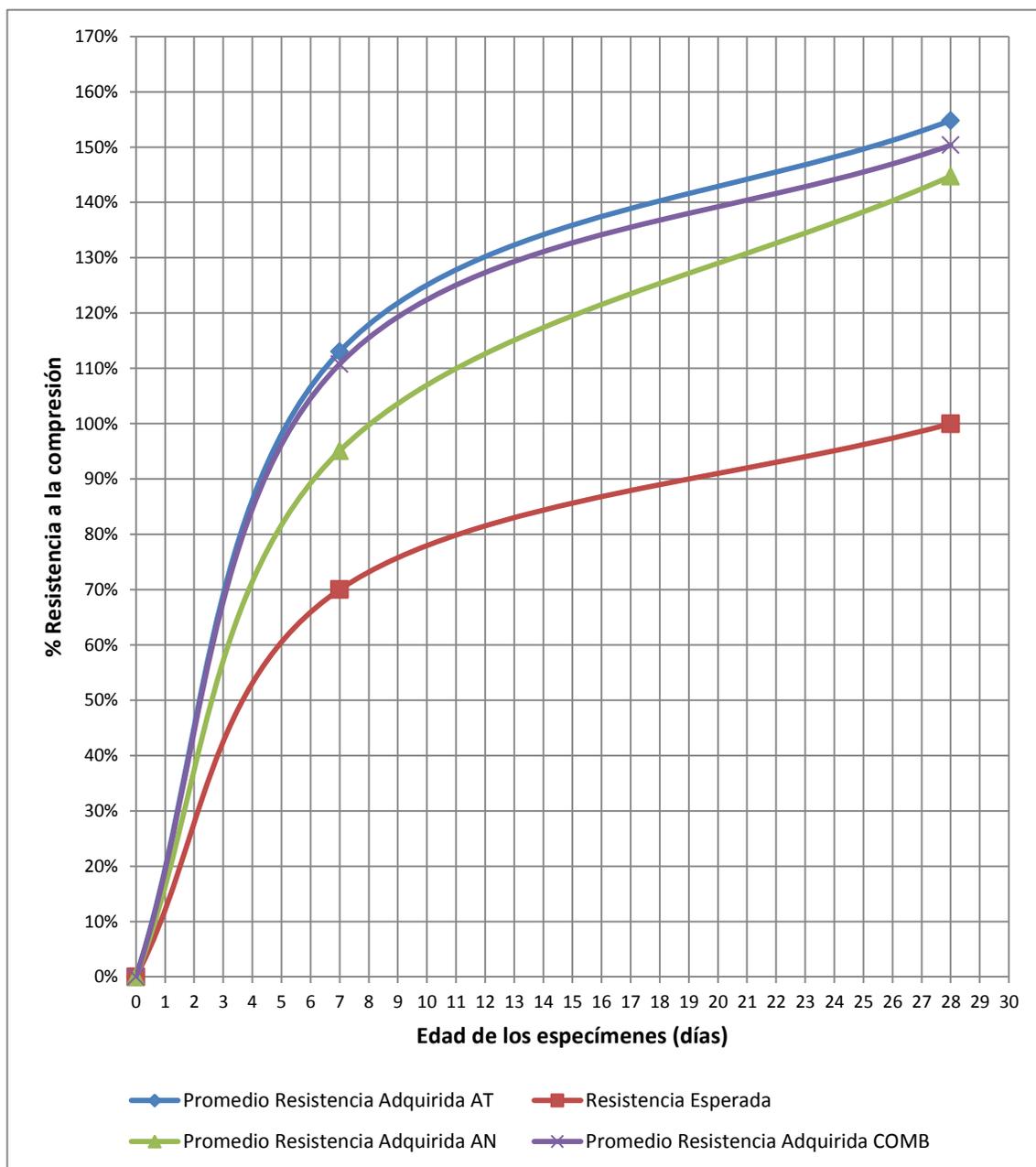


Figura No.4.4: Gráfico comparativo de la resistencia a la compresión adquirida para los diseños de mezclas de concreto para un f'_c de 28.0 MPa.

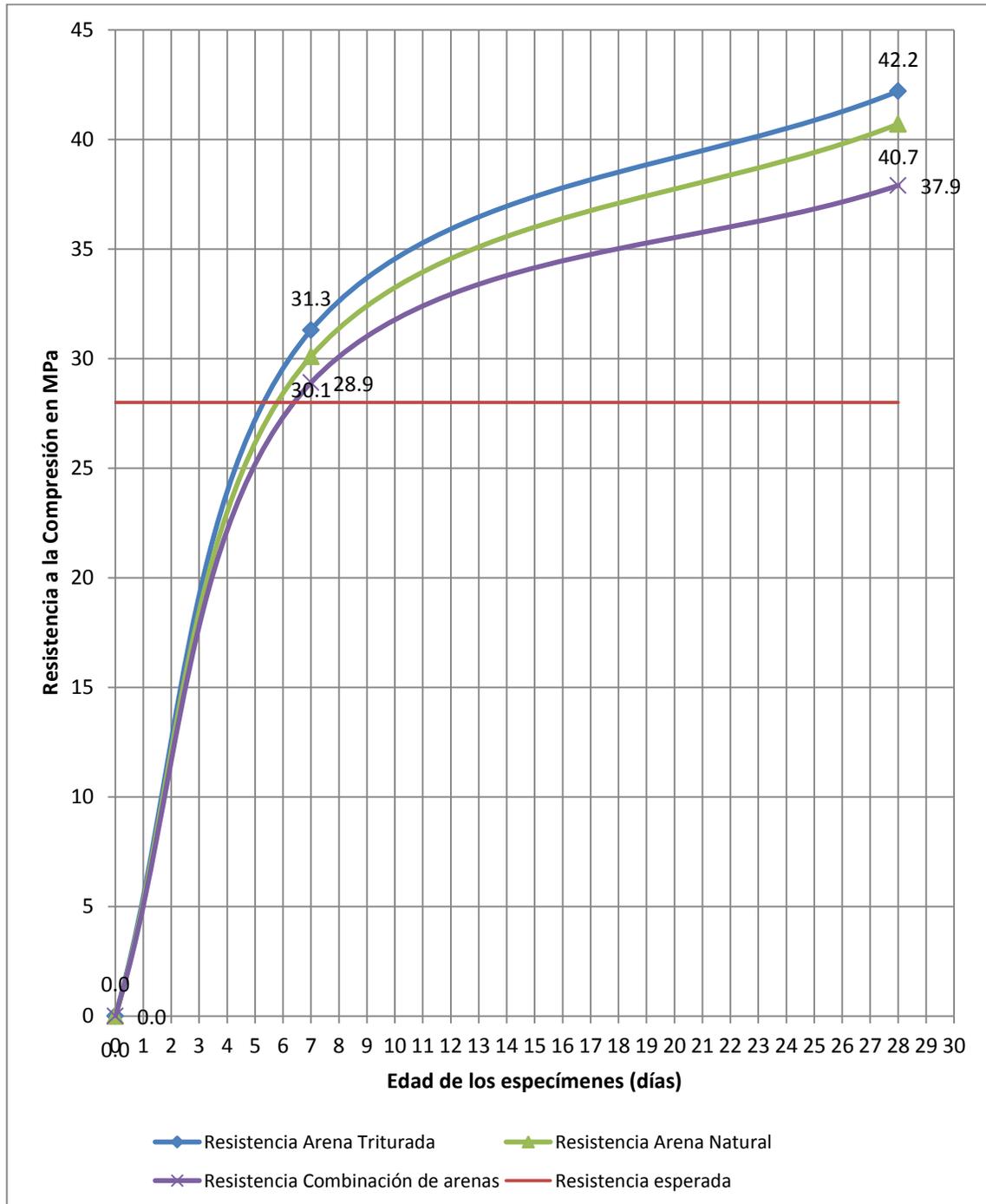
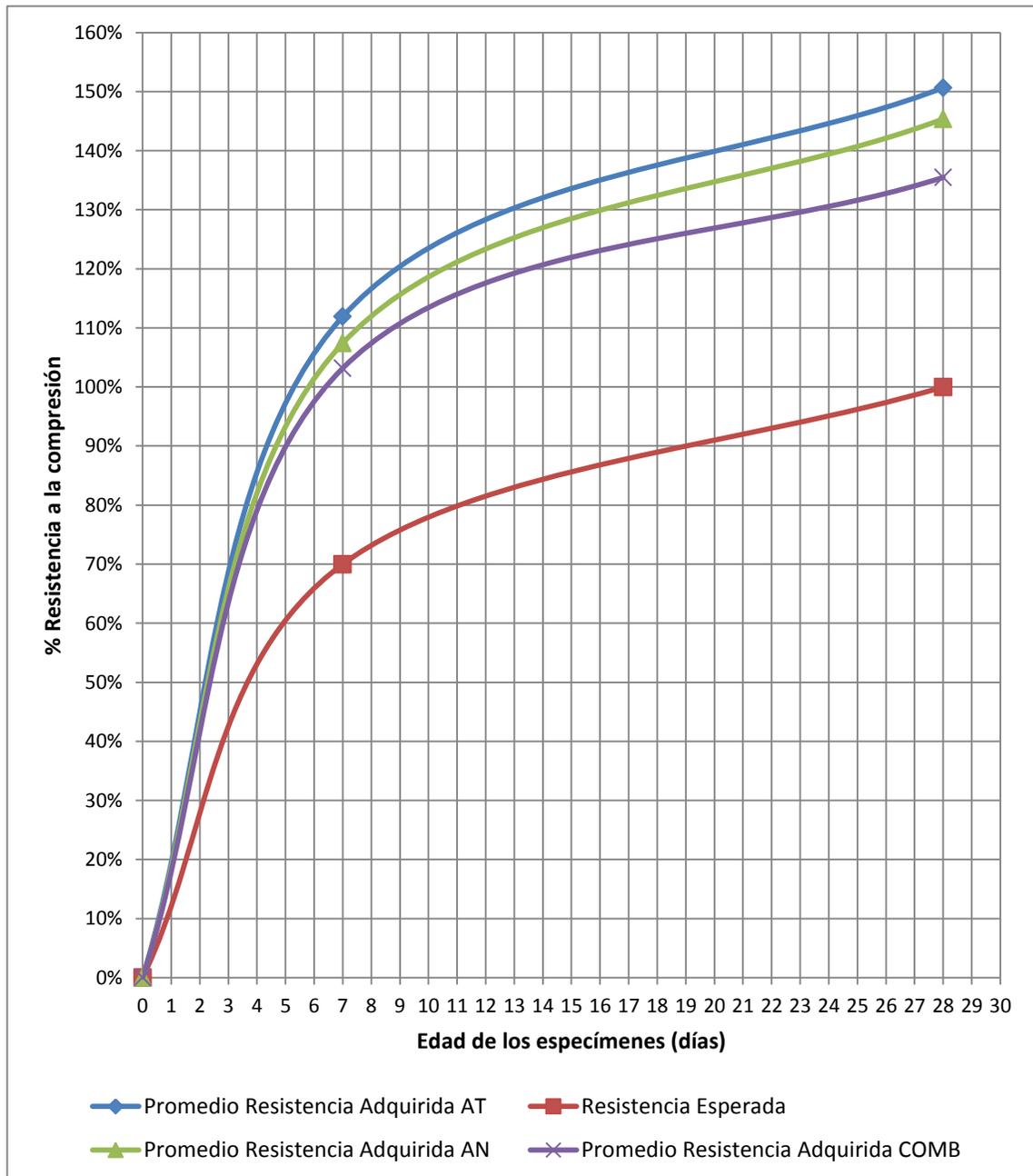


Figura No.4.5: Gráfico comparativo de los porcentajes de resistencia a la compresión adquiridos para los diseños de mezclas de concreto para un $f'c$ de 28.0 MPa.



4.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación se presenta un análisis de los resultados obtenidos y presentados en la sección anterior, teniendo como punto de referencia los objetivos de esta investigación.

Tabla No.4.3.1: Tabla comparativa de los resultados promedio de los ensayos realizados al concreto en estado fresco y endurecido

Mezcla	Revenimiento (mm). 100 mm \pm 25 mm	Temperatura (°C)	Peso volumétrico (kg/m ³) (\pm 15 kg)	Contenido de Aire	Resistencia a la compresión			
					A 7 días		A 28 días	
					Resistencia (MPa)	Ganancia de Resistencia	Resistencia (MPa)	Ganancia de Resistencia
A1	110	30.0	2310	1.4	23.7	113%	32.5	155%
A2	105	27.0	2260	2.0	21.3	95%	30.4	145%
A3	115	30.0	2310	1.3	23.3	111%	31.6	150%
B1	110	28.0	2310	1.0	31.3	112%	42.2	151%
B2	110	29.5	2300	1.1	30.1	107%	40.7	145%
B3	120	30.5	2310	1.4	28.9	103%	37.9	135%

Tanto en las figuras No. 4.2 y No. 4.4 como en la tabla comparativa No. 4.3.1 se puede observar cómo el porcentaje de la resistencia a la compresión adquirida a los

7 y 28 días es siempre mayor para un concreto elaborado con arena triturada que para un concreto elaborado con arena natural. Obteniéndose así una ganancia de resistencia a la compresión, para los diseños A y B elaborados con arena triturada, de 2.1 MPa y 1.5 MPa respectivamente tomando como parámetro de comparación, las resistencias a la compresión de las mezclas (A2 y B2) elaboradas con arena natural.

En la combinación de arena natural y arena triturada, se puede observar que para el diseño tipo A hubo una ganancia de resistencia de 1.2 MPa; sin embargo, en el caso del diseño tipo B hubo una pérdida de 2.8 MPa de resistencia a la compresión, situándose ésta por debajo de la resistencia del concreto elaborado con arena natural.

En cuanto a la trabajabilidad del concreto debe precisarse que, en el caso de las mezclas elaboradas con arena triturada, tuvo que utilizarse un porcentaje mayor (entre 1% y 4%, en volumen) de agua para conseguir el revenimiento requerido según el diseño (como puede observarse en la sección 4.2.3 para cada bachada de cada mezcla); tomándose como parámetro de comparación, las mezclas elaboradas con arena natural. Además, puede decirse que durante la elaboración de las mezclas y los especímenes de concreto era notoria la diferencia en los acabados que se obtenían entre las mezclas elaboradas con arena natural y las elaboradas

con arena triturada; presentando éstas últimas unas superficies más rugosas y ásperas; aun cuando los revenimientos eran muy similares.

Teniendo como referencia los gráficos de pastel de la sección 4.2.3 que representan las proporciones en cada una de las mezclas para los volúmenes de agua, cemento, grava, arena (triturada, natural o ambas) y aire; puede observarse cómo las mezclas elaboradas con arena triturada necesitaron de una mayor cantidad de agua para obtener el revenimiento requerido. De tal forma que se necesitó, en promedio, un 0.3% más de agua (en volumen) en las mezclas tipo A1 en comparación con las mezclas tipo A2; y un 4% más de agua (en volumen) para las mezclas tipo B1 que para las mezclas tipo B2.

En cuanto a los resultados de la resistencia a la compresión, puede observarse que en los casos de las “bachadas” que presentaron un mayor revenimiento, el resultado fue siempre una menor resistencia a la compresión de los cilindros que se elaboraron con dicha mezcla.

Puede observarse también, cómo el concreto elaborado con arena triturada tiene un mayor peso volumétrico que el que fue elaborado con arena natural, presentando un aumento de 50 kg/m^3 y 10 kg/m^3 para las mezclas A y B, respectivamente.

También, en el caso de las mezclas elaboradas con arena triturada para los diseños tipo A, se observa que las mezclas que presentaron un mayor peso volumétrico también presentaron una mayor resistencia y viceversa.

4.3.1 CARTAS DE CONTROL DE CALIDAD

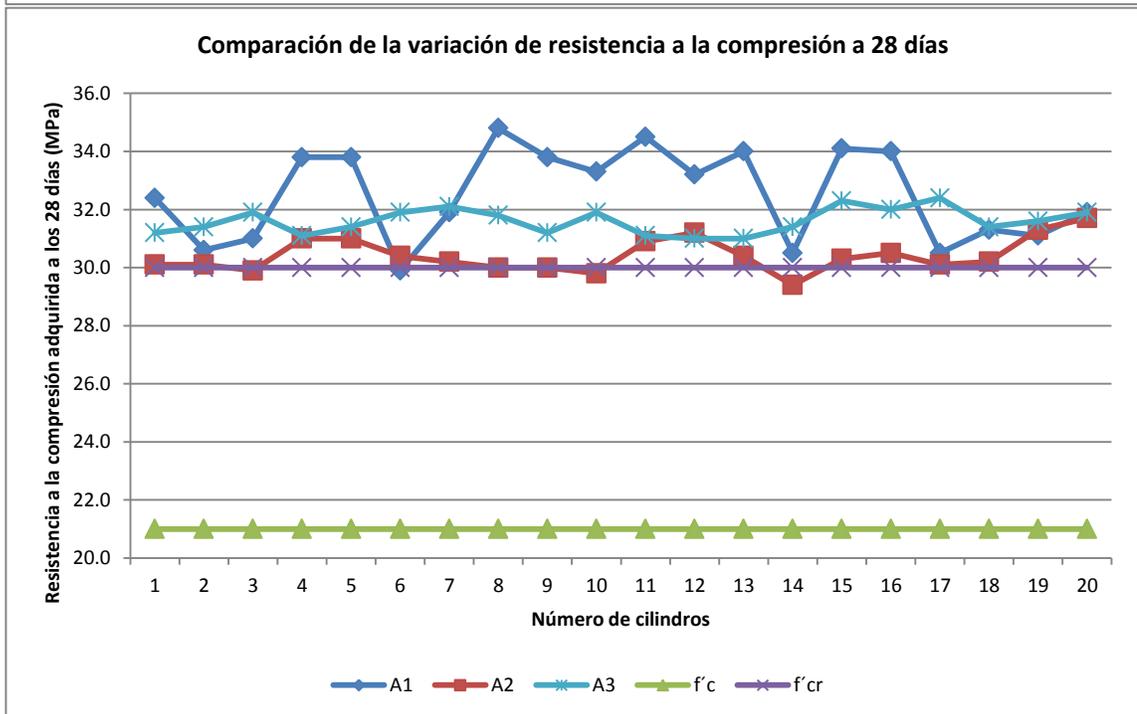
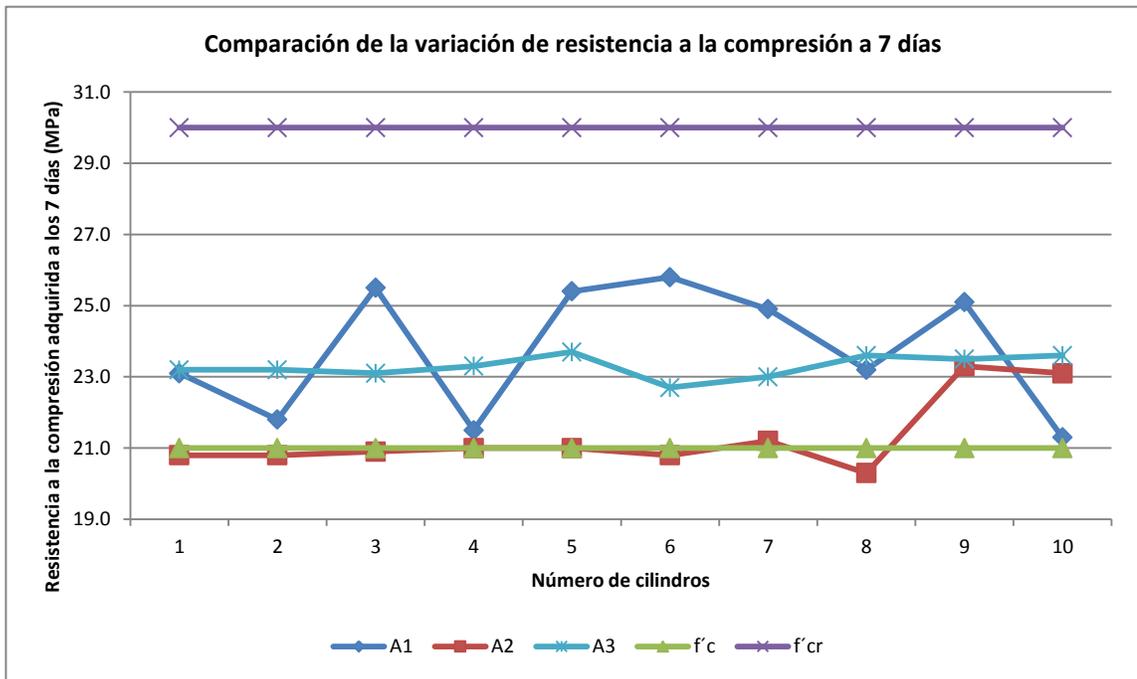
4.3.1.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

A continuación se presentan, en los gráficos del 4.3.1 y 4.3.2, las cartas de control de calidad con la media aritmética de los resultados de los ensayos de la resistencia a la compresión.

