

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



**“EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS  
DE DISEÑOS DE MEZCLAS DE CONCRETO  
HIDRÁULICO EMPLEANDO GRANULOMETRÍAS  
COMBINADAS”**

PRESENTADO POR:

**RAÚL EDUARDO ANAYA MEJÍA**

**ALEXANDER MAURICIO MIRANDA SEGOVIA**

**EDWARD STANLEY QUINTANILLA MARTÍNEZ**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

**INGENIERO CIVIL**

CIUDAD UNIVERSITARIA, ABRIL DE 2016

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**RECTOR INTERINO :**

**LIC. JOSÉ LUIS ARGUETA ANTILLÓN**

**SECRETARIA GENERAL :**

**DRA. ANA LETICIA ZAVALA DE AMAYA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**DECANO :**

**ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL**

**SECRETARIO :**

**ING. JULIO ALBERTO PORTILLO**

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**DIRECTOR :**

**ING. JORGE OSWALDO RIVERA FLORES**

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

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

**INGENIERO CIVIL**

Título

:

**“EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS  
DE DISEÑOS DE MEZCLAS DE CONCRETO  
HIDRÁULICO EMPLEANDO GRANULOMETRÍAS  
COMBINADAS”**

Presentado por

:

**RAÚL EDUARDO ANAYA MEJÍA**

**ALEXANDER MAURICIO MIRANDA SEGOVIA**

**EDWARD STANLEY QUINTANILLA MARTÍNEZ**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Asesores

:

**INGRA. LESLY EMIDALIA MENDOZA MEJÍA**

**ING. JOSÉ MIGUEL LANDAVERDE QUIJADA**

**ING. JAIME OMAR AVALOS MENDOZA**

San Salvador, Abril de 2016

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Asesores :

**INGRA. LESLY EMIDALIA MENDOZA MEJÍA**

**ING. JOSÉ MIGUEL LANDAVERDE QUIJADA**

**ING. JAIME OMAR AVALOS MENDOZA**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios todopoderoso por permitirnos culminar esta etapa de nuestra vida, por darnos la fortaleza cada día para seguir adelante, por bendecir a nuestras familias, y por su infinita misericordia, todo se lo debemos a nuestro señor.

A la Universidad de El Salvador, por formarnos y capacitarnos para enfrentar el diario vivir como profesionales y de esta manera colaborar y aportar en el desarrollo de nuestro país.

A la Fundación ISCYC por su colaboración y apoyo durante el desarrollo de nuestro Trabajo de Graduación, a través de asesoría técnica, proporcionamiento de materiales, equipo de laboratorio e instalaciones.

A la Cantera S.A. de C.V. por el apoyo brindado en la donación de los agregados para la realización de esta investigación.

A nuestros asesores Ing. Lesly Emidalia Mendoza Mejía, Ing. José Miguel Landaverde e Ing. Jaime Omar Avalos, gracias por su guía, por el tiempo dedicado, por el apoyo incondicional y por convertirse en parte imprescindible de esta investigación.

A todo el personal técnico de laboratorio de la Fundación ISCYC por su tiempo y colaboración en la realización de todos los ensayos comprendidos en el trabajo experimental de esta investigación.

***Los Autores.***

## **DEDICATORIA**

### **A Dios Todopoderoso:**

Por haberme permitido llegar a la culminación de mi carrera, dándome la fuerza, la sabiduría y su infinito amor a lo largo de todo el camino.

### **A mis padres:**

Raúl Anaya Mena y Fanny Marisol Mejía Díaz, por su confianza y apoyo incondicional a lo largo de toda la carrera.

### **A familiares:**

María concepción Díaz Reyes, Virginia Brendhaly Mejía Díaz y Karla Stefany Anaya Mejía por su enorme ayuda brindada en las diversas etapas de mis estudios.

Raúl Eduardo Anaya Mejía.

## DEDICATORIA

**A DIOS TODOPODEROSO:** por permitirme alcanzar mi sueño, por bendecir a mi familia, por cada día que me has dado, y porque jamás me has abandonado.

**A MI MADRE:** María del Carmen Segovia por todo el apoyo incondicional que me has dado durante todos estos largos años, porque te he visto sufrir y sacrificarte para que nada me faltara, por sacarnos adelante a mí y a mis hermanos, gracias por amarme y ser un ángel conmigo, te amo y te admiro madrecita, y espero con todo mi corazón poder retribuirte todo lo que has hecho por mí, soy quien soy gracias a ti.