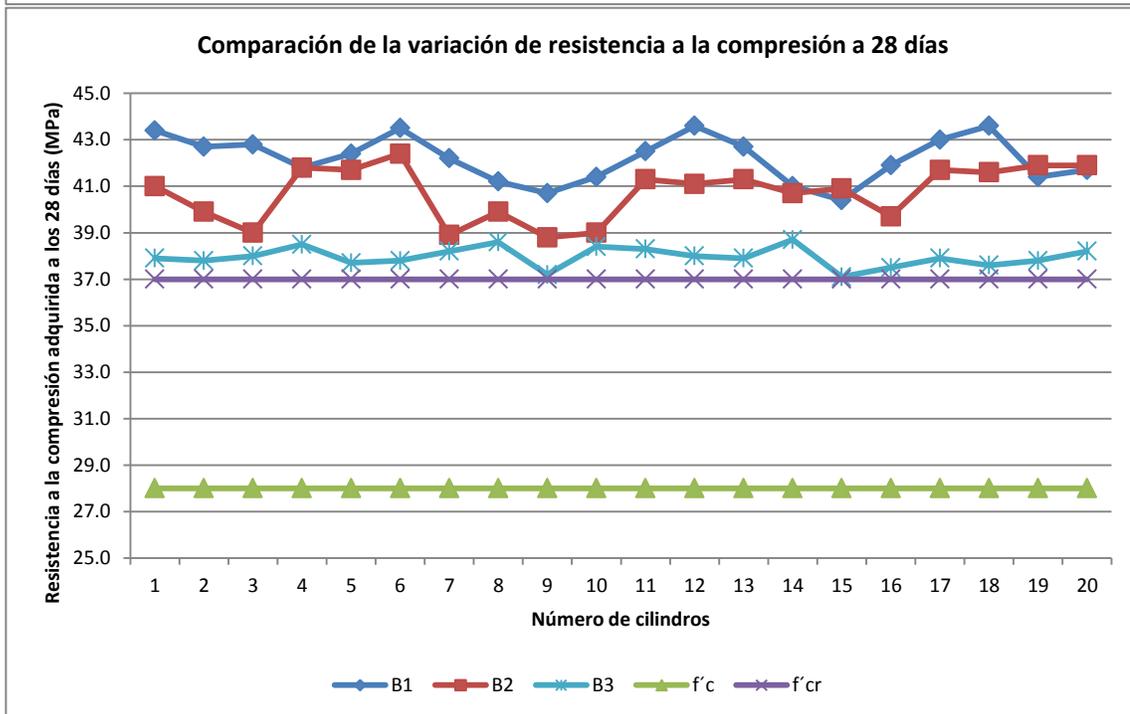
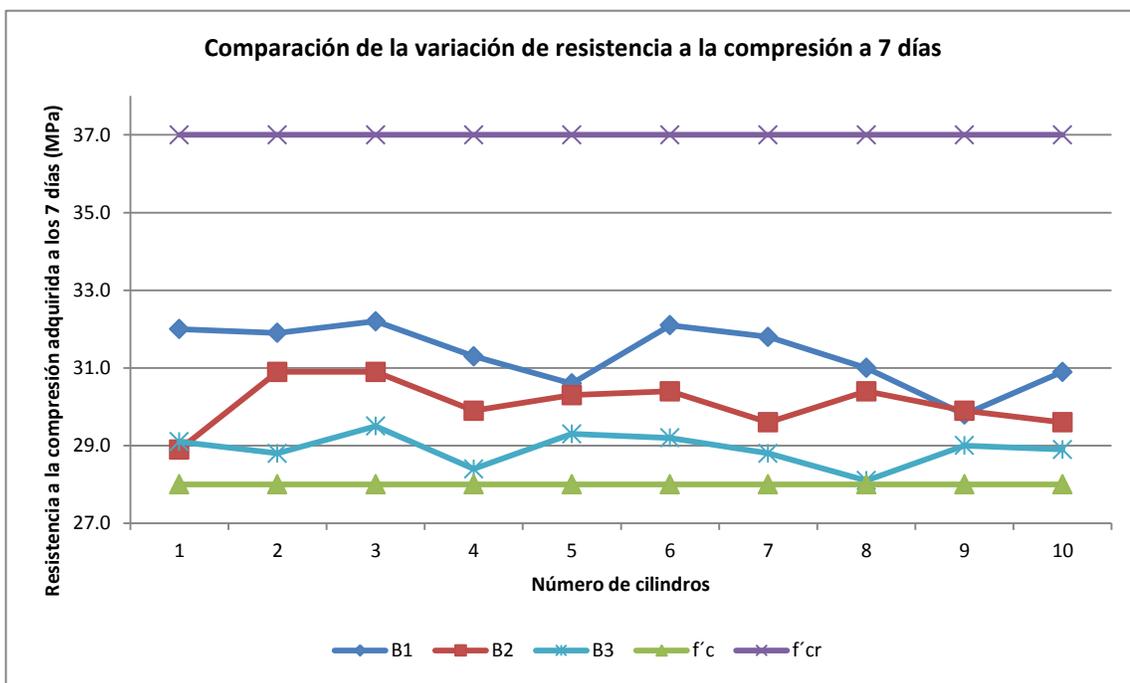
En dichos gráficos se puede observar claramente que la ganancia de resistencia a la compresión en las mezclas elaboradas con arena triturada es mayor que la que se obtiene en las mezclas con arena natural.

En el caso de la combinación de arenas naturales y trituradas se presentó el fenómeno no esperado de una resistencia menor a las mezclas con arena natural en el caso de las mezclas tipo "B".

4.3.1 Comparación de la variación de la Resistencia a la compresión a 7 y 28 días para las mezclas tipo "A"



4.3.2 Comparación de la variación de la Resistencia a la compresión a 7 y 28 días para las mezclas tipo "B"



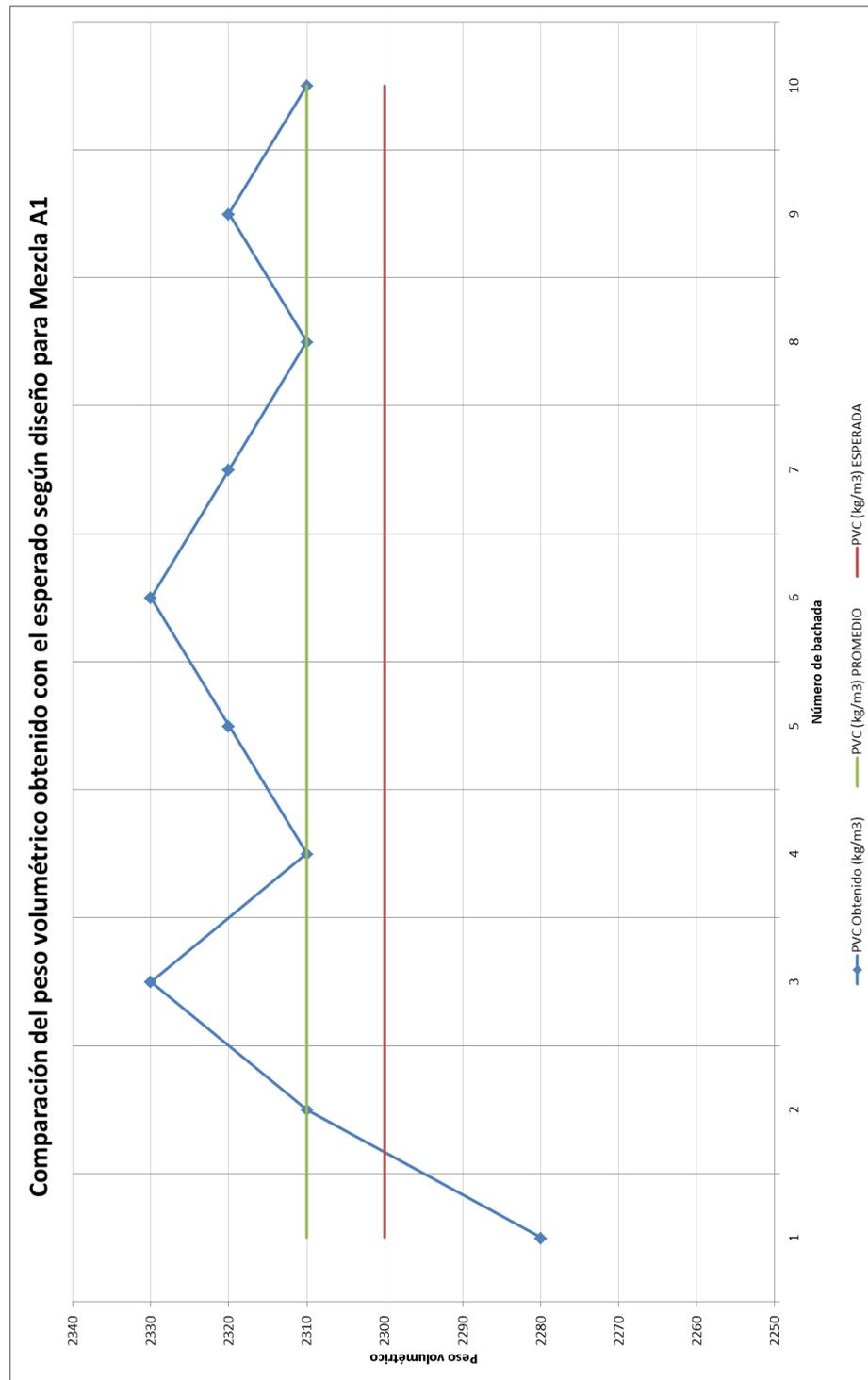
4.3.1.2 PESOS VOLUMÉTRICOS

En los gráficos que siguen (4.3.3 al 4.3.8) se muestran las medias aritméticas de los pesos volumétricos obtenidos para los 6 diseños en estudio. En ellos puede observarse que en su mayoría se obtuvo un resultado superior al esperado.

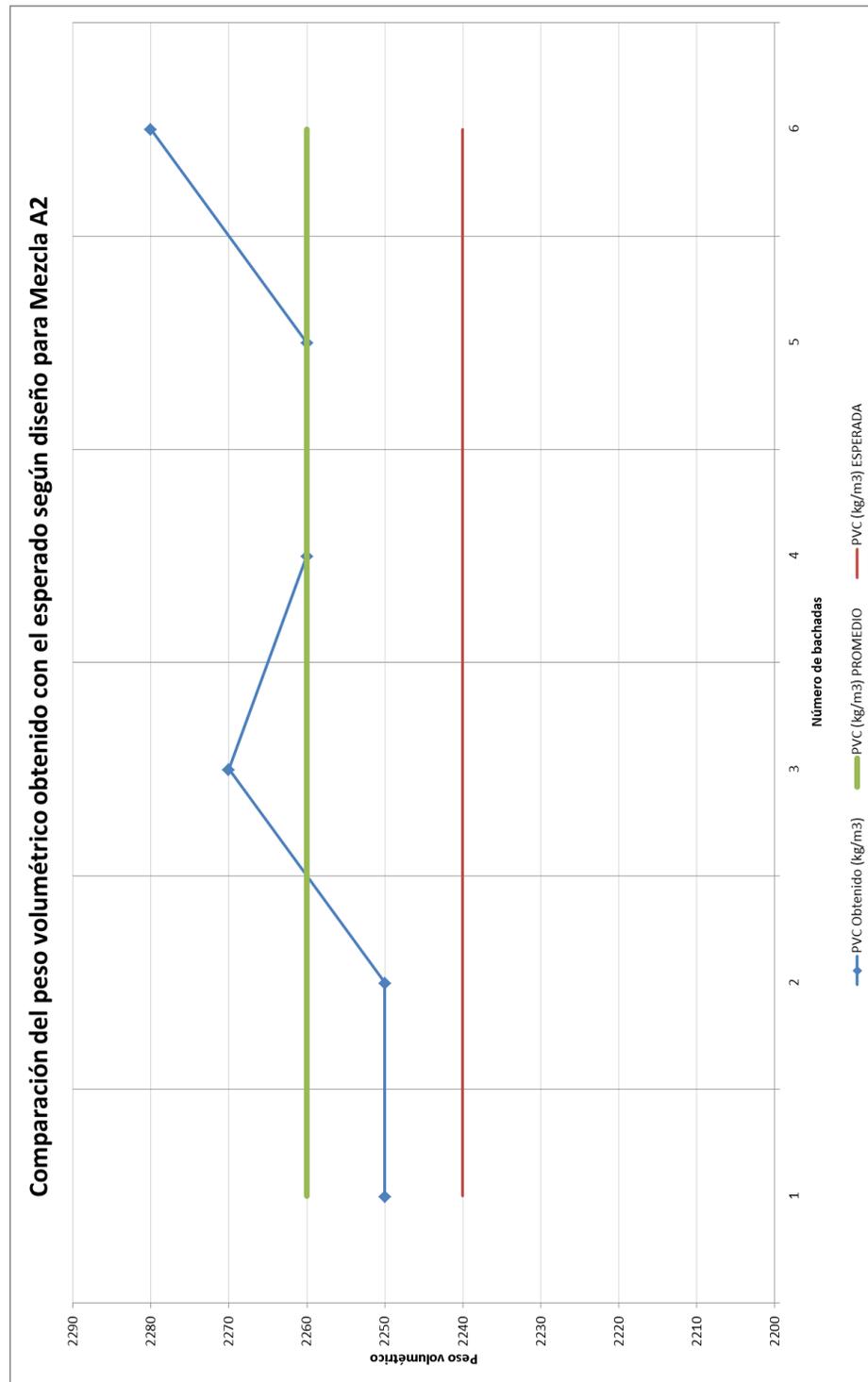
Los resultados de los pesos volumétricos muestran, para el caso de mezclas tipo "A", que el concreto elaborado con arena triturada presenta un rango que oscila de 2280 a 2330 kg/m³ y con un valor promedio de 2310 kg/m³; mientras que el que fue elaborado con arena natural oscila entre 2250 y 2280 kg/m³, con un valor promedio de 2260 kg/m³, obteniéndose una ganancia en peso promedio del 2.2% para las mezclas elaboradas con arena triturada sobre las que fueron elaboradas con arena natural. Incluso en el caso de las mezclas elaboradas con una combinación de arenas se obtuvo pesos mayores a los que se obtuvo con la arena natural, presentando un rango que oscila de 2300 a 2330 kg/m³ y con un valor promedio de 2310 kg/m³, presentando un promedio también del 2.2% de ganancia en peso respecto a la arena natural.

Para las mezclas tipo "B", si se toma el promedio general de los pesos volumétricos obtenidos para las 3 mezclas, se mantienen la misma relación de que para la arena triturada y la arena combinada los pesos volumétricos son mayores (en promedio: 2310 kg/m³) que para la arena natural (2300 kg/m³), obteniendo en promedio una ganancia en peso de un 0.44%

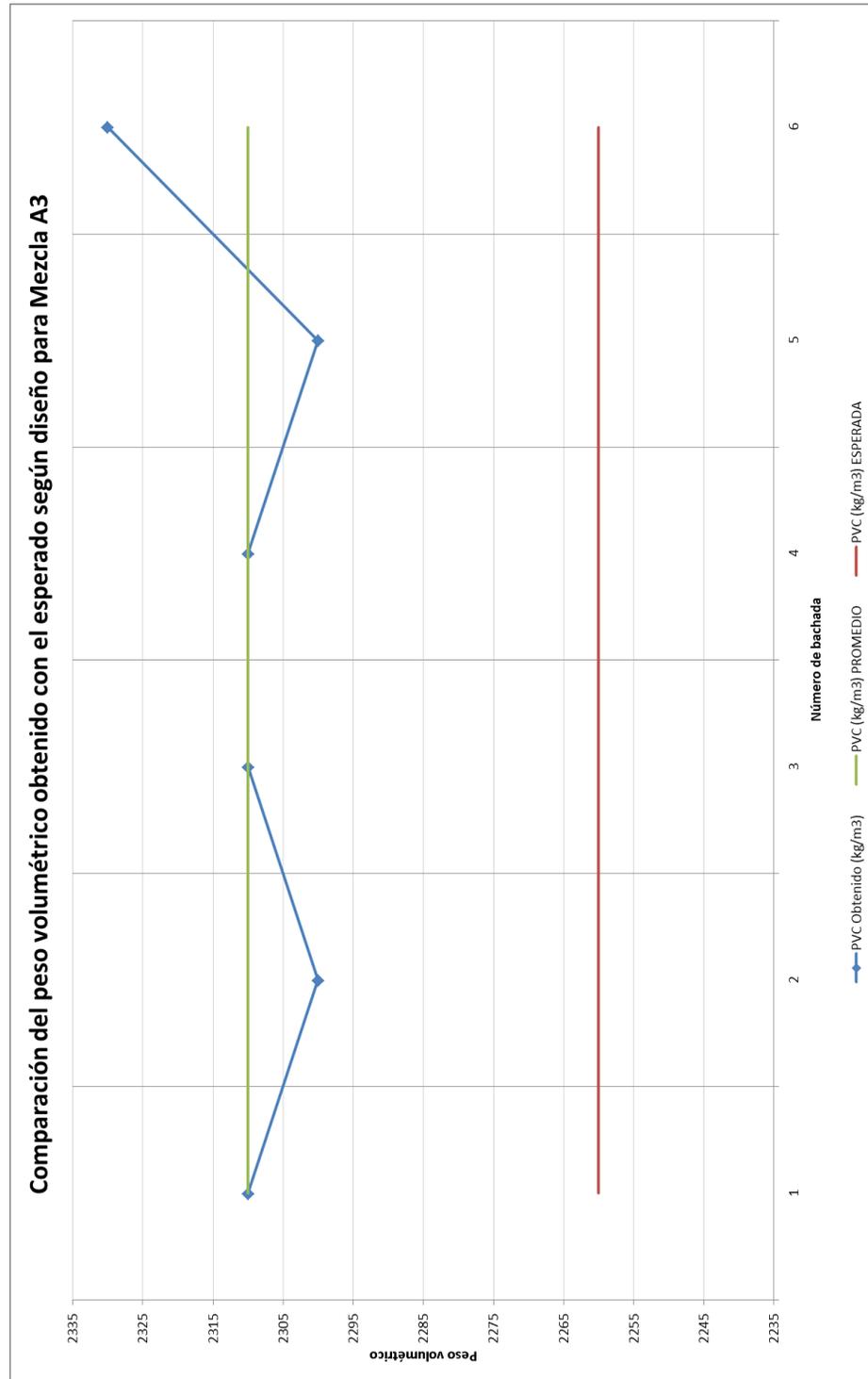
4.3.3 Comparación de la variación de Pesos Volumétricos para las mezclas tipo "A1"