**A MI ESPOSA:** Marcela Veraly Bolaños, gracias por estar conmigo, por soportarme, por apoyarme, por comprenderme y amarme, y por seguir llenando mi vida de felicidad, son tantos momentos hermosos que jamás podría olvidarlos, espero siempre hacerte feliz.

**A MI HIJO:** Axel Alexander Miranda, la luz de mis ojos, que apenas has llegado a mi vida y la has llenado de alegría y felicidad, espero poder llenar la tuya, ser un padre ejemplar y darte todo lo necesario para que seas una persona de bien. Nunca dejes que alguien te diga que no puedes, recuerda que todo lo que anhelas, si te lo propones y lo deseas de corazón lo puedes lograr. Te deseo lo mejor del mundo e infinitas bendiciones.

**A MIS HERMANOS:** A Francisco Rivera, Walter Quintanilla, Wilfredo Segovia, Zulma Segovia, Luis Ramírez y María Ramírez, los quiero tanto, gracias por su apoyo incondicional, por estar siempre ahí, cuando los he necesitado.

**A MIS SOBRINOS:** A Walter, Kevin, José, Bryan, Josué, Juancito, Jesús, Steven, Kimberly, Steffany, Jennifer, María y Dayana, por llenar mi vida de alegría, los amo inmensamente.

**A MIS PRIMOS Y TIOS:** Gracias por sus buenos deseos y sabios consejos.

**A MIS CUÑADAS:** Glenda García, Maritza Contreras, Cristina Segovia, Teresa Cedillos y Candelaria Bolaños, gracias por su apoyo y buenos consejos.

**A MIS AMIGOS DE INFANCIA Y DE LA VIDA:** Carlos Bolaños, Carlos Salmerón, Miguel Salmerón, Eduaysy Nájera, Elizabeth González, Brenda García, Jennifer Nájera, Wendy González, Yamileth Salmerón, Mónica Bogle, Jackelin Rivera, Morelia Molina y Vanessa Lara. Gracias porque he reído y compartido tanto con ustedes, espero en verdad jamás perder su amistad.

**A MIS AMIGOS DE ESTUDIO:** Néstor Hernández, Ericsson Cáceres, Raúl Cruz, William Márquez, Josué Ananías, José Miguel Mejía, Ángel Alvarado, Fernando Gálvez, Edwin Benítez, Roberto Chicas, Lisbeth Jiménez, Marcela Salmerón, Jessica Portillo, Carolina Meléndez, Lina Guerrero, Heidy Cruz y Rosa Umaña. Gracias por su amistad, les deseo lo mejor.

**A MIS COMPAÑEROS DE TESIS:** Raúl Anaya y Edward Quintanilla, gracias por confiar en mí, por la lucha para alcanzar la meta, fue largo el camino, fueron días de alegría, de tristeza, de confusión, de enojo, y de discusiones, pero cada día valió la pena, de corazón les deseo muchísimos éxitos en su vida.

**EN MEMORIA DE:**

**MI PADRE:** Lisandro Miranda Torres que aunque ya no estés conmigo de pequeño te hice una promesa y me duele en el alma decir estas palabras y que tú ya no estés conmigo, pero donde quiera que estés, ¡¡hoy la he cumplido padre!! Gracias por ser el mejor padre del mundo.

**MI ABUELITA:** Maria Salvadora Segovia por tu gran amor, y porque siempre que me encontrabas me aconsejabas y me invitabas a la iglesia.

***Alexander Mauricio Miranda Segovia.***

## DEDICATORIA

Principalmente dedico este trabajo a mi Dios, mi Ayudador, quien siempre ha estado conmigo, quien es mi fuerza, quien me ha dado sabiduría para lograr concluir mis estudios, Él es mi Roca, quien me guía por amor de su nombre. Contigo Señor todo lo puedo y nada más necesito.

“¿A quién tengo en el cielo?

¡A nadie más que a ti!

Contigo a mi lado, nada

Me falta en este mundo.