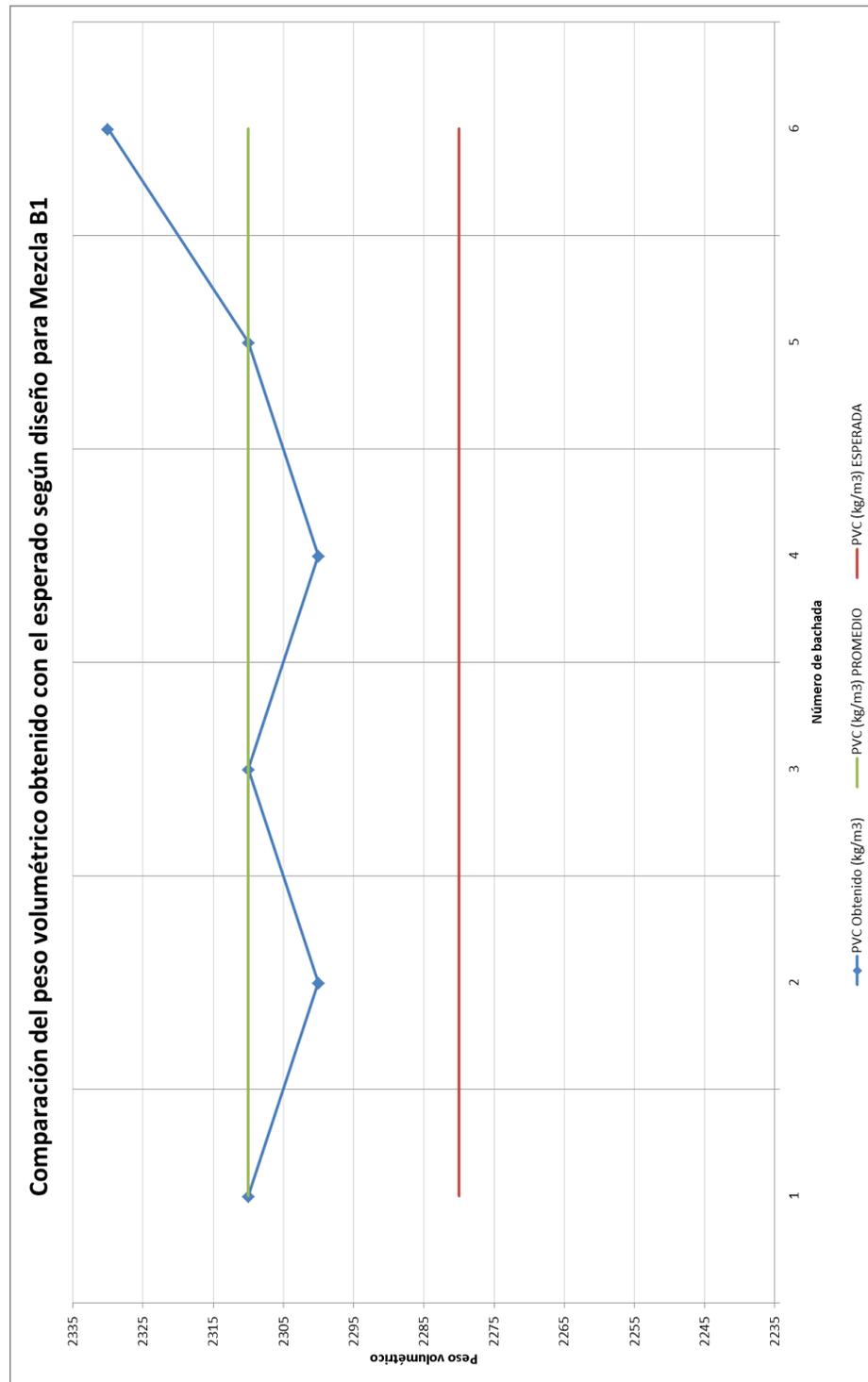
4.3.4 Comparación de la variación de Pesos Volumétricos para las mezclas tipo "A2"



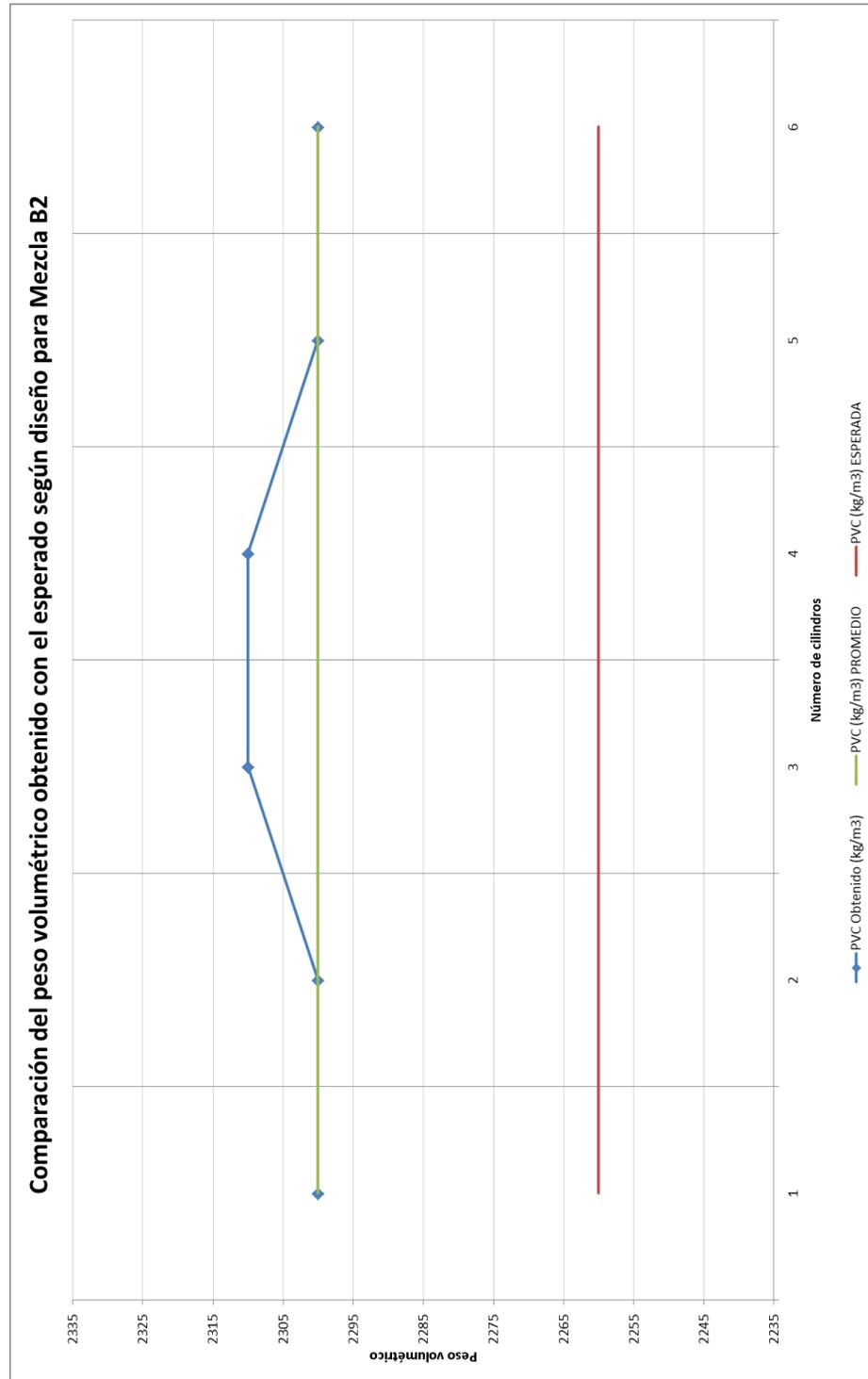
4.3.5 Comparación de la variación de Pesos Volumétricos para las mezclas tipo “A3”



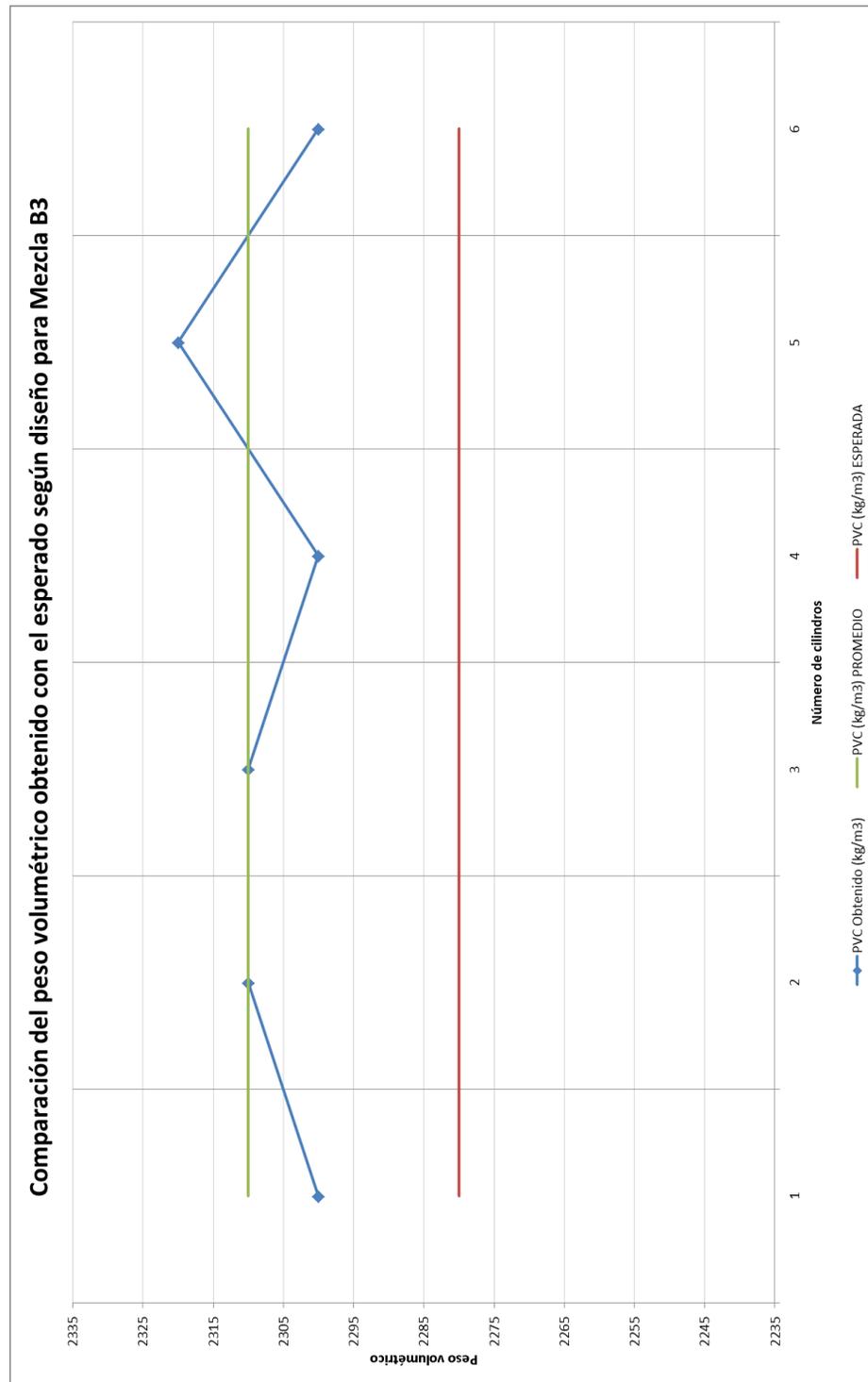
4.3.6 Comparación de la variación de Pesos Volumétricos para las mezclas tipo "B1"



4.3.7 Comparación de la variación de Pesos Volumétricos para las mezclas tipo “B2”



4.3.8 Comparación de la variación de Pesos Volumétricos para las mezclas tipo "B3"



4.3.2 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

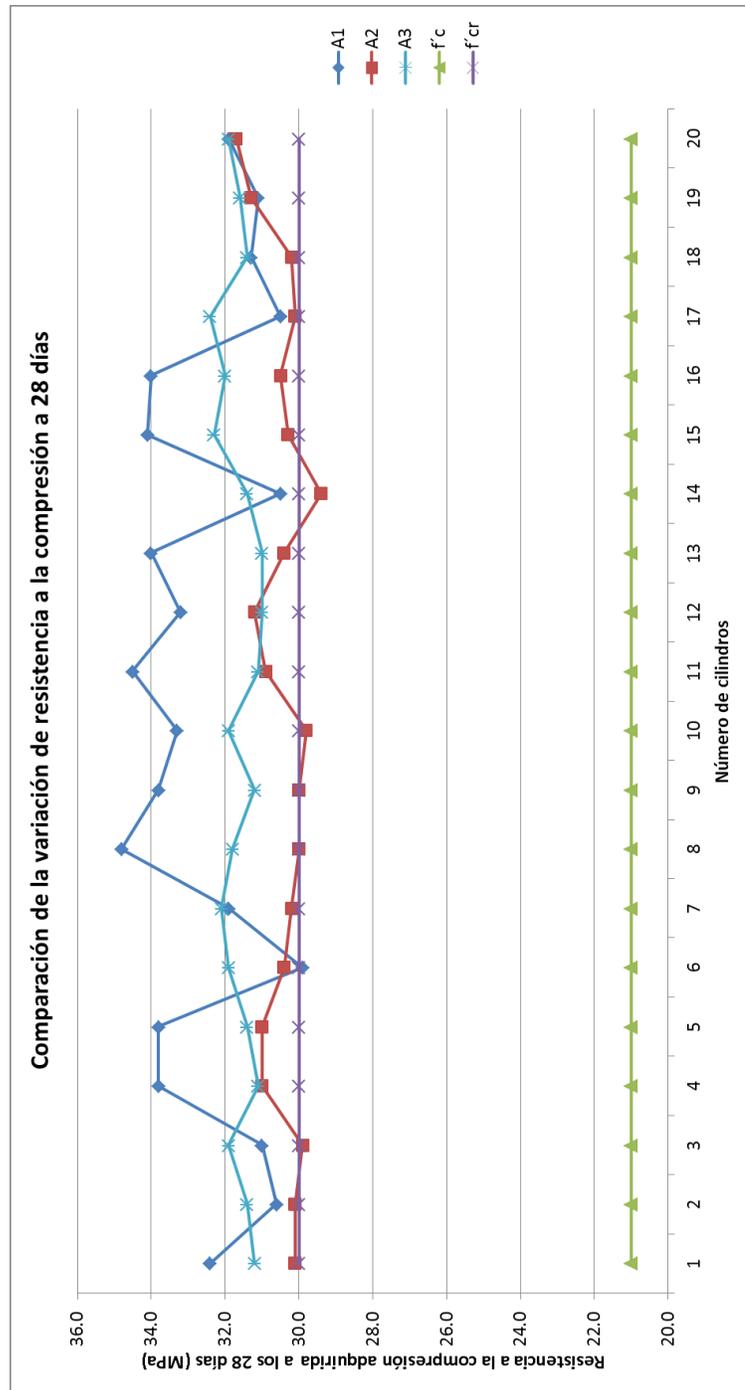
En los siguientes gráficos (4.3.9 y 4.3.10) se muestra la variación de la resistencia a la compresión para los tipos de mezcla A y B, de acuerdo al tipo de agregado fino que se utilizó en la elaboración de cada una de ellas: arena triturada (A1 y B1), arena natural (A2 y B2) y una combinación de arena triturada con arena natural (A3 y B3).

Dicha variación se obtuvo del cálculo de la media aritmética de 2 cilindros consecutivos ensayados a la compresión a 28 días; por lo que se presentan 20 puntos.

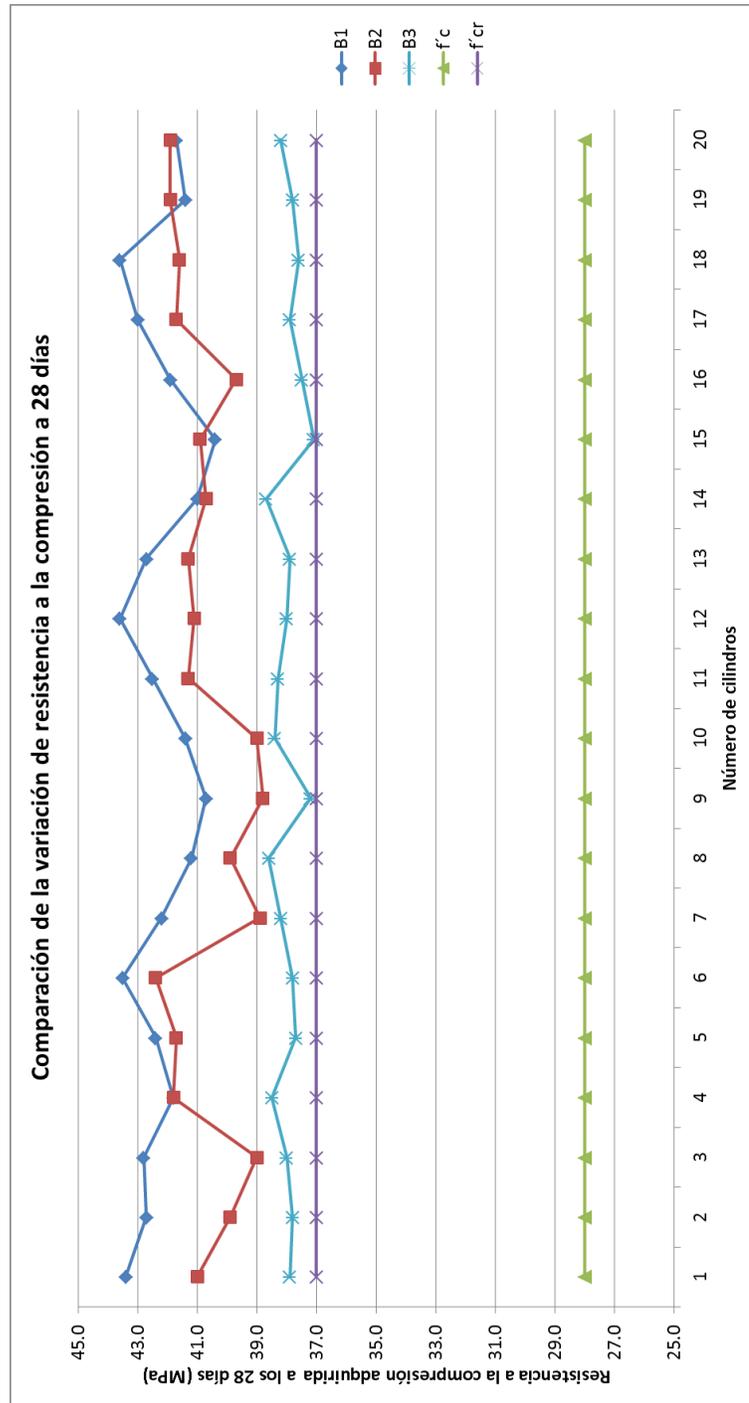
En el gráfico para las mezclas tipo A ($f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$) se puede observar cómo la resistencia para los cilindros elaborados con arena triturada es superior a la resistencia obtenida para los cilindros elaborados con arena natural en la mayoría de sus puntos. Además, del gráfico 4.3.2 se obtiene que, en promedio, la ganancia de resistencia de un concreto elaborado con arena triturada, en comparación con la arena natural, es de un 7%. Así, también los cilindros elaborados con una combinación de ambas arenas presentaron, en la mayoría de sus puntos de análisis, una resistencia mayor a los elaborados con arena natural. Pudiéndose observar en el gráfico 4.3.2 que la ganancia de resistencia sobre la arena natural fue de un 4%.

En el caso del gráfico para las mezclas tipo B ($f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$) también se puede observar que las resistencias de los cilindros elaborados con arena triturada es, en su mayoría, superior a las resistencias obtenidas para los cilindros elaborados con arena natural; sin embargo, hay un cambio en la relación de la resistencia obtenida para los cilindros elaborados con arena natural y los elaborados con una combinación de arenas, pues en este caso, los cilindros elaborados con arena natural presentaron una resistencia superior a los que fueron hechos con una combinación de ambas arenas. Del gráfico 4.3.4 se puede también observar la misma relación, que muestra cómo el concreto elaborado con arena triturada obtiene una ganancia de resistencia de un 3.7% sobre el elaborado con arena natural; y que la pérdida de resistencia en el caso de la combinación de arenas resultó de un 6.8%, para este caso.