(Traducción en lenguaje actual, salmos 73:25)”

A mis Padres, por ser los mejores del mundo, por haberme enseñado que no hay nada más importante que el temor a Dios, por ser siempre mi apoyo incondicional; a ustedes David Arnulfo Quintanilla Cruz y Gilma Ruth Martínez de Quintanilla, les dedico este logro, los admiro, los amo con todo mi corazón, aunque no hemos estado juntos por algunos años, sé que el finalizar la universidad ha sido gracias a sus oraciones y al esfuerzo que han hecho por mí.

A mi hermano Josué David Quintanilla Martínez por ser un apoyo todos estos años, por ser una bendición, quien Dios puso en mi vida para siempre sentirme retado a seguir adelante y ser mejor. Sé que sin tu compañía años me hubiera dado por vencido, Te Amo.

A mis compañeros de Tesis Alex y Raúl, el tiempo que trabajamos juntos he aprendido mucho de ustedes, espero en un futuro sigamos trabajando juntos, Dios los bendiga mucho amigos.

Edward Stanley Quintanilla Martínez.

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	XX
-------------------	----

### **CAPÍTULO I: GENERALIDADES**

1.1 INTRODUCCIÓN.....	2
1.2 ANTECEDENTES.....	3
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	5
1.4 OBJETIVOS.....	7
1.4.1 OBJETIVO GENERAL:.....	7
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	7
1.5 ALCANCES .....	8
1.6 LIMITACIONES.....	9
1.7 JUSTIFICACIÓN.....	10

### **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO COMPONENTES DEL CONCRETO**

2.1 GENERALIDADES .....	13
2.2 CEMENTO.....	15
2.2.1 CLASIFICACIÓN DEL CEMENTO .....	16
2.3 AGUA DE MEZCLADO.....	18
2.4 ADITIVOS.....	22
2.5 AGREGADOS .....	23
2.5.1 CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS.....	23

2.5.2 FUNCION DE LOS AGREGADOS EN EL CONCRETO .....	25
2.5.3 CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS Y SU INFLUENCIA EN EL CONCRETO .....	26
2.5.4 ESPECIFICACIONES DE LOS AGREGADOS PARA CONCRETO.....	35
2.6 INFLUENCIA DE GRANULOMETRIAS COMBINADAS EN EL CONCRETO.....	42
2.7 GRANULOMETRIA SHILSTONE .....	45

**CAPÍTULO III:  
METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION**

3.1 GENERALIDADES .....	49
3.2 PARAMETROS FIJOS DE LA INVESTIGACION.....	50
3.2.1 CONDICIONES DE LABORATORIO .....	50
3.2.2 CEMENTO.....	51
3.2.3 AGUA .....	51
3.2.4 AGREGADOS.....	51
3.2.5 METODOLOGIA PARA EL PROPORCIONAMIENTO DE LAS MEZCLAS.....	51
3.2.6 RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN.....	51
3.2.7 REVENIMIENTO.....	52
3.3 PARÁMETROS VARIABLES DE LA INVESTIGACION .....	52
3.4 METODOLOGÍA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL EN EL LABORATORIO.....	52
3.5 FASES DE LA METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION .....	54
3.5.1 FASE 1: SELECCIÓN DE LOS MATERIALES.....	54

3.5.2 FASE 2: DEFINICIÓN DE ENSAYOS A REALIZAR .....	54
3.5.3 FASE 3: DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS MATERIALES .....	55
3.5.4 FASE 4: ELABORACIÓN DE LAS COMBINACIONES DE LOS AGREGADOS.....	56
3.5.5 FASE 5: DISEÑO DE MEZCLAS PRELIMINARES .....	58
3.5.6 FASE 6: SELECCIÓN DE DISEÑO DEFINITIVO .....	64
3.5.7 FASE 7. REPRODUCCION DE MEZCLAS DEFINITIVAS .....	64
3.5.8 FASE 8. ENSAYOS AL CONCRETO EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO.....	66
3.5.9 FASE 9. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL TRABAJO EXPERIMENTAL .....	66

**CAPÍTULO IV:  
DISEÑO Y PROPOCIONAMIENTO DE  
MEZCLAS DE CONCRETO**

4.1 GENERALIDADES .....	68
4.2 SELECCIÓN DE LOS MATERIALES.....	68
4.2.1 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DEL BANCO DE EXTRACCIÓN	68
4.2.2 PROCESO DE PRODUCCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS.....	70
4.2.3 PROCESO DE PRODUCCION DE AGREGADO FINO .....	73
4.2.4 PROCEDIMIENTO DE SELECCIÓN DE AGREGADOS .....	77
4.2.5 CEMENTO.....	83
4.2.6 AGUA .....	84
4.3 DEFINICIÓN DE ENSAYOS A REALIZAR .....	84

4.3.1 MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA REVENIMIENTO DE CONCRETO HIDRÁULICO .....	84
4.3.2 MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA MEDICIÓN DE TEMPERATURA EN CONCRETO RECIÉN MEZCLADO.....	85
4.3.3 MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA MEDICIÓN DE LA DENSIDAD (PESO VOLUMÉTRICO), VOLUMEN PRODUCIDO (RENDIMIENTO) Y CONTENIDO DE AIRE (MÉTODO GRAVIMÉTRICO) DEL CONCRETO .....	85
4.3.4 MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA MEDICIÓN DEL CONTENIDO DE AIRE .....	86
4.3.5 PRACTICA ESTÁNDAR PARA LA ELABORACIÓN Y CURADO DE ESPECÍMENES DE CONCRETO EN EL LABORATORIO .....	86
4.3.6 MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO .....	87
4.3.7 MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO .....	88
4.3.8 MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA RESISTENCIA A LA TENSIÓN INDIRECTA DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO (TENSIÓN POR PARTIDURA) .....	88
4.3.9 MODULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO Y RELACIÓN DE POISSON DEL CONCRETO EN COMPRESIÓN .....	89
4.3.10 MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA VELOCIDAD DEL PULSO A TRAVÉS DEL CONCRETO (MODULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO) .....	90
4.4 DETERMINACION DE LAS PROPIEDADES FISICAS DE LOS AGREGADOS .....	91

4.4.1 METODO DE ENSAYO ESTANDAR PARA ANALISIS POR TAMIZADO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS (BASADO EN ASTM C-136).....	92
4.4.2 MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCION DE AGREGADO GRUESO (ASTM C-128) .....	96
4.4.3 MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCION DE AGREGADO FINO (ASTM C-128) .....	97
4.4.4 MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA DENSIDAD BRUTA (PESO UNITARIO) Y VACÍOS EN LOS AGREGADOS (ASTM C-29) .....	98
4.4.5 MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA IMPUREZAS ORGÁNICAS EN EL AGREGADO FINO PARA CONCRETO (ASTM C-40).....	99
4.5 ELABORACION DE LAS COMBINACIONES DE LOS AGREGADOS.....	101
4.5.1 COMBINACIONES GRANULOMETRICAS TEÓRICAS DE AGREGADO GRUESO .....	101
4.5.2 SELECCIÓN DE LAS COMBINACIONES TEORICAS DE AGREGADO GRUESO A IMPLEMENTARSE EN LOS DISEÑOS DE MEZCLAS DE CONCRETO .....	105
4.5.3 VERIFICACION DE COMBINACIONES TEORICAS DE AGREGADO GRUESO EN LABORATORIO.....	105
4.5.4 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE PESO VOLUMÉTRICO SUELTO Y VARILLADO DE LAS COMBINACIONES DE AGREGADO GRUESO .....	110
4.6 DISEÑO DE MEZCLAS PRELIMINARES .....	112
4.6.1 IDENTIFICACION DE LAS MEZCLAS .....	112
4.6.2 DATOS DE DISEÑO .....	112

4.6.3 DISEÑO DE MEZCLA MP-1 .....	114
4.6.4 DISEÑO DE MEZCLA MP-2 .....	118
4.6.5 DISEÑO DE MEZCLA MP-3 .....	121
4.6.6 DISEÑO DE MEZCLA MP-4 .....	124
4.6.7 DISEÑO DE MEZCLA MP-5 .....	128
4.6.8 DISEÑO DE MEZCLA MP-6 .....	132
4.6.9 DISEÑO DE MEZCLA MP-7 .....	135
4.7 SELECCIÓN DE DISEÑO DEFINITIVO.....	138
4.8 REPRODUCCION DE MEZCLAS DEFINITIVAS.....	140
4.8.1 PROPORCIONAMIENTO DE LOS DISEÑOS PRELIMINARES .....	141