4.3.9 Variación de la Resistencia a la compresión en los cilindros tipo A ($f'_c=210$ kg/cm²)



4.3.10 Variación de la Resistencia a la compresión en los cilindros tipo B ($f'_c=280$ kg/cm²)



4.3.3 RELACIÓN ENTRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y LA RELACIÓN AGUA-CEMENTO PARA CADA BACHADA.

En los siguientes gráficos (4.3.11 y 4.3.12) se presentan los resultados de la relación obtenida al comparar la ganancia de resistencia a la compresión versus la relación agua-cemento para el promedio de cada bachada, por cada una de las mezclas elaboradas.

En esos gráficos se puede observar que mientras mayor era la relación agua-cemento menor era la ganancia de resistencia de los especímenes.

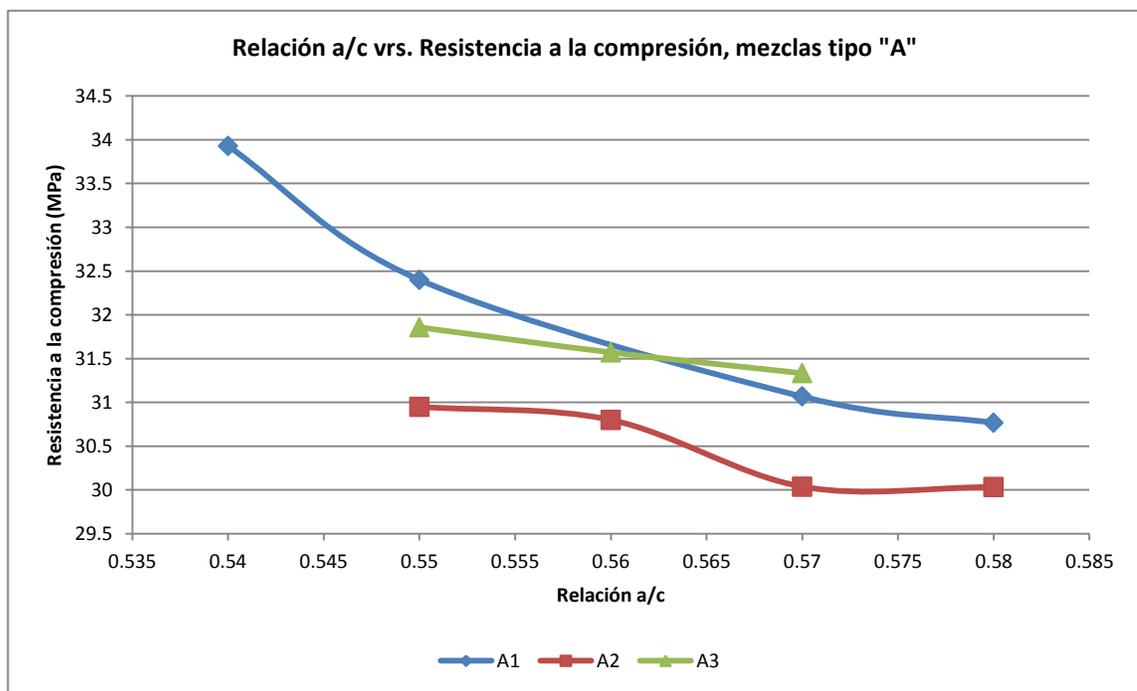
También se puede observar que, tomando como parámetro de comparación las mezclas elaboradas con arena natural, para una misma relación agua-cemento las arenas trituradas presentan mayores resistencias a la compresión para todos los tipos de mezclas. Además, se puede observar que para obtener una resistencia a la compresión en un concreto elaborado con arena triturada igual a la resistencia de otro concreto elaborado con arena natural, se necesita una mayor relación agua-cemento, incrementando aproximadamente en un 3.6% dicha relación; si lo que se busca es mantener el mismo revenimiento para ambos concretos.

En el caso de la combinación de arenas, se remarca el hecho de que para las mezclas tipo "A" se obtienen mayores resistencias a la compresión para las mismas relaciones agua-cemento comparadas con la arenan natural; y se observa la pérdida

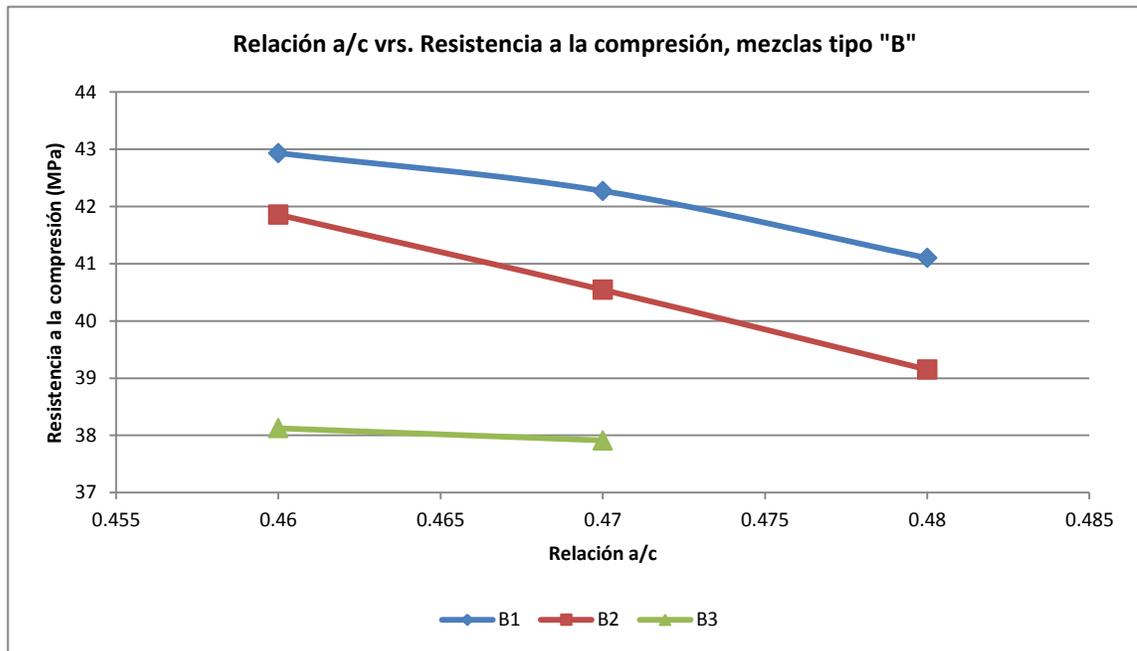
de resistencia para las mismas relaciones agua-cemento en comparación con la arena natural para las mezclas tipo "B".

4.3.11 Relación agua-cemento versus Resistencia a la compresión en las mezclas tipo

A ($f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$)



4.3.12 Relación agua-cemento versus Resistencia a la compresión en las mezclas tipo B ($f'_c=280 \text{ kg/cm}^2$)



CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

5.1.1 PARA LAS MEZCLAS TIPO A ($F'C = 210 \text{ KG/CM}^2$) EN ESTADO FRESCO

REVENIMIENTO

Para las mezclas elaboradas con arena triturada, los rangos de revenimientos obtenidos oscilaron entre los 100 y 125 cm (que corresponden a 4 y 5 pulgadas, respectivamente) con un valor promedio de 110 cm; con valores de relación agua-cemento de 0.54 a 0.58

Los rangos de revenimiento obtenidos para las mezclas con arena natural lavada industrialmente fueron los mismos (de 100 a 125 cm) obteniéndose un valor promedio de 105 cm. Para estas mezclas, la relación agua-cemento osciló entre 0.55 y 0.58

En el caso de las mezclas elaboradas con una combinación de arenas, se obtuvo un valor promedio de 115 cm, variando en un rango de 100 a 125 cm, con valores de relación agua-cemento que oscilaron entre 0.55 y 0.57

PESOS VOLUMÉTRICOS

El rango de valores de pesos volumétricos para las mezclas elaboradas con arena triturada osciló entre los valores de 2280 a 2330 kg/m³, con un valor promedio de 2310 kg/m³.

En las mezclas elaboradas con arena natural lavada industrialmente se obtuvieron valores que se encuentran entre 2250 y 2280 kg/m³, con un promedio de 2260 kg/m³.

Y para las mezclas con una combinación de arenas el rango de pesos volumétricos estuvo entre 2300 y 2330 kg/m³, con una media de 2310 kg/m³.

Mostrando las mezclas con arena triturada y arena combinada (arena natural 60% y arena triturada 40%) una ganancia en peso volumétrico del 2.7% en comparación con las mezclas elaboradas con arena natural.

TEMPERATURA

Para las mezclas elaboradas con arena triturada, los rangos de temperaturas obtenidos oscilaron entre los 27.5 °C y 32.0 °C con un valor promedio de 30.0 °C.

En las mezclas elaboradas con arena natural lavada industrialmente se obtuvieron valores de temperaturas que se encuentran entre 25.0 °C y 30.5 °C, con un promedio de 27.0 °C.

Y en el caso de las mezclas elaboradas con una combinación de arenas, se obtuvo un valor promedio de temperatura de 30.0 °C, variando en un rango de 27.5 °C a 31.5 °C.

CONTENIDO DE AIRE

El rango de valores de porcentaje de contenido de aire para las mezclas elaboradas con arena triturada osciló entre los valores de 1.1% a 1.7%, con un valor promedio de 1.4%.

En las mezclas elaboradas con arena natural lavada industrialmente se obtuvieron porcentajes de contenido de aire que se encuentran entre 1.8% y 2.3%, con un promedio de 2.0%.

Y para las mezclas con una combinación de arenas el rango de porcentajes de contenido de aire estuvo entre 1.1% y 1.5%, con una media de 1.3%.

Al analizar los resultados de las mezclas, existe una tendencia a considerar que las mezclas con arena triturada y combinada, son menos propensas a atrapar aire.

5.1.2 PARA LAS MEZCLAS TIPO A ($F'c = 210 \text{ KG/CM}^2$) EN ESTADO ENDURECIDO

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Las mezclas elaboradas con arena triturada presentaron una ganancia de resistencia a la compresión de 13% y 55% a los 7 y 28 días, sobre el 100% del f_c en estudio. Mientras que las que se hicieron con arena natural lavada industrialmente mostraron una ganancia del 95% del f_c a los 7 días y una ganancia del 45% a los 28 días sobre el 100% del f_c esperado. En tanto que en las mezclas que fueron hechas con una combinación de arenas se obtuvo una ganancia de resistencia sobre el 100% del f_c de un 11% y 50% a los 7 y 28 días, respectivamente.

Si se toma como punto de referencia la resistencia a la compresión adquirida a 28 días por las mezclas elaboradas con arena natural lavada industrialmente (30.4 MPa), se obtiene que las mezclas con arena triturada presentan una ganancia de resistencia promedio 2.1 MPa, que equivalen al 7%, sobre la ganancia de resistencia de las mezclas elaboradas con arena natural lavada industrialmente. Y para el caso de las mezclas con arena combinada, dicha ganancia fue de 1.2 MPa, que representan un 4% sobre el valor de referencia.

En conclusión, se puede decir que las mezclas de concreto elaboradas con arena triturada proporcionan mayores ganancias de resistencia a la compresión que las mezclas elaboradas con arena natural; aún teniendo en cuenta la procedencia y calidad de la arena natural lavada industrialmente (sección 3.5.1.1) que se utilizó en esta investigación.

5.1.3 PARA LAS MEZCLAS TIPO B ($F'c = 280 \text{ KG/CM}^2$) EN ESTADO FRESCO

REVENIMIENTO

Para las mezclas elaboradas con arena triturada, los rangos de revenimientos obtenidos oscilaron entre los 100 y 125 cm (que corresponden a 4 y 5 pulgadas, respectivamente) con un valor promedio de 110 cm. Para estas mezclas, la relación agua-cemento osciló entre 0.46 y 0.48

Los rangos obtenidos para las mezclas con arena natural lavada industrialmente fueron los mismos (de 100 a 125 cm) obteniéndose un valor promedio de 110 cm; con valores de relación agua-cemento que oscilaron entre 0.46 y 0.48

En el caso de las mezclas elaboradas con una combinación de arenas, se obtuvo un valor promedio de 120 cm, variando en un rango de 100 a 125 cm; con valores de relación agua-cemento de 0.46 y 0.47

PESOS VOLUMÉTRICOS

El rango de valores de pesos volumétricos para las mezclas elaboradas con arena triturada osciló entre los valores de 2300 a 2330 kg/m^3 , con un valor promedio de 2310 kg/m^3 .

En las mezclas elaboradas con arena natural lavada industrialmente se obtuvieron valores que se encuentran entre 2300 y 2310 kg/m³, con un promedio de 2300 kg/m³.

Y para las mezclas con una combinación de arenas el rango de pesos volumétricos estuvo entre 2300 y 2320 kg/m³, con una media de 2310 kg/m³.

Mostrando las mezclas con arena triturada una ganancia en peso volumétrico del 0.44% en comparación con las mezclas elaboradas con arena natural, al igual que las mezclas en las que se utilizó una combinación de arenas.

La poca diferencia que se obtuvo en las variaciones del peso volumétrico se debe a la calidad que tiene la arena natural lavada industrialmente, con la que se elaboraron las mezclas.

TEMPERATURA

Para las mezclas elaboradas con arena triturada, los rangos de temperaturas obtenidos oscilaron entre los 27.0 °C y 29.0 °C con un valor promedio de 28.0 °C.

En las mezclas elaboradas con arena natural lavada industrialmente se obtuvieron valores de temperaturas que se encuentran entre 25.0 °C y 32.0 °C, con un promedio de 29.5 °C.

Y en el caso de las mezclas elaboradas con una combinación de arenas, se obtuvo un valor promedio de temperatura de 30.5 °C, variando en un rango de 28.0 °C a 32.0 °C.

CONTENIDO DE AIRE

El rango de valores de porcentaje de contenido de aire para las mezclas elaboradas con arena triturada osciló entre los valores de 0.9% a 1.1%, con un valor promedio de 1.0%.

En las mezclas elaboradas con arena natural lavada industrialmente se obtuvieron porcentajes de contenido de aire que se encuentran entre 1.0% y 1.2%, con un promedio de 1.1%.

Y para las mezclas con una combinación de arenas el rango de porcentajes de contenido de aire estuvo entre 1.1% y 1.6%, con una media de 1.4%.

Al analizar los resultados de las mezclas para los diseños tipo "B", se muestra una tendencia a considerar que las mezclas con arena triturada, son menos propensas a atrapar aire.

5.1.4 PARA LAS MEZCLAS TIPO B ($F'C = 280 \text{ KG/CM}^2$) EN ESTADO ENDURECIDO

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Las mezclas elaboradas con arena triturada presentaron una ganancia de resistencia a la compresión de 12% y 51% a los 7 y 28 días, sobre el 100% del f_c en estudio. Mientras que las que se hicieron con arena natural lavada industrialmente mostraron una ganancia del 7% a los 7 días y del 45% a los 28 días sobre el 100% del f_c esperado.

Para el caso de las mezclas que fueron hechas con una combinación de arenas se obtuvo una ganancia de resistencia sobre el 100% del f_c de un 3% y 35% a los 7 y 28 días, respectivamente. Resultados que no se acomodan a lo esperado y que nos llevan a concluir que es necesaria una investigación más profunda sobre la influencia de la utilización de arenas combinadas en el concreto hidráulico.

Si se toma como punto de referencia la resistencia a la compresión adquirida a 28 días por las mezclas con arena natural lavada industrialmente (40.7 MPa), se obtiene que las mezclas con arena triturada presentan una ganancia de resistencia promedio 1.5 MPa, que equivalen al 3.7%, sobre la ganancia de resistencia de las mezclas elaboradas con arena natural lavada industrialmente.

Y para el caso de las mezclas con arena combinada, se obtuvo una pérdida de resistencia a la compresión (teniendo como parámetro la resistencia obtenida con la arena natural) de 2.8 MPa, equivalente al 6.9%.

En conclusión, se puede decir nuevamente que las mezclas de concreto elaboradas con arena triturada proporcionan mayores ganancias de resistencia a la compresión que las mezclas elaboradas con arena natural; teniendo en cuenta la procedencia y calidad de la arena natural lavada industrialmente (sección 3.5.1.1) que se utilizó en esta investigación.

5.2 RECOMENDACIONES

Por lo mencionado en la sección anterior, recomendamos el uso de la arena triturada en la elaboración de mezclas de concreto de peso normal; puesto que su influencia en las propiedades en estado fresco y endurecido en las mezclas proporcionan resultados muy superiores a los criterios establecidos; sin embargo, es necesario cuidar el aspecto de trabajabilidad en estas mezclas.

Debido a la calidad de la arena natural lavada industrialmente que se utilizó en este trabajo de investigación, no pudo observarse una ganancia de resistencia tan significativa al comparar los concretos elaborados con ambas arenas. Por lo que, se recomienda realizar otra investigación en la que se comparen los resultados que se obtengan de fabricar concretos con arena triturada y arenas que no reciben los mismos controles de calidad que las arenas naturales lavadas industrialmente.

Tomando en cuenta la práctica más común de combinar arenas naturales y naturales lavadas industrialmente con arena triturada para mejorar las características de las primeras; se recomienda elaborar un trabajo de investigación en el que se compararen los resultados que se obtengan de combinar en distintas proporciones dichas arenas, para llegar a determinar cuál es la proporción de combinación óptima, tanto técnica como económicamente.

En cuanto al procedimiento de la investigación se muestra indispensable que, para futuras investigaciones, se extremen los cuidados en el almacenamiento de los agregados y en la dosificación de los mismos a la hora de elaborar las mezclas. Además, se recomienda registrar datos como la temperatura ambiente, hora de realización de la mezcla, temperatura del agua, y cualquier otra información que se considere de utilidad para el posterior análisis de resultados.

También se recomienda la elaboración de otro trabajo de investigación en el que se tome en consideración el factor económico de la utilización de arena triturada en la fabricación de mezclas de concreto; de tal forma que se puedan evaluar las ventajas y desventajas, también desde un punto de vista económico y no solamente técnico; para que los consumidores de este producto puedan tomar una mejor decisión a la hora de la elección de los agregados a utilizar en sus concretos.

6. BIBLIOGRAFÍA

6.1 LIBROS DE TEXTO

- ✓ Steven H. Kosmatka y otros; “Diseño y control de mezclas de concreto”; Portland Cement Association (PCA); Primera edición; México. (2004).
- ✓ Richard D. Barksdale; “The aggregate handbook”; National Stone, sand and gravel association; Cuarta edición; Estados Unidos. (2001).
- ✓ Ing. Ricardo Matallana Rodríguez; “Fundamentos de concreto aplicados a la construcción”; Instituto colombiano de productores de cemento; Colombia. (2006).
- ✓ Joaquín Porrero; “Leyes básicas para hormigón hecho con arena manufacturada”; Universidad Central de Venezuela.

6.2 TRABAJOS DE GRADUACIÓN

- ✓ Domínguez Portillo, Steve Ludovico y otros; “Comportamiento de arenas de trituración como sustituto de arena natural en la elaboración de concreto hidráulico”; Trabajo de graduación presentado para optar al grado de ingeniero civil en la Universidad de El Salvador (UES), San Salvador, El Salvador. (2006).
- ✓ Julio César Argueta Alvarado y otros; “Estudio de la calidad de los agregados para concreto en las canteras más importantes de El Salvador”; Universidad de El Salvador (UES), San Salvador, El Salvador. (1998).

- ✓ Henry Alexander Barrios Bolainez y otros; “Estudio de la calidad de los agregados para concreto en las canteras más importantes de El Salvador (Parte II)”; Universidad de El Salvador (UES), San Salvador, El Salvador. (1999).