**CAPÍTULO V:  
ANÁLISIS DE RESULTADOS**

5.1 GENERALIDADES .....	148
5.2 ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO .....	149
5.2.1 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS ENSAYOS AL CONCRETO EN ESTADO FRESCO .....	152
5.3 ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO .....	159
5.3.1 RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION .....	160
5.3.2 CARTAS DE CONTROL DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION	165
5.3.3 ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION	176
5.3.4 RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA FLEXION .....	181
5.3.5 ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESISTENCIA A LA FLEXION .....	183

5.3.6 RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA TENSION POR PARTIDURA .....	187
5.3.7 ANALISIS COMPARATIVO DE RESISTENCIA A TENSION POR PARTIDURA.....	189
5.3.8 RESULTADOS DE MODULO DE ELASTICIDAD ESTATICO.....	192
5.3.9 ANALISIS COMPARATIVO DE MODULO DE ELASTICIDAD ESTATICO DEL CONCRETO .....	197
5.3.10 RESULTADOS DE MODULO DE ELASTICIDAD DINAMICO.....	199
5.3.11 ANALISIS COMPARATIVO DE MODULO DE ELASTICIDAD DINAMICO DEL CONCRETO.....	200
5.4 ANALISIS DE GRANULOMETRIA SHILSTONE.....	201

**CAPÍTULO VI:  
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

6.1 INTRODUCCION.....	207
6.2 CONCLUSIONES .....	208
6.2.1 COMPORTAMIENTO GRANULOMÉTRICO DE LAS COMBINACIONES DE AGREGADOS DE TMN ¾" Y 1 ½".....	208
6.2.2 COMPORTAMIENTO DE LAS MEZCLAS EN ESTADO FRESCO .....	208
6.2.3 COMPORTAMIENTO DE LAS MEZCLAS EN ESTADO ENDURECIDO .....	211
6.3 RECOMENDACIONES.....	218
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	222

## **ANEXOS**

<b>ANEXO A:</b>	HOJAS DE CARACTERIZACION DE AGREGADO FINO.....	227
<b>ANEXO B:</b>	HOJAS DE CARACTERIZACION DE AGREGADO GRUESO.....	233

## ÍNDICE DE TABLAS

### CAPÍTULO II:

#### MARCO TEÓRICO

#### COMPONENTES DEL CONCRETO

<b>TABLA No 2.1:</b> Revisión de los tipos de cemento ASTM C-150 .....	17
<b>TABLA No 2.2:</b> Revisión de los tipos de cemento ASTM C-1157 .....	18
<b>TABLA No 2.3:</b> Normas de la calidad del agua para empleo en morteros y concretos .....	19
<b>TABLA No 2.4:</b> Criterios de aceptación para abastecimiento de aguas dudosas (ASTM C-94 o AASHTO M-157) .....	19
<b>TABLA No 2.5:</b> Límites químicos para aguas de lavado usadas con agua de mezcla (ASTM C-94 o AASHTO M-157) .....	20
<b>TABLA No 2.6:</b> Propiedades del agregado y resistencia del concreto .....	26
<b>TABLA No 2.7:</b> Características y ensayos de los agregados .....	37
<b>TABLA No 2.8:</b> Límites para sustancias deletéreas en el agregado fino para concreto .....	38
<b>TABLA No 2.9:</b> Límites para agregado fino .....	40
<b>TABLA No 2.10:</b> Tamaños estándar de agregado grueso .....	41
<b>TABLA No 2.11:</b> Límites para material más fino que la malla No. 200 .....	42

### CAPÍTULO III:

#### METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

<b>TABLA No 3.1:</b> Ensayos al concreto en estado fresco .....	55
<b>TABLA No 3.2:</b> Ensayos al concreto en estado endurecido .....	55
<b>TABLA No 3.3:</b> Ensayos a los agregados .....	56
<b>TABLA No 3.4:</b> Revenimientos recomendados para varios tipos de construcción .....	58

<b>TABLA No 3.5:</b> Resistencia a compresión media requerida cuando no hay datos disponibles para establecer la desviación estándar .....	59
<b>TABLA No 3.6:</b> Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire atrapado para diferentes revenimientos y TMN de agregado grueso .....	60
<b>TABLA No 3.7:</b> Relación agua/cemento (a/c) o agua/cemento más puzolana [a/(c+p)] y la resistencia a la compresión del concreto.....	61
<b>TABLA No 3.8:</b> Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto .....	62
<b>TABLA No 3.9:</b> Ensayos al concreto en estado endurecido .....	65
<b>TABLA No 3.10:</b> Códigos para rotulación de especímenes .....	65