6.3 NORMAS

- ✓ ASTM C29/C29M-97 (2003): Standard Test Method for Bulk Density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate.
- ✓ ASTM C33-03: Standard Specification for Concrete Aggregates.
- ✓ ASTM C39/C39M-01: Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.
- ✓ ASTM C40-99: Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete.
- ✓ ASTM C94/C94M-03: Standard Specification for Ready-Mixed Concrete.
- ✓ ASTM C127-01: Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate.
- ✓ ASTM C128-01: Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate.
- ✓ ASTM C136-01: Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates.
- ✓ ASTM C138/C138M-01a: Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete.

- ✓ ASTM C143/C143M-00: Standard Test Method for Slump of Hydraulic Cement Concrete.
- ✓ ASTM C192/C192M-02: Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory.
- ✓ ASTM C231-97e1: Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method.
- ✓ ASTM C566-97: Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying.
- ✓ ASTM C702-98(2003): Standard Practice for Reducing Samples of Aggregate to Testing Size.
- ✓ ASTM C1064/C1064M-01: Standard Test Method for Temperature of Freshly Mixed Portland Cement Concrete.
- ✓ ASTM C1157-02: Standard Performance Specification for Hydraulic Cement
- ✓ ASTM D75/D75M-09: Standard Practice for Sampling Aggregates.

6.4 COMITÉS

- ✓ ACI 318S-08: “Requisitos de reglamento para concreto estructural”.
- ✓ ACI 211.1-91: “Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight and Mass Concrete”. (2002)

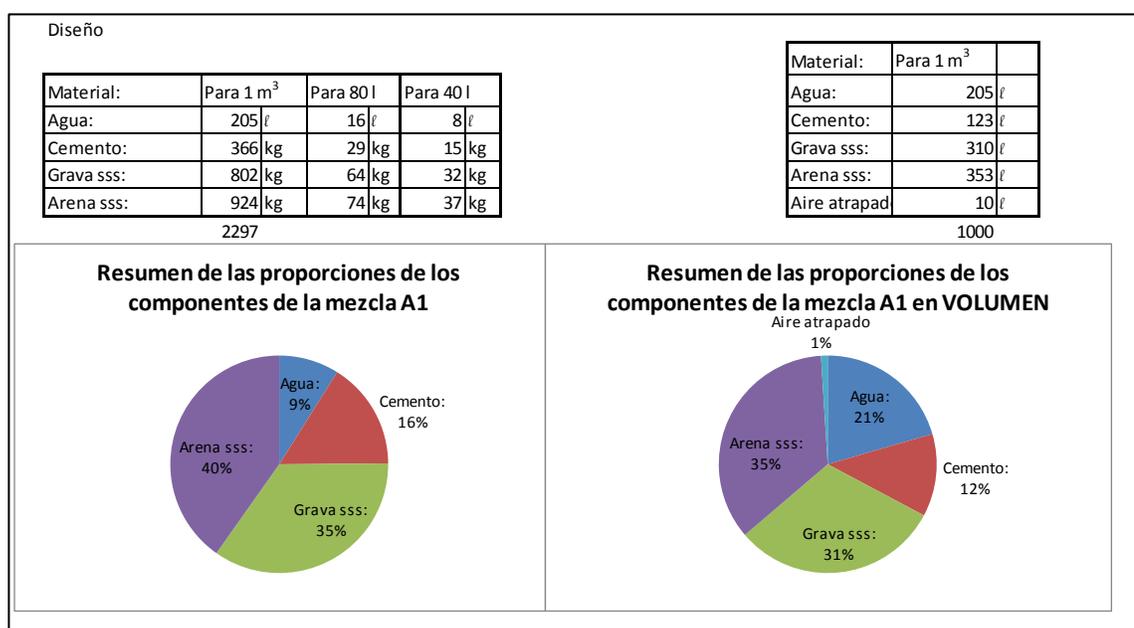
6.5 OTRAS FUENTES

- ✓ Ingra. Lesly E. Mendoza; Folletos de Clases de “Tecnología del Concreto”; Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador. (2012).
- ✓ Biotec S.A. de C.V.; “Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Ampliación de pedrera La Cantera S.A. de C.V.”

ANEXOS

ANEXO 1: DETALLE DE PROPORCIONAMIENTOS POR CADA BACHADA, CON CORRECCIONES POR HUMEDAD.

MEZCLA A1

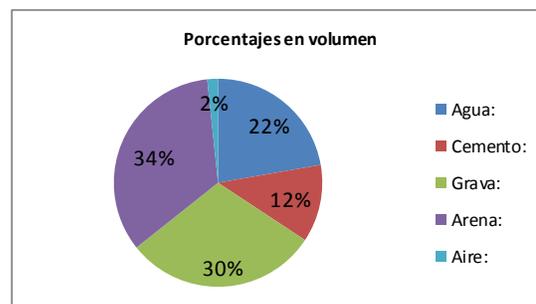
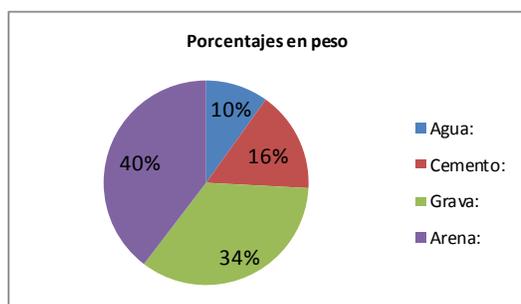


BACHADA 1 (21/02/12)

Corrección por humedad

Chgrava 0.45Charena 0.92

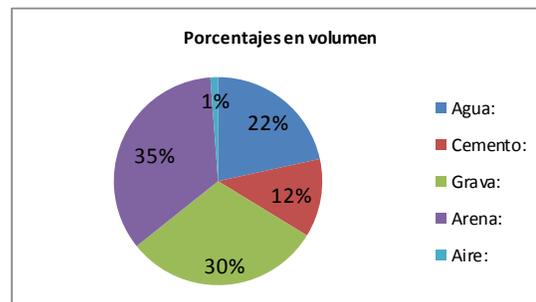
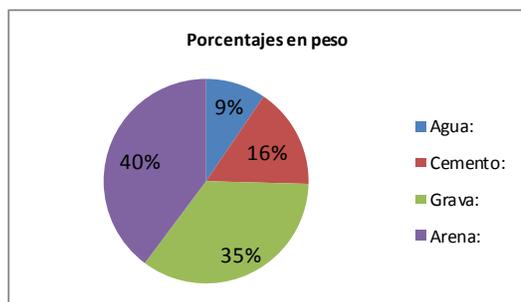
a/c	Material:	Para 1 m3	Corregido	Para 40 lt	VOLUMEN
0.55	Agua:	205 lt	227 lt	9.08 lt	9 l
0.56	Cemento:	366 kg	366 kg	14.64 kg	5 l
	Grava:	802 kg	793 kg	31.74 kg	12 l
	Arena:	924 kg	910 kg	36.40 kg	14 l
	Aire:	0 kg	0 kg	0.00 kg	0.7 l

**BACHADA 2 (12/03/12)**

Corrección por humedad

Chgrava 1.1Charena 1.35

a/c	Material:	Para 1 m3	Corregido	Para 50 lt	VOLUMEN
0.57	Agua:	205 lt	218 lt	10.90 lt	11 l
0.56	Cemento:	366 kg	366 kg	18.30 kg	6 l
	Grava:	802 kg	799 kg	39.93 kg	15 l
	Arena:	924 kg	914 kg	45.70 kg	17 l
	Aire:	0 kg	0 kg	0.00 kg	0.6 l

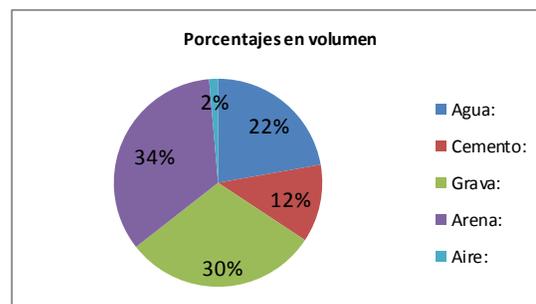
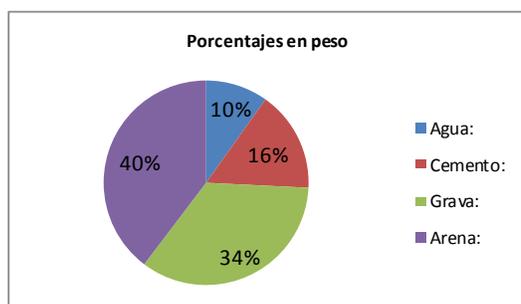


BACHADA 3 (13/03/12)

Corrección por humedad

Chgrava 0.45Charena 1.05

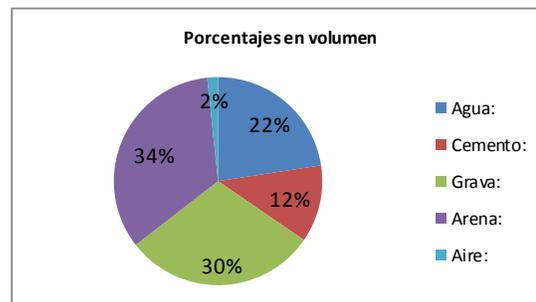
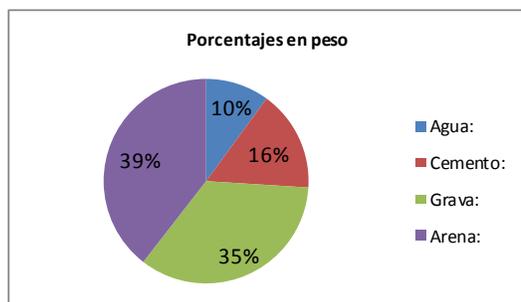
a/c	Material:	Para 1 m3	Corregido	Para 50 lt	VOLUMEN
0.54	Agua:	205 lt	226 lt	11.29 lt	11 l
0.56	Cemento:	366 kg	366 kg	18.30 kg	6 l
	Grava:	802 kg	793 kg	39.67 kg	15 l
	Arena:	924 kg	911 kg	45.56 kg	17 l
	Aire:	0 kg	0 kg	0.00 kg	0.7 l

**BACHADA 4 (15/03/12)**

Corrección por humedad

Chgrava 0.35Charena 0.6

a/c	Material:	Para 1 m3	Corregido	Para 50 lt	VOLUMEN
0.58	Agua:	205 lt	231 lt	11.54 lt	12 l
0.56	Cemento:	366 kg	366 kg	18.30 kg	6 l
	Grava:	802 kg	793 kg	39.63 kg	15 l
	Arena:	924 kg	907 kg	45.35 kg	17 l
	Aire:	0 kg	0 kg	0.00 kg	0.9 l

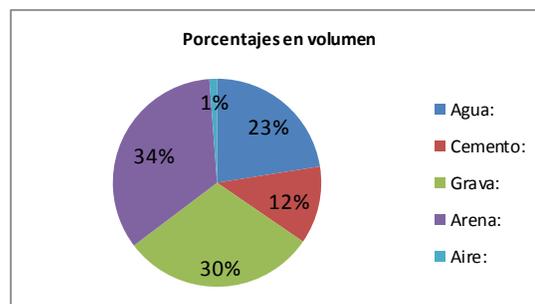
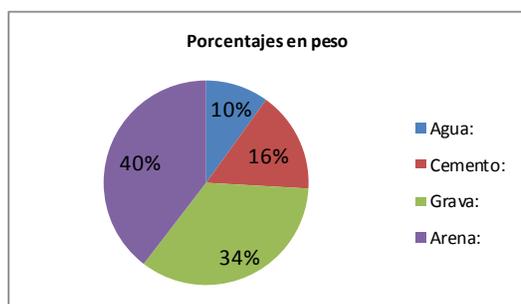


BACHADA 5 (16/03/12)

Corrección por humedad

Chgrava 0.4Charena 0.8

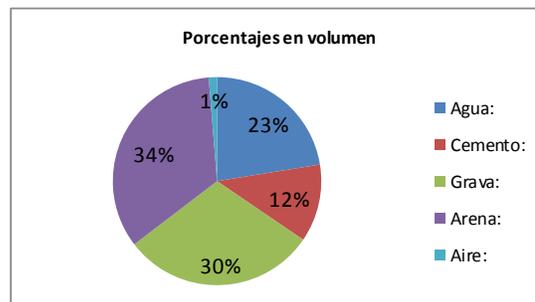
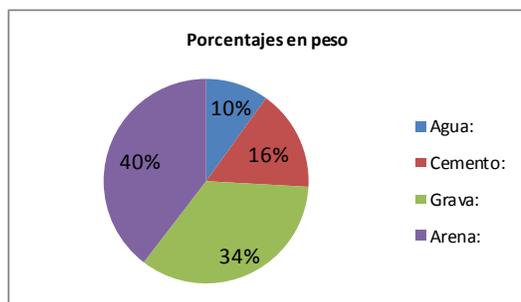
a/c	Material:	Para 1 m3	Corregido	Para 50 lt	VOLUMEN
0.54	Agua:	205 lt	229 lt	11.43 lt	11 l
0.56	Cemento:	366 kg	366 kg	18.30 kg	6 l
	Grava:	802 kg	793 kg	39.65 kg	15 l
	Arena:	924 kg	909 kg	45.45 kg	17 l
	Aire:	0 kg	0 kg	0.00 kg	0.6 l

**BACHADA 6 (19/03/12)**

Corrección por humedad

Chgrava 0.37Charena 0.85

a/c	Material:	Para 1 m3	Corregido	Para 50 lt	VOLUMEN
0.54	Agua:	205 lt	228 lt	11.42 lt	11 l
0.56	Cemento:	366 kg	366 kg	18.30 kg	6 l
	Grava:	802 kg	793 kg	39.64 kg	15 l
	Arena:	924 kg	909 kg	45.47 kg	17 l
	Aire:	0 kg	0 kg	0.00 kg	0.7 l

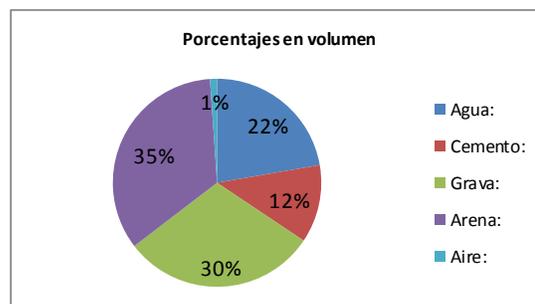
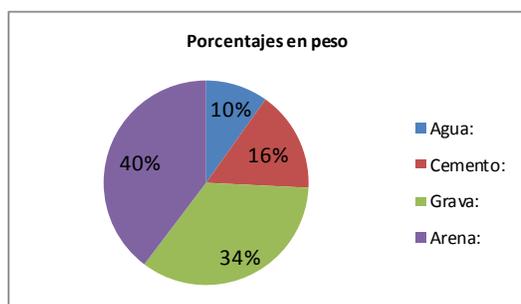


BACHADA 7 (21/03/12)

Corrección por humedad

Chgrava 0.4Charena 1.1

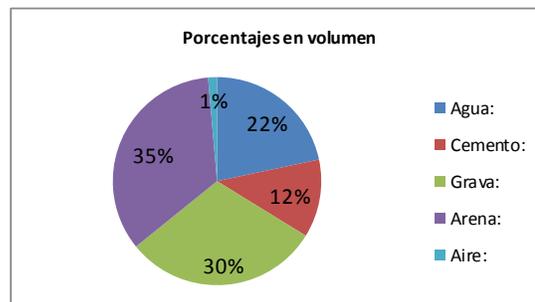
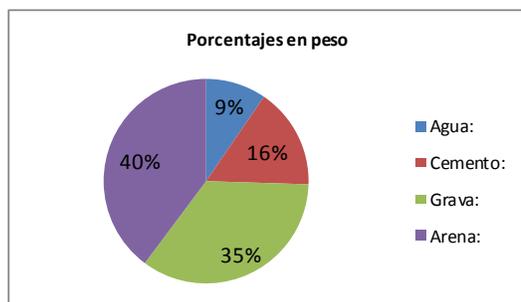
a/c	Material:	Para 1 m3	Corregido	Para 50 lt	VOLUMEN
0.54	Agua:	205 lt	226 lt	11.29 lt	11 l
0.56	Cemento:	366 kg	366 kg	18.30 kg	6 l
	Grava:	802 kg	793 kg	39.65 kg	15 l
	Arena:	924 kg	912 kg	45.59 kg	17 l
	Aire:	0 kg	0 kg	0.00 kg	0.6 l

**BACHADA 8 (22/03/12)**

Corrección por humedad

Chgrava 0.9Charena 1.36

a/c	Material:	Para 1 m3	Corregido	Para 40 lt	VOLUMEN
0.58	Agua:	205 lt	219 lt	8.78 lt	9 l
0.56	Cemento:	366 kg	366 kg	14.64 kg	5 l
	Grava:	802 kg	797 kg	31.88 kg	12 l
	Arena:	924 kg	914 kg	36.56 kg	14 l
	Aire:	0 kg	0 kg	0.00 kg	0.6 l

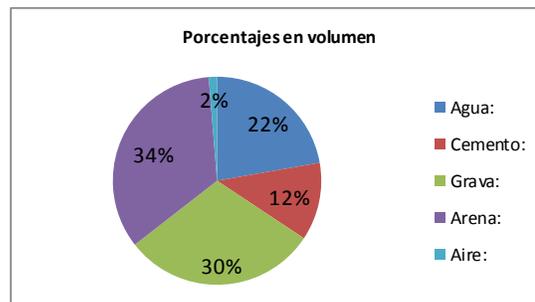
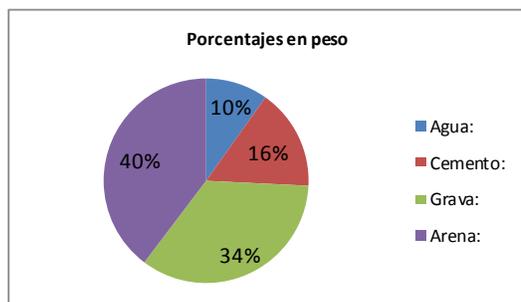


BACHADA 9 (09/04/12)

Corrección por humedad

Chgrava 0.4Charena 1.1

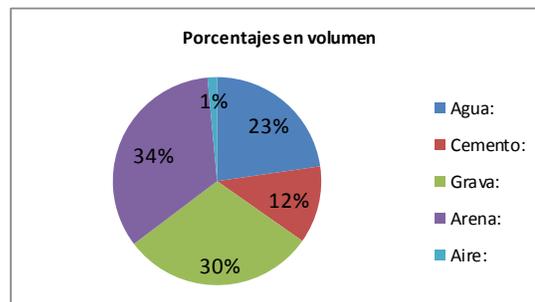
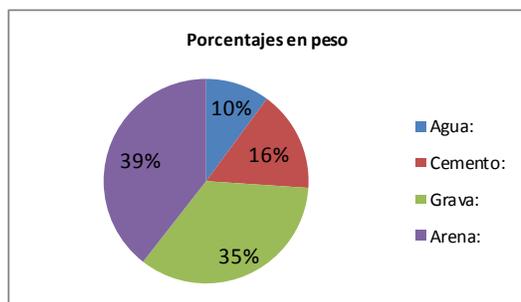
a/c	Material:	Para 1 m3	Corregido	Para 50 lt	VOLUMEN
0.54	Agua:	205 lt	226 lt	11.29 lt	11 l
0.56	Cemento:	366 kg	366 kg	18.30 kg	6 l
	Grava:	802 kg	793 kg	39.65 kg	15 l
	Arena:	924 kg	912 kg	45.59 kg	17 l
	Aire:	0 kg	0 kg	0.00 kg	0.7 l

**BACHADA 10 (11/04/12)**

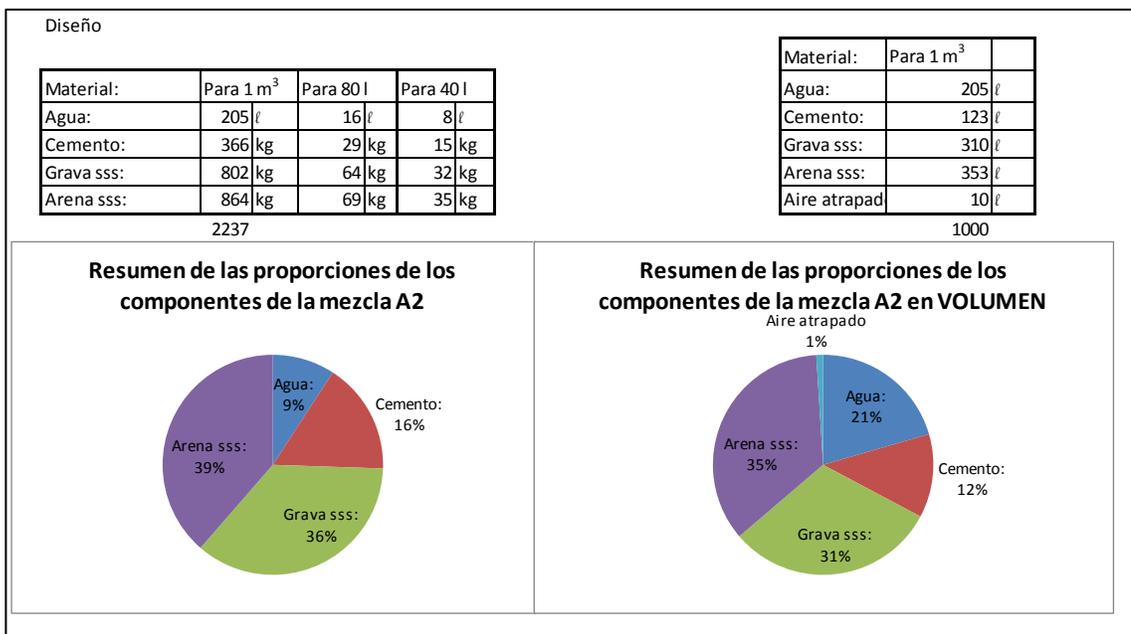
Corrección por humedad

Chgrava 0.3Charena 0.5

a/c	Material:	Para 1 m3	Corregido	Para 50 lt	VOLUMEN
0.57	Agua:	205 lt	232 lt	18.57 lt	19 l
0.56	Cemento:	366 kg	366 kg	29.29 kg	10 l
	Grava:	802 kg	792 kg	63.38 kg	24 l
	Arena:	924 kg	906 kg	72.49 kg	28 l
	Aire:	0 kg	0 kg	0.00 kg	1.2 l



MEZCLA A2



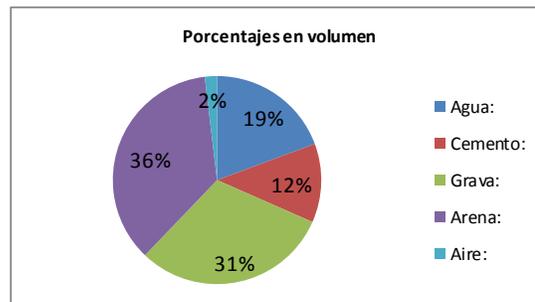
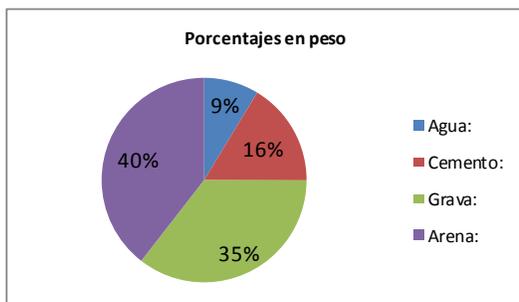
BACHADA 1 (16/04/12)

Corrección por humedad

Chgrava 0.42

Charena 6.97

a/c	Material:	Para 1 m ³	Corregido	Para 80 lt	VOLUMEN
0.58	Agua:	205 lt	194 lt	15.52 lt	16 l
0.56	Cemento:	366 kg	366 kg	29.29 kg	10 l
	Grava:	802 kg	793 kg	63.46 kg	25 l
	Arena:	864 kg	883 kg	70.67 kg	29 l
	Aire:	0 kg	0 kg	0.00 kg	1.5 l

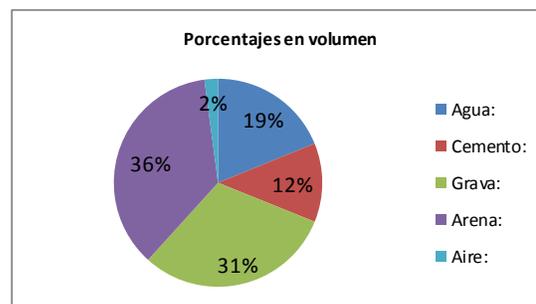
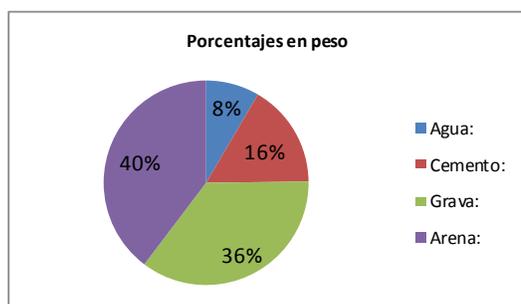


BACHADA 2 (17/04/12)

Corrección por humedad

Chgrava 0.51Charena 7.5

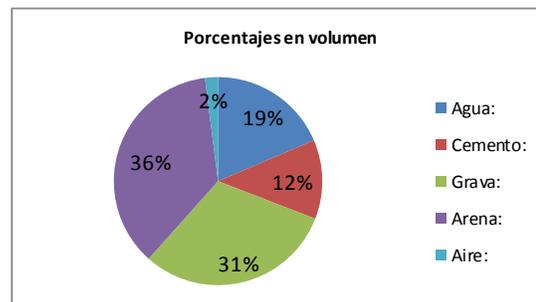
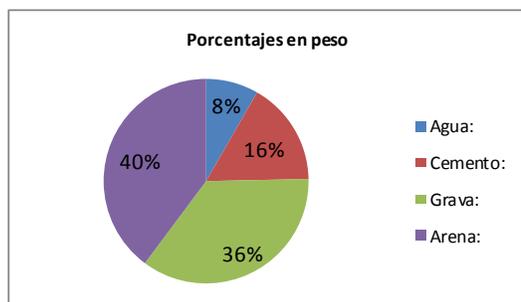
a/c	Material:	Para 1 m3	Corregido	Para 80 lt	VOLUMEN
0.56	Agua:	205 lt	189 lt	15.10 lt	15 l
0.56	Cemento:	366 kg	366 kg	29.29 kg	10 l
	Grava:	802 kg	794 kg	63.51 kg	25 l
	Arena:	864 kg	888 kg	71.04 kg	29 l
	Aire:	0 kg	0 kg	0.00 kg	1.7 l

**BACHADA 3 (17/05/12)**

Corrección por humedad

Chgrava 0.59Charena 7.8

a/c	Material:	Para 1 m3	Corregido	Para 80 lt	VOLUMEN
0.57	Agua:	205 lt	186 lt	14.84 lt	15 l
0.56	Cemento:	366 kg	366 kg	29.29 kg	10 l
	Grava:	802 kg	795 kg	63.56 kg	25 l
	Arena:	864 kg	891 kg	71.24 kg	29 l
	Aire:	0 kg	0 kg	0.00 kg	1.6 l

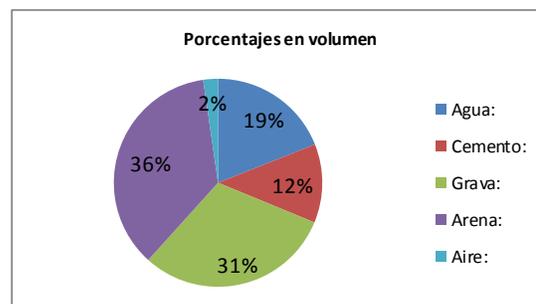
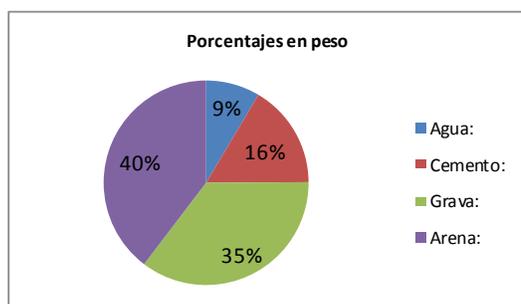


BACHADA 4 (18/05/12)

Corrección por humedad

Chgrava 0.37Charena 7.38

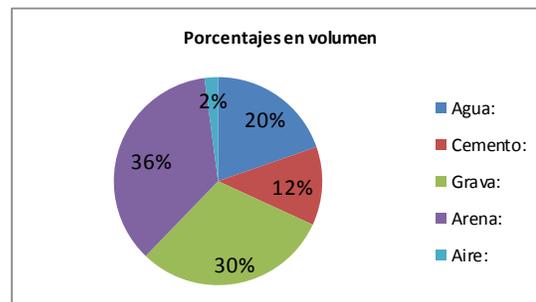
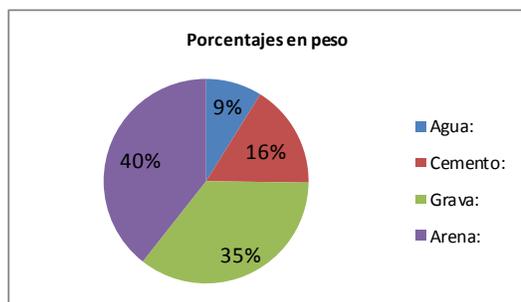
a/c	Material:	Para 1 m3	Corregido	Para 70 lt	VOLUMEN
0.55	Agua:	205 lt	191 lt	13.36 lt	13 l
0.56	Cemento:	366 kg	366 kg	25.63 kg	9 l
	Grava:	802 kg	793 kg	55.50 kg	21 l
	Arena:	864 kg	887 kg	62.08 kg	25 l
	Aire:	0 kg	0 kg	0.00 kg	1.6 l

**BACHADA 5 (21/05/12)**

Corrección por humedad

Chgrava 0.2Charena 6.7

a/c	Material:	Para 1 m3	Corregido	Para 85 lt	VOLUMEN
0.57	Agua:	205 lt	198 lt	16.84 lt	17 l
0.56	Cemento:	366 kg	366 kg	31.12 kg	10 l
	Grava:	802 kg	791 kg	67.27 kg	26 l
	Arena:	864 kg	881 kg	74.89 kg	31 l
	Aire:	0 kg	0 kg	0.00 kg	1.8 l

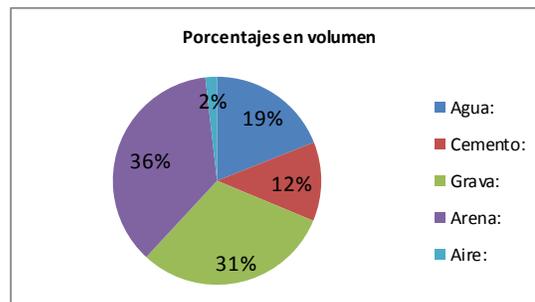
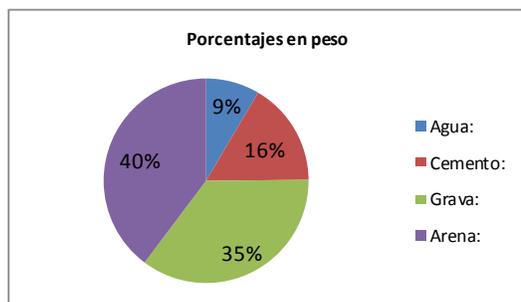


BACHADA 6 (22/05/12)

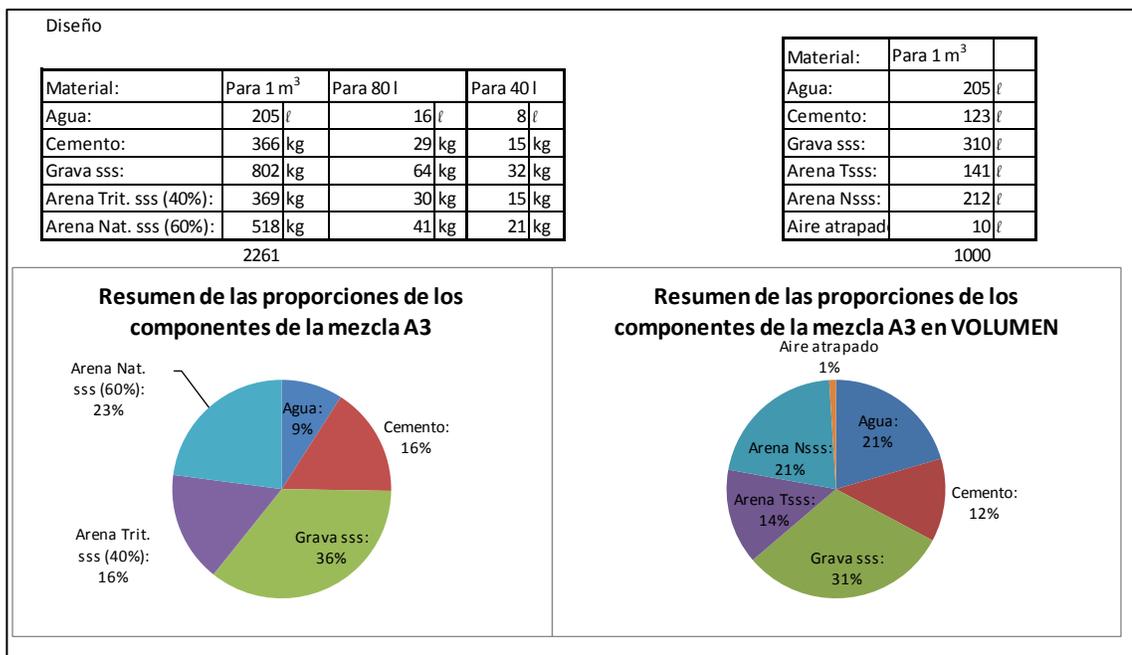
Corrección por humedad

Chgrava 0.28Charena 7.61

a/c	Material:	Para 1 m3	Corregido	Para 80 lt	VOLUMEN
0.55	Agua:	205 lt	190 lt	15.17 lt	15 l
0.56	Cemento:	366 kg	366 kg	29.29 kg	10 l
	Grava:	802 kg	792 kg	63.37 kg	24 l
	Arena:	864 kg	889 kg	71.11 kg	29 l
	Aire:	0 kg	0 kg	0.00 kg	1.4 l



MEZCLA A3



BACHADA 1 (22/06/12)

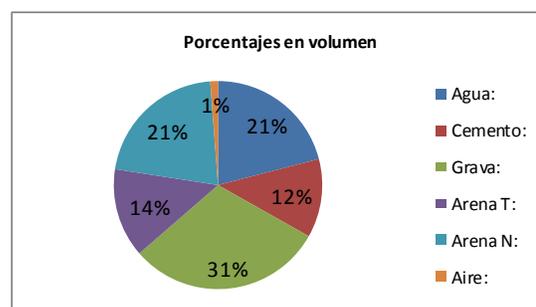
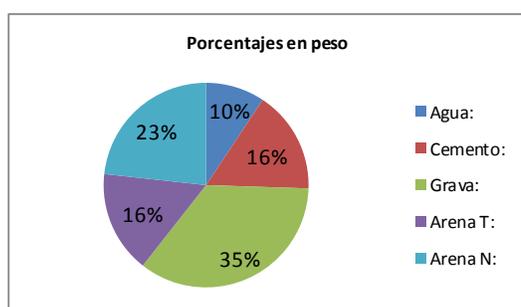
Corrección por humedad

Chgrava 0.38

ChAT 1.15

ChAN 6.2

a/c	Material:	Para 1 m ³	Corregido	Para 80 lt	VOLUMEN
0.56	Agua:	205 lt	211 lt	16.86 lt	17 l
0.56	Cemento:	366 kg	366 kg	29.29 kg	10 l
	Grava:	802 kg	793 kg	63.43 kg	24 l
	Arena T:	369 kg	365 kg	29.19 kg	11 l
	Arena N:	518 kg	526 kg	42.09 kg	17 l
	Aire:	0 kg	0 kg	0.00 kg	1.0 l

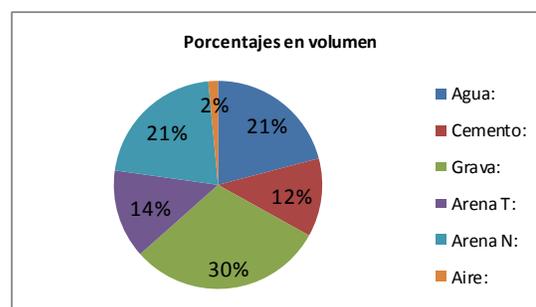
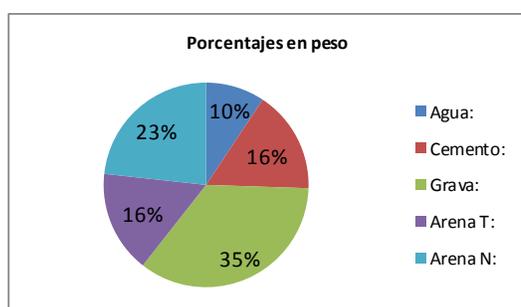


BACHADA 2 (22/06/12)

Corrección por humedad

Chgrava 0.38ChAT 1.15ChAN 6.2

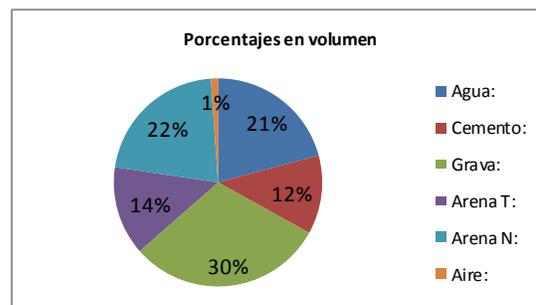
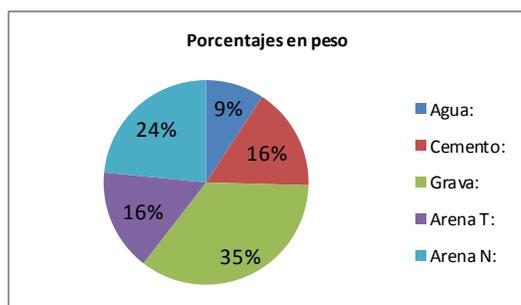
a/c	Material:	Para 1 m3	Corregido	Para 80 lt	VOLUMEN
0.56	Agua:	205 lt	211 lt	16.86 lt	17 l
0.56	Cemento:	366 kg	366 kg	29.29 kg	10 l
	Grava:	802 kg	793 kg	63.43 kg	24 l
	Arena T:	369 kg	365 kg	29.19 kg	11 l
	Arena N:	518 kg	526 kg	42.09 kg	17 l
	Aire:	0 kg	0 kg	0.00 kg	1.2 l

**BACHADA 3 (26/06/12)**

Corrección por humedad

Chgrava 0.32ChAT 0.76ChAN 7.0

a/c	Material:	Para 1 m3	Corregido	Para 80 lt	VOLUMEN
0.57	Agua:	205 lt	209 lt	16.71 lt	17 l
0.56	Cemento:	366 kg	366 kg	29.29 kg	10 l
	Grava:	802 kg	792 kg	63.39 kg	24 l
	Arena T:	369 kg	363 kg	29.07 kg	11 l
	Arena N:	518 kg	530 kg	42.40 kg	17 l
	Aire:	0 kg	0 kg	0.00 kg	0.9 l