**CAPÍTULO IV:  
DISEÑO Y PROPOCIONAMIENTO DE  
MEZCLAS DE CONCRETO**

<b>TABLA No 4.1:</b> Comparación de grava No 1 producida por la Cantera S.A. de C.V. contra No de tamaño 67 y 6 de la especificación ASTM C-33.....	78
<b>TABLA No 4.2:</b> Comparación de grava No 3/4 Altex producida por la Cantera S.A. de C.V. contra No de tamaño 67 y 6 de la especificación ASTM C-33 .....	78
<b>TABLA No 4.3:</b> Comparación entre grava No 2 producida por la Cantera S.A. de C.V. contra No de tamaños 467 y 4 de la especificación ASTM C-33.....	79
<b>TABLA No 4.4:</b> Comparación entre grava No 3 producida por la Cantera S.A. de C.V. contra No de tamaño 467 y 4 de la especificación ASTM C-33.....	80
<b>TABLA No 4.5:</b> Granulometrías de Arena Lavada Industrialmente producida por la Cantera S.A de CV contra límites granulométricos de agregado fino (ASTM C-33) .....	82
<b>TABLA No 4.6:</b> Ensayo granulométrico de agregado fino: Arena lavada industrialmente .....	93
<b>TABLA No 4.7:</b> Ensayo granulométrico de agregado grueso: Grava ¾" .....	94
<b>TABLA No 4.8:</b> Ensayo granulométrico de agregado grueso: Grava 1 ½" .....	95

<b>TABLA No 4.9:</b> Resultados de los ensayos de gravedad específica y absorción del agregado grueso: Grava $\frac{3}{4}$ " .....	96
<b>TABLA No 4.10:</b> Resultados de los ensayos de gravedad específica y absorción del agregado grueso: Grava $1\frac{1}{2}$ " .....	97
<b>TABLA No 4.11:</b> Resultados de los ensayos de gravedad específica y absorción del agregado fino .....	98
<b>TABLA No 4.12:</b> Peso volumétrico suelto y varillado del agregado fino: Arena lavada.....	98
<b>TABLA No 4.13:</b> Peso volumétrico suelto y varillado del agregado grueso: Grava $\frac{3}{4}$ " .....	99
<b>TABLA No 4.14:</b> Ensayo de peso volumétrico suelto del agregado grueso: Grava $1\frac{1}{2}$ " .....	99
<b>TABLA No 4.15:</b> Resumen de resultados de propiedades físicas de los agregados.....	100
<b>TABLA No 4.16:</b> Resultados de combinaciones granulométricas teóricas .....	102
<b>TABLA No 4.17:</b> Resultados de ensayo granulométrico de agregado grueso: Combinación 40-60.....	106
<b>TABLA No 4.18:</b> Resultados de ensayo granulométrico de agregado grueso: Combinación 50-50.....	107
<b>TABLA No 4.19:</b> Resultados de ensayo granulométrico de agregado grueso: Combinación 60-40.....	108
<b>TABLA No 4.20:</b> Peso volumétrico suelto y varillado del agregado grueso: Combinación 40-60.....	110
<b>TABLA No 4.21:</b> Peso volumétrico suelto y varillado del agregado grueso: Combinación 50-50.....	110
<b>TABLA No 4.22:</b> Peso volumétrico suelto y varillado del agregado grueso: Combinación 60-40.....	111
<b>TABLA No 4.23:</b> Identificación de mezclas preliminares.....	112
<b>TABLA No 4.24:</b> Características Físicas de los materiales .....	113