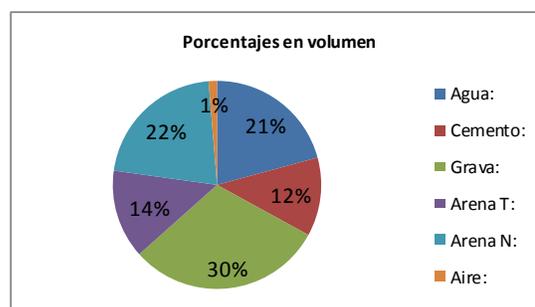
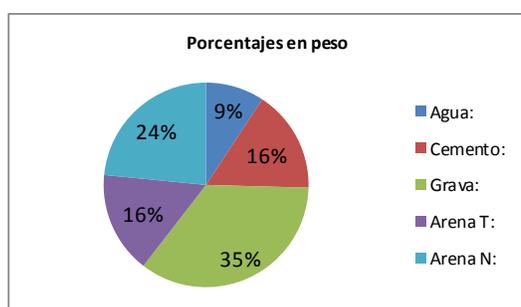


BACHADA 4 (26/06/12)

Corrección por humedad

Chgrava 0.32ChAT 0.76ChAN 7.0

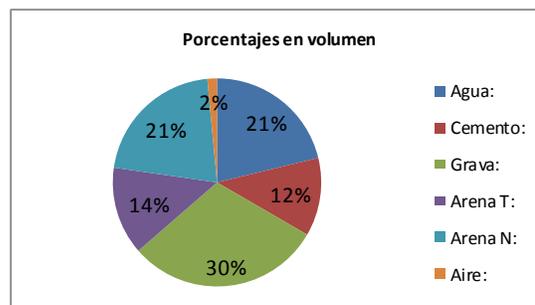
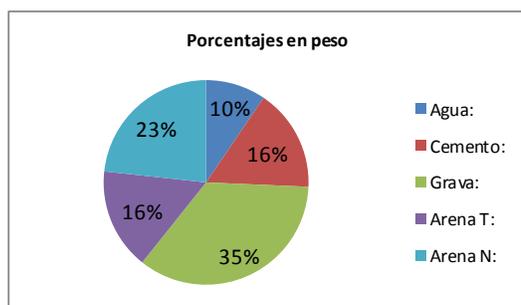
a/c	Material:	Para 1 m3	Corregido	Para 80 lt	VOLUMEN
0.57	Agua:	205 lt	209 lt	16.71 lt	17 l
0.56	Cemento:	366 kg	366 kg	29.29 kg	10 l
	Grava:	802 kg	792 kg	63.39 kg	24 l
	Arena T:	369 kg	363 kg	29.07 kg	11 l
	Arena N:	518 kg	530 kg	42.40 kg	17 l
	Aire:	0 kg	0 kg	0.00 kg	1.0 l

**BACHADA 5 (02/07/12)**

Corrección por humedad

Chgrava 0.25ChAT 0.41ChAN 6.2

a/c	Material:	Para 1 m3	Corregido	Para 80 lt	VOLUMEN
0.55	Agua:	205 lt	214 lt	17.16 lt	17 l
0.56	Cemento:	366 kg	366 kg	29.29 kg	10 l
	Grava:	802 kg	792 kg	63.35 kg	24 l
	Arena T:	369 kg	362 kg	28.97 kg	11 l
	Arena N:	518 kg	526 kg	42.10 kg	17 l
	Aire:	0 kg	0 kg	0.00 kg	1.2 l



BACHADA 6 (05/07/12)

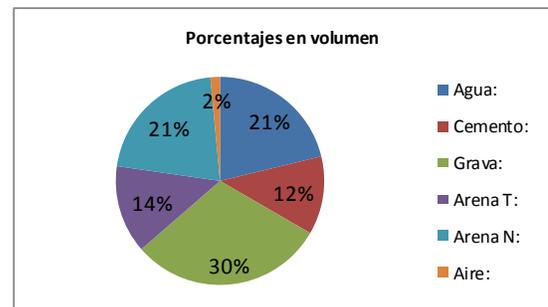
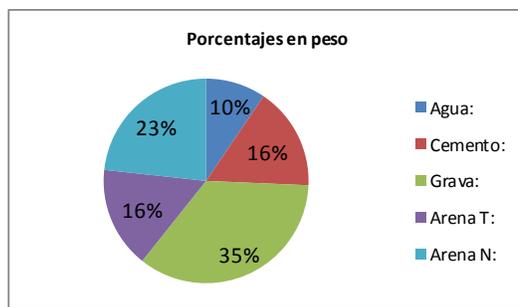
Corrección por humedad

Chgrava 0.51

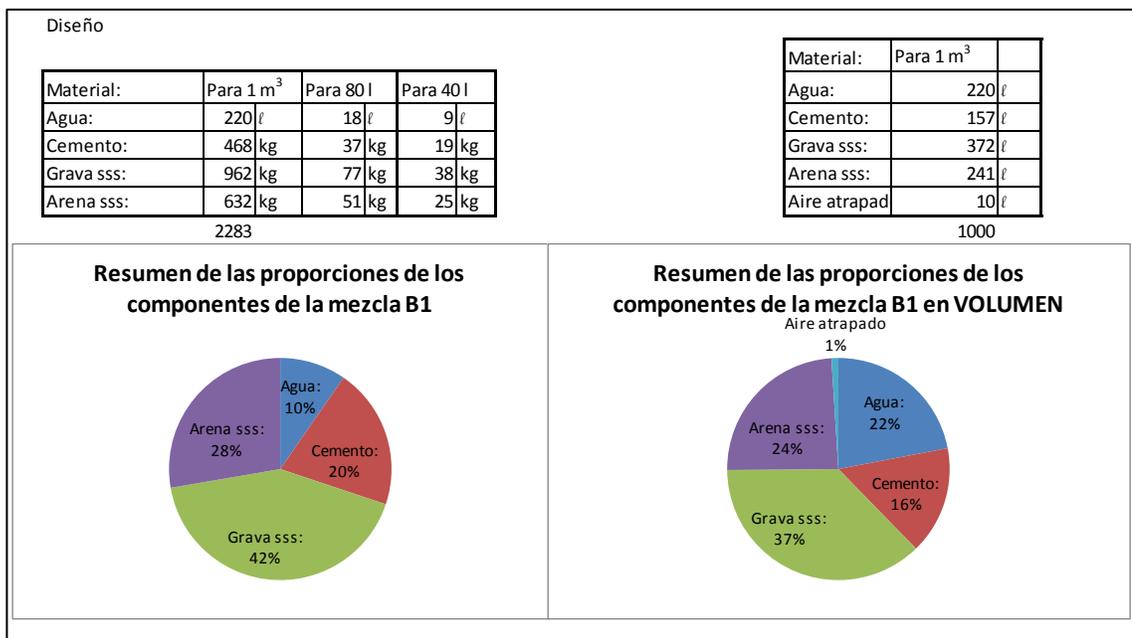
ChAT 0.46

ChAN 7.6

a/c	Material:	Para 1 m3	Corregido	Para 80 lt	VOLUMEN
0.55	Agua:	205 lt	205 lt	16.41 lt	16 l
0.56	Cemento:	366 kg	366 kg	29.29 kg	10 l
	Grava:	802 kg	794 kg	63.51 kg	25 l
	Arena T:	369 kg	362 kg	28.99 kg	11 l
	Arena N:	518 kg	533 kg	42.66 kg	17 l
	Aire:	0 kg	0 kg	0.00 kg	0.9 l



MEZCLA B1

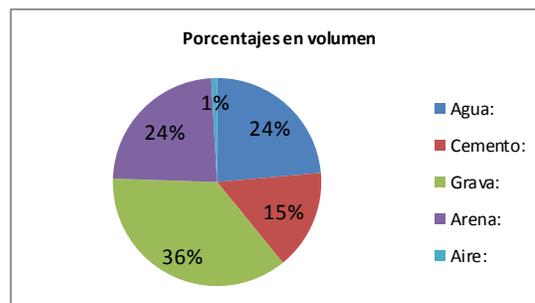
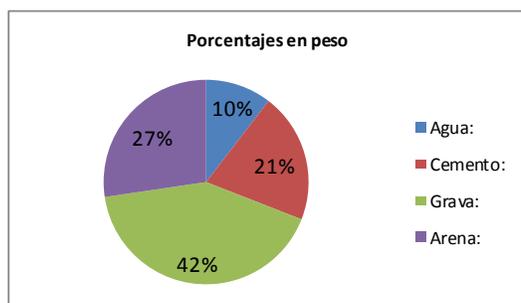


BACHADA 1 (14/06/12)

Corrección por humedad

Chgrava 0.48Charena 1.06

a/c	Material:	Para 1 m ³	Corregido	Para 80 lt	VOLUMEN
0.47	Agua:	220 lt	238 lt	19.06 lt	19 l
0.47	Cemento:	468 kg	468 kg	37.45 kg	13 l
	Grava:	962 kg	952 kg	76.20 kg	29 l
	Arena:	632 kg	624 kg	49.92 kg	19 l
	Aire:	0 kg	0 kg	0.00 kg	0.7 l

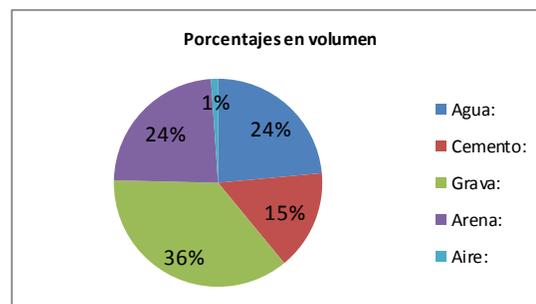
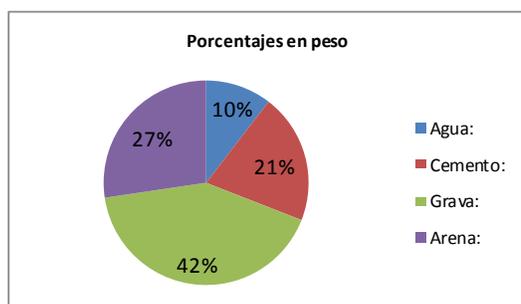


BACHADA 2 (14/06/12)

Corrección por humedad

Chgrava 0.48Charena 1.06

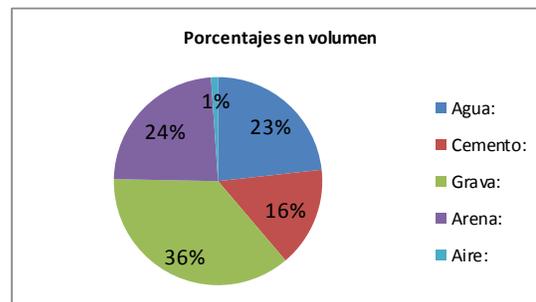
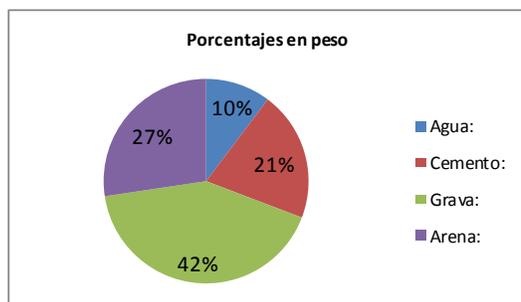
a/c	Material:	Para 1 m3	Corregido	Para 80 lt	VOLUMEN
0.47	Agua:	220 lt	238 lt	19.06 lt	19 l
0.47	Cemento:	468 kg	468 kg	37.45 kg	13 l
	Grava:	962 kg	952 kg	76.20 kg	29 l
	Arena:	632 kg	624 kg	49.92 kg	19 l
	Aire:	0 kg	0 kg	0.00 kg	0.9 l

**BACHADA 3 (18/06/12)**

Corrección por humedad

Chgrava 0.78Charena 1.15

a/c	Material:	Para 1 m3	Corregido	Para 80 lt	VOLUMEN
0.48	Agua:	220 lt	235 lt	18.79 lt	19 l
0.47	Cemento:	468 kg	468 kg	37.45 kg	13 l
	Grava:	962 kg	955 kg	76.42 kg	30 l
	Arena:	632 kg	625 kg	49.97 kg	19 l
	Aire:	0 kg	0 kg	0.00 kg	0.9 l

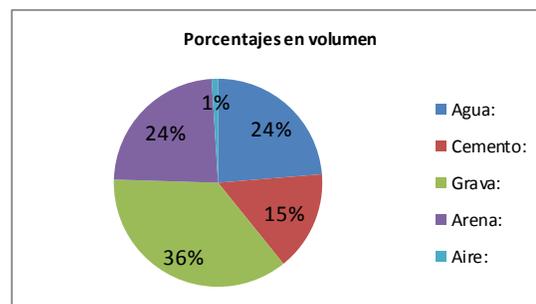
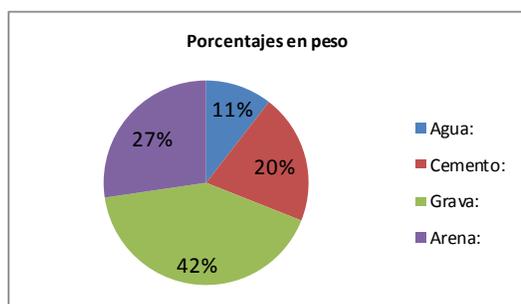


BACHADA 4 (19/06/12)

Corrección por humedad

Chgrava 0.35Charena 1.01

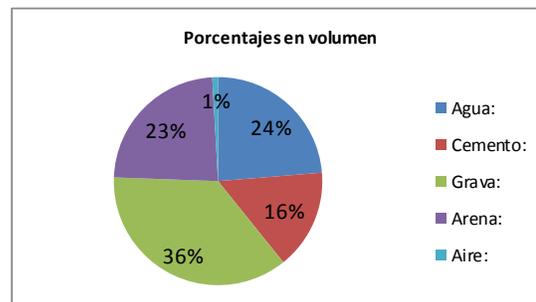
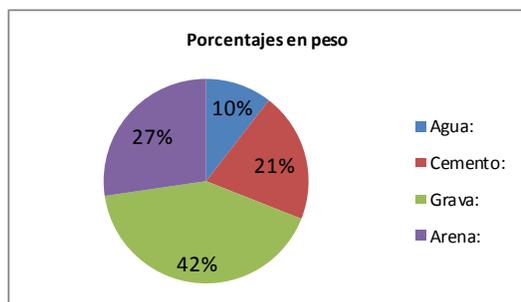
a/c	Material:	Para 1 m3	Corregido	Para 80 lt	VOLUMEN
0.46	Agua:	220 lt	240 lt	19.19 lt	19 l
0.47	Cemento:	468 kg	468 kg	37.45 kg	13 l
	Grava:	962 kg	951 kg	76.09 kg	29 l
	Arena:	632 kg	624 kg	49.90 kg	19 l
	Aire:	0 kg	0 kg	0.00 kg	0.8 l

**BACHADA 5 (21/06/12)**

Corrección por humedad

Chgrava 0.40Charena 0.97

a/c	Material:	Para 1 m3	Corregido	Para 80 lt	VOLUMEN
0.47	Agua:	220 lt	240 lt	19.17 lt	19 l
0.47	Cemento:	468 kg	468 kg	37.45 kg	13 l
	Grava:	962 kg	952 kg	76.13 kg	29 l
	Arena:	632 kg	623 kg	49.88 kg	19 l
	Aire:	0 kg	0 kg	0.00 kg	0.7 l

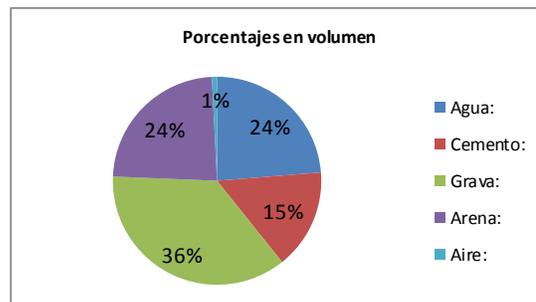
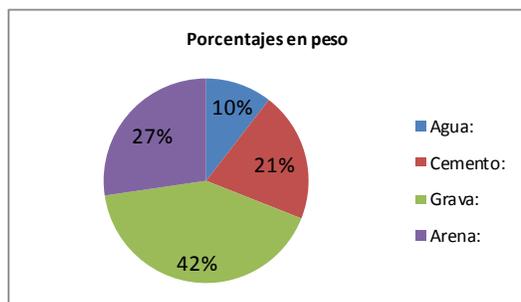


BACHADA 6 (21/06/12)

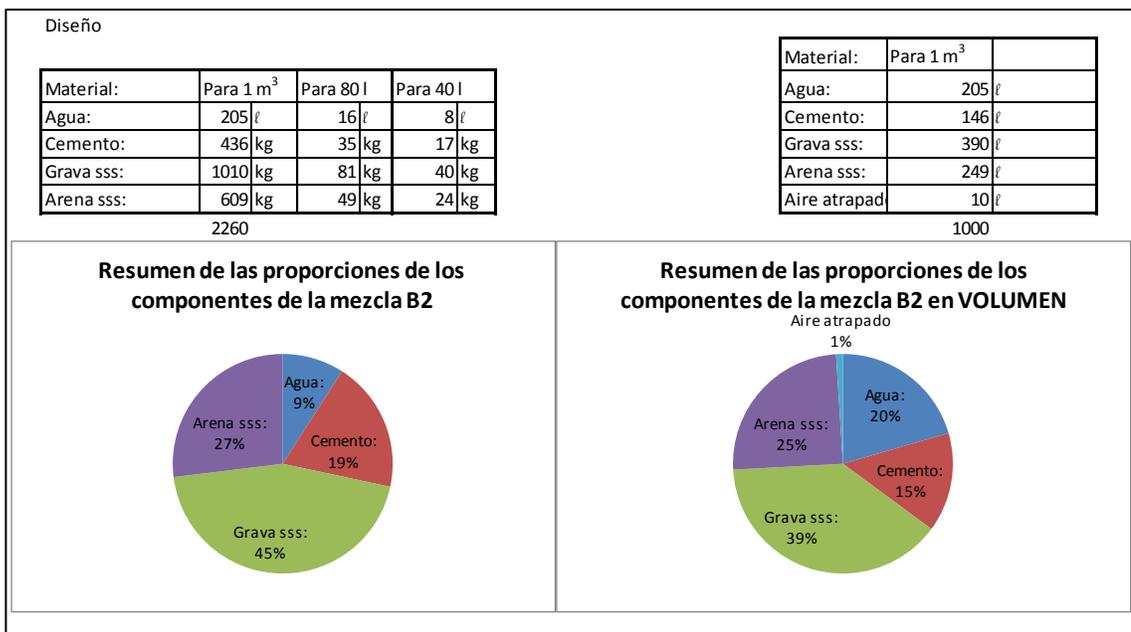
Corrección por humedad

Chgrava 0.40Charena 0.97

a/c	Material:	Para 1 m3	Corregido	Para 80 lt	VOLUMEN
0.47	Agua:	220 lt	240 lt	19.17 lt	19 l
0.47	Cemento:	468 kg	468 kg	37.45 kg	13 l
	Grava:	962 kg	952 kg	76.13 kg	29 l
	Arena:	632 kg	623 kg	49.88 kg	19 l
	Aire:	0 kg	0 kg	0.00 kg	0.6 l



MEZCLA B2



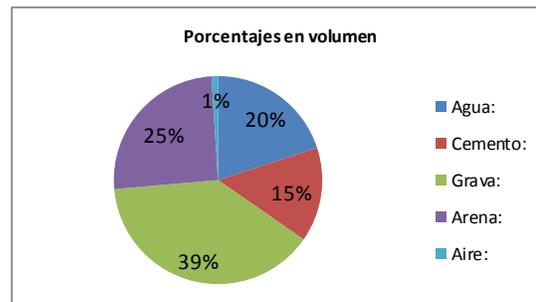
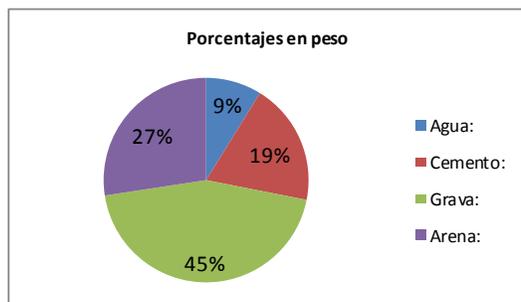
BACHADA 1 (29/05/12)

Corrección por humedad

Chgrava 1.02

Charena 6.46

a/c	Material:	Para 1 m ³	Corregido	Para 80 lt	VOLUMEN
0.47	Agua:	205 lt	199 lt	15.93 lt	16 l
0.47	Cemento:	436 kg	436 kg	34.89 kg	12 l
	Grava:	1010 kg	1005 kg	80.44 kg	31 l
	Arena:	609 kg	620 kg	49.57 kg	20 l
	Aire:	0 kg	0 kg	0.00 kg	0.8 l

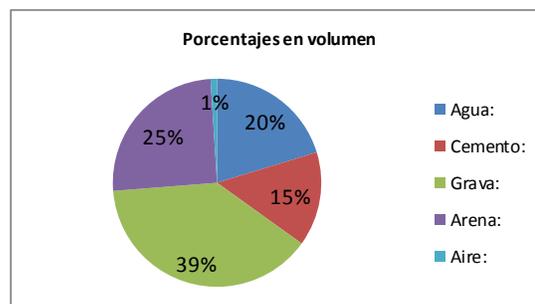
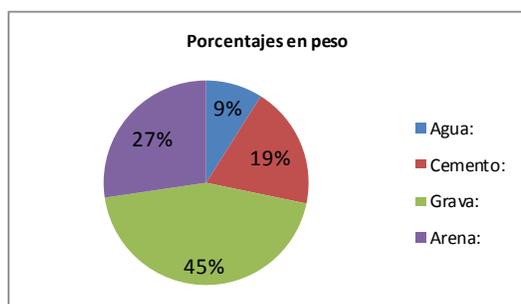


BACHADA 2 (30/05/12)

Corrección por humedad

Chgrava 0.89Charena 6.14

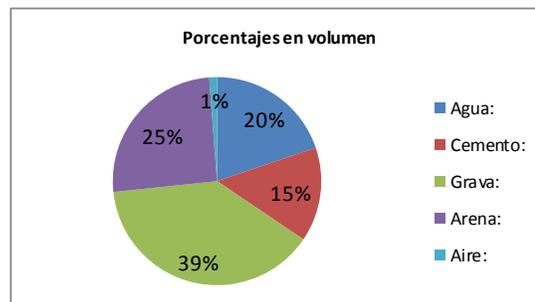
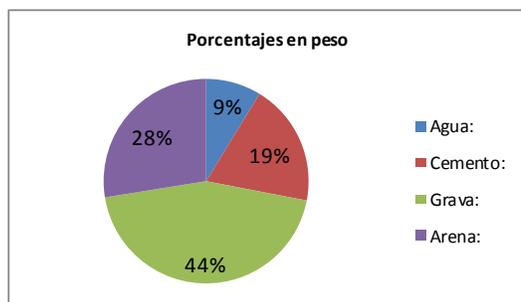
a/c	Material:	Para 1 m3	Corregido	Para 80 lt	VOLUMEN
0.46	Agua:	205 lt	202 lt	16.19 lt	16 l
0.47	Cemento:	436 kg	436 kg	34.89 kg	12 l
	Grava:	1010 kg	1004 kg	80.33 kg	31 l
	Arena:	609 kg	618 kg	49.42 kg	20 l
	Aire:	0 kg	0 kg	0.00 kg	0.8 l

**BACHADA 3 (31/05/12)**

Corrección por humedad

Chgrava 0.91Charena 6.92

a/c	Material:	Para 1 m3	Corregido	Para 80 lt	VOLUMEN
0.48	Agua:	205 lt	197 lt	15.80 lt	16 l
0.47	Cemento:	436 kg	436 kg	34.89 kg	12 l
	Grava:	1010 kg	1004 kg	80.35 kg	31 l
	Arena:	609 kg	622 kg	49.80 kg	20 l
	Aire:	0 kg	0 kg	0.00 kg	1.0 l

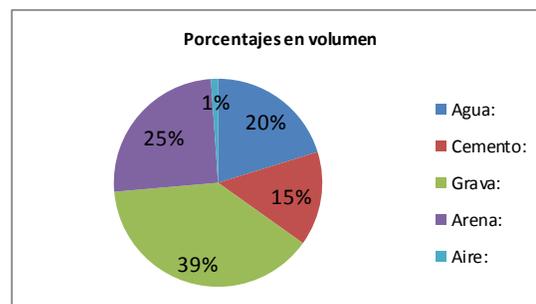
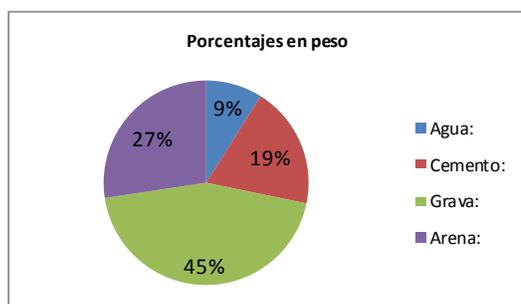


BACHADA 4 (04/06/12)

Corrección por humedad

Chgrava 0.8Charena 6.35

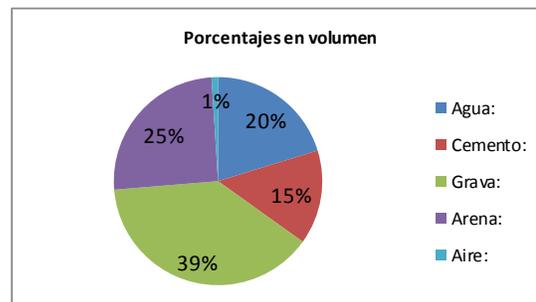
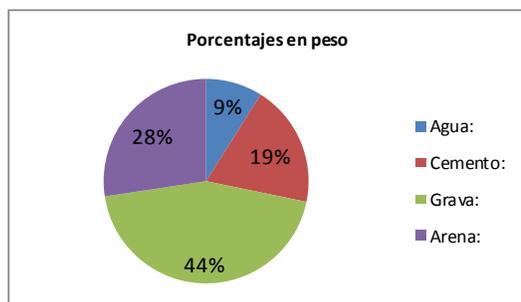
a/c	Material:	Para 1 m3	Corregido	Para 80 lt	VOLUMEN
0.47	Agua:	205 lt	202 lt	16.16 lt	16 l
0.47	Cemento:	436 kg	436 kg	34.89 kg	12 l
	Grava:	1010 kg	1003 kg	80.26 kg	31 l
	Arena:	609 kg	619 kg	49.52 kg	20 l
	Aire:	0 kg	0 kg	0.00 kg	0.9 l

**BACHADA 5 (05/06/12)**

Corrección por humedad

Chgrava 0.78Charena 6.37

a/c	Material:	Para 1 m3	Corregido	Para 80 lt	VOLUMEN
0.47	Agua:	205 lt	202 lt	16.17 lt	16 l
0.47	Cemento:	436 kg	436 kg	34.89 kg	12 l
	Grava:	1010 kg	1003 kg	80.24 kg	31 l
	Arena:	609 kg	619 kg	49.53 kg	20 l
	Aire:	0 kg	0 kg	0.00 kg	0.8 l

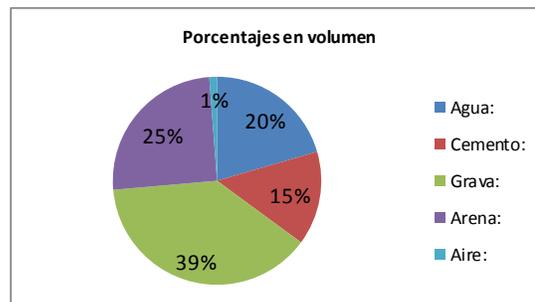
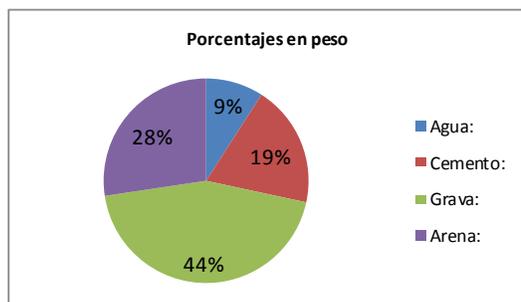


BACHADA 6 (07/06/12)

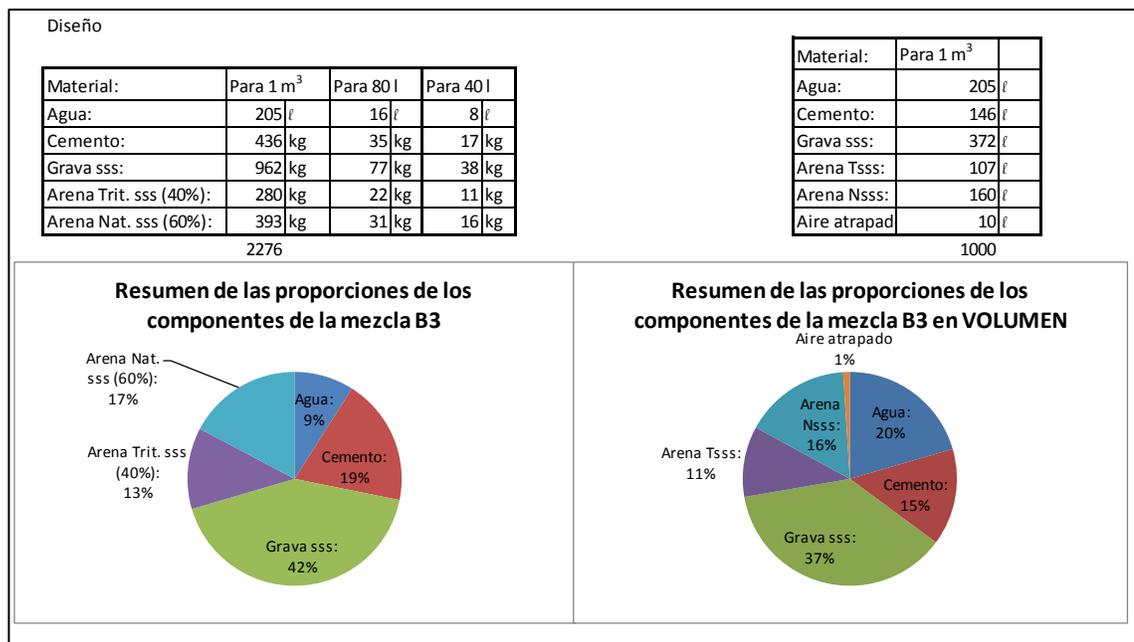
Corrección por humedad

Chgrava 0.5Charena 6.29

a/c	Material:	Para 1 m3	Corregido	Para 80 lt	VOLUMEN
0.46	Agua:	205 lt	205 lt	16.43 lt	16 l
0.47	Cemento:	436 kg	436 kg	34.89 kg	12 l
	Grava:	1010 kg	1000 kg	80.02 kg	31 l
	Arena:	609 kg	619 kg	49.49 kg	20 l
	Aire:	0 kg	0 kg	0.00 kg	1.0 l



MEZCLA B3

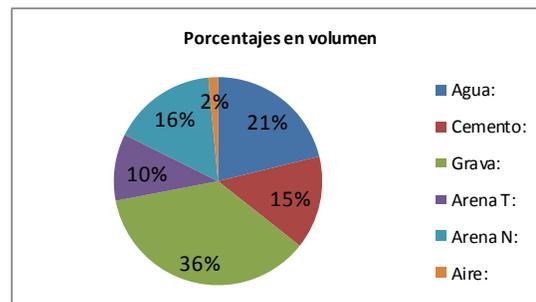
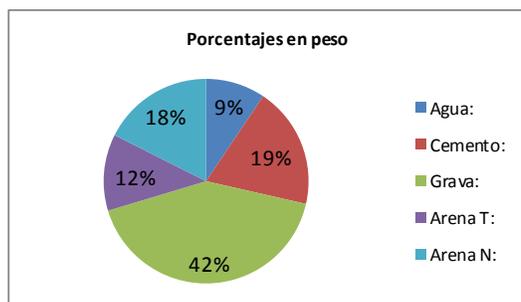


BACHADA 1 (25/06/12)

Corrección por humedad

Chgrava 0.31ChAT 0.7ChAN 6.6

a/c	Material:	Para 1 m ³	Corregido	Para 80 lt	VOLUMEN
0.47	Agua:	205 lt	214 lt	17.12 lt	17 l
0.47	Cemento:	436 kg	436 kg	34.89 kg	12 l
	Grava:	962 kg	951 kg	76.06 kg	29 l
	Arena T:	280 kg	275 kg	22.01 kg	8 l
	Arena N:	393 kg	400 kg	31.99 kg	13 l
	Aire:	0 kg	0 kg	0.00 kg	1.2 l

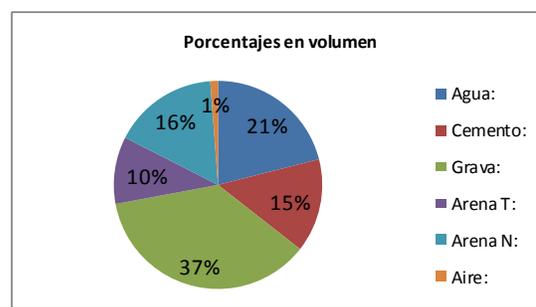
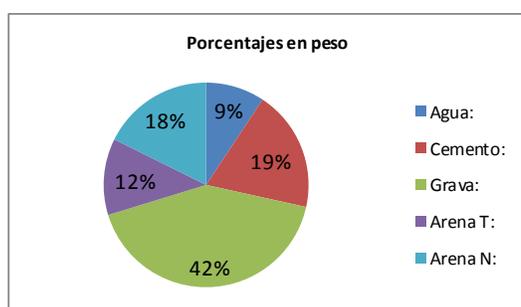


BACHADA 2 (27/06/12)

Corrección por humedad

Chgrava 0.34ChAT 0.74ChAN 7.1

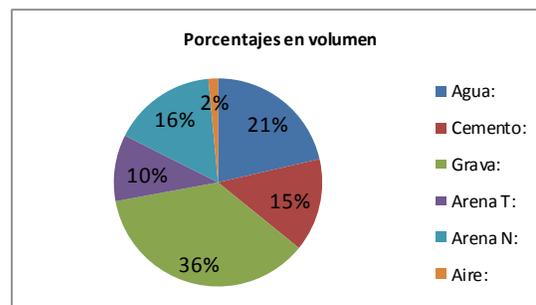
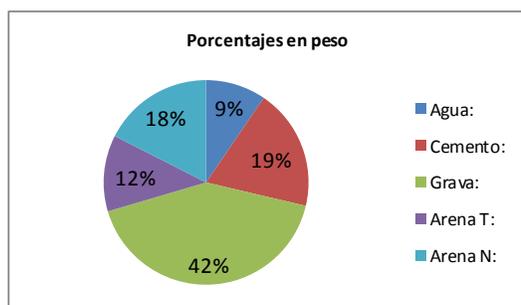
a/c	Material:	Para 1 m3	Corregido	Para 80 lt	VOLUMEN
0.47	Agua:	205 lt	212 lt	16.93 lt	17 l
0.47	Cemento:	436 kg	436 kg	34.89 kg	12 l
	Grava:	962 kg	951 kg	76.08 kg	29 l
	Arena T:	280 kg	275 kg	22.02 kg	8 l
	Arena N:	393 kg	402 kg	32.15 kg	13 l
	Aire:	0 kg	0 kg	0.00 kg	1.0 l

**BACHADA 3 (02/07/12)**

Corrección por humedad

Chgrava 0.25ChAT 0.41ChAN 6.2

a/c	Material:	Para 1 m3	Corregido	Para 80 lt	VOLUMEN
0.46	Agua:	205 lt	217 lt	17.33 lt	17 l
0.47	Cemento:	436 kg	436 kg	34.89 kg	12 l
	Grava:	962 kg	950 kg	76.02 kg	29 l
	Arena T:	280 kg	274 kg	21.95 kg	8 l
	Arena N:	393 kg	399 kg	31.89 kg	13 l
	Aire:	0 kg	0 kg	0.00 kg	1.2 l

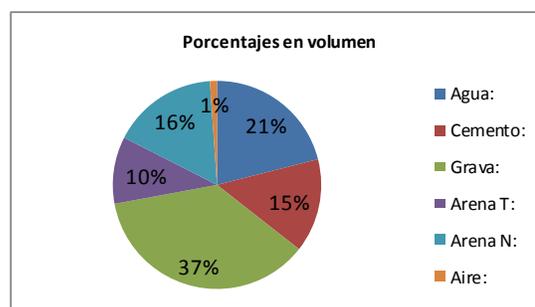
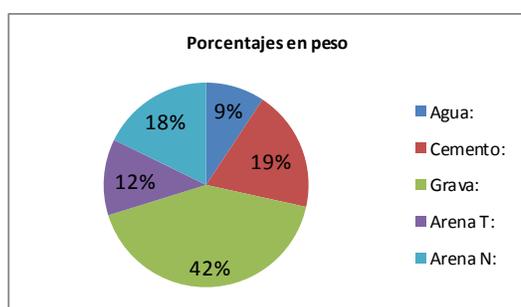


BACHADA 4 (03/07/12)

Corrección por humedad

Chgrava 0.25ChAT 0.37ChAN 7.6

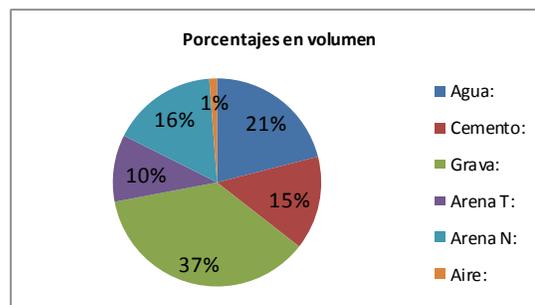
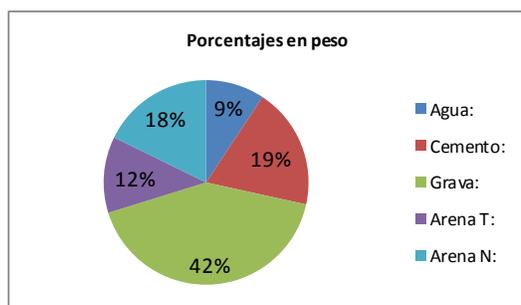
a/c	Material:	Para 1 m3	Corregido	Para 80 lt	VOLUMEN
0.47	Agua:	205 lt	211 lt	16.91 lt	17 l
0.47	Cemento:	436 kg	436 kg	34.89 kg	12 l
	Grava:	962 kg	950 kg	76.02 kg	29 l
	Arena T:	280 kg	274 kg	21.94 kg	8 l
	Arena N:	393 kg	404 kg	32.32 kg	13 l
	Aire:	0 kg	0 kg	0.00 kg	0.9 l

**BACHADA 5 (03/07/12)**

Corrección por humedad

Chgrava 0.25ChAT 0.37ChAN 7.6

a/c	Material:	Para 1 m3	Corregido	Para 80 lt	VOLUMEN
0.47	Agua:	205 lt	211 lt	16.91 lt	17 l
0.47	Cemento:	436 kg	436 kg	34.89 kg	12 l
	Grava:	962 kg	950 kg	76.02 kg	29 l
	Arena T:	280 kg	274 kg	21.94 kg	8 l
	Arena N:	393 kg	404 kg	32.32 kg	13 l
	Aire:	0 kg	0 kg	0.00 kg	1.0 l



BACHADA 6 (05/07/12)

Corrección por humedad

Chgrava 0.39ChAT 0.45ChAN 7.5

a/c	Material:	Para 1 m3	Corregido	Para 80 lt	VOLUMEN
0.47	Agua:	205 lt	210 lt	16.83 lt	17 l
0.47	Cemento:	436 kg	436 kg	34.89 kg	12 l
	Grava:	962 kg	952 kg	76.12 kg	29 l
	Arena T:	280 kg	274 kg	21.96 kg	8 l
	Arena N:	393 kg	403 kg	32.28 kg	13 l
	Aire:	0 kg	0 kg	0.00 kg	1.3 l