<b>TABLA No 4.25:</b> Volúmenes para 1 m <sup>3</sup> (Prueba 1) .....	115
<b>TABLA No 4.26:</b> Diseño Teórico para 1 m <sup>3</sup> (Prueba No 1). .....	115
<b>TABLA No 4.27:</b> Diseño Teórico para 1 m <sup>3</sup> (Prueba No 1). .....	116
<b>TABLA No 4.28:</b> Mezcla de Laboratorio para 47 litros .....	116
<b>TABLA No 4.29:</b> Resultados de resistencia a compresión (Prueba No 1). .....	118
<b>TABLA No 4.30:</b> Diseño Teórico para 1 m <sup>3</sup> (Prueba 2). .....	118
<b>TABLA No 4.31:</b> Diseño Teórico para 1 m <sup>3</sup> (Prueba 2). .....	119
<b>TABLA No 4.32:</b> Mezcla de Laboratorio para 47 litros .....	119
<b>TABLA No 4.33:</b> Resultados de resistencia a compresión (Prueba 2). .....	121
<b>TABLA No 4.34:</b> Diseño Teórico para 1 m <sup>3</sup> (Prueba No 3). .....	122
<b>TABLA No 4.35:</b> Diseño Teórico para 1 m <sup>3</sup> (Prueba 2). .....	122
<b>TABLA No 4.36:</b> Mezcla de Laboratorio para un volumen de 20 litros .....	123
<b>TABLA No 4.37:</b> Resultados de resistencia a compresión (Prueba No 3). .....	124
<b>TABLA No 4.38:</b> Diseño Teórico para 1 m <sup>3</sup> (Prueba 4). .....	125
<b>TABLA No 4.39:</b> Diseño Teórico para 1 m <sup>3</sup> (Prueba 2). .....	126
<b>TABLA No 4.40:</b> Mezcla de Laboratorio para un volumen de 20 litros .....	126
<b>TABLA No 4.41:</b> Resultados de resistencia a compresión (Prueba 4). .....	128
<b>TABLA No 4.42:</b> Volúmenes para 1 m <sup>3</sup> (Prueba 5) .....	129
<b>TABLA No 4.43:</b> Diseño Teórico para 1 m <sup>3</sup> (Prueba No 5). .....	130
<b>TABLA No 4.44:</b> Diseño Teórico para 1 m <sup>3</sup> (Prueba 5). .....	130
<b>TABLA No 4.45:</b> Mezcla de Laboratorio para 20 litros .....	130
<b>TABLA No 4.46:</b> Resultados de resistencia a la compresión (Prueba 5). .....	132
<b>TABLA No 4.47:</b> Diseño Teórico para 1 m <sup>3</sup> (Prueba No 6). .....	133
<b>TABLA No 4.48:</b> Mezcla de Laboratorio para 20 litros .....	133
<b>TABLA No 4.49:</b> Resultados de resistencia a compresión (Prueba No 6). .....	134
<b>TABLA No 4.50:</b> Volúmenes para 1 m <sup>3</sup> (Prueba No 7) .....	135
<b>TABLA No 4.51:</b> Diseño Teórico para 1 m <sup>3</sup> (Prueba No 7). .....	136
<b>TABLA No 4.52:</b> Diseño Teórico para 1 m <sup>3</sup> (Prueba 7). .....	136
<b>TABLA No 4.53:</b> Mezcla de Laboratorio para 20 l .....	136

<b>TABLA No 4.54:</b> Resultados de resistencia a compresión (Prueba No 7).....	137
<b>TABLA No 4.55:</b> Resumen de Resultados de mezclas preliminares.....	138
<b>TABLA No 4.56:</b> Proporcionamiento de Diseño Definitivo.....	139
<b>TABLA No 4.57:</b> Resultados de ensayos en estado fresco del Diseño Definitivo. .....	139
<b>TABLA No 4.58:</b> Resultados de ensayos en estado endurecido del Diseño Definitivo.....	140
<b>TABLA No 4.59:</b> Identificación de las mezclas definitivas.....	141
<b>TABLA No 4.60:</b> Proporcionamiento definitivo para 1 m <sup>3</sup> del diseño GC0-100 .....	141
<b>TABLA No 4.61:</b> Proporcionamiento definitivo para 1 m <sup>3</sup> del diseño GC40-60 .....	142
<b>TABLA No 4.62:</b> Proporcionamiento definitivo para 1 m <sup>3</sup> del diseño GC50-50 .....	143
<b>TABLA No 4.63:</b> Proporcionamiento definitivo para 1 m <sup>3</sup> del diseño GC60-40 .....	144
<b>TABLA No 4.64:</b> Proporcionamiento definitivo para 1 m <sup>3</sup> del diseño GC100-0 .....	145

## **CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS**

<b>TABLA No 5.1:</b> Proporcionamiento en volumen de las mezclas para 1 m <sup>3</sup> ....	149
<b>TABLA No 5.2:</b> Resultados de los ensayos al concreto en estado fresco .....	150
<b>TABLA No 5.3:</b> Revenimientos medidos de las mezclas definitivas.....	153
<b>TABLA No 5.4:</b> Temperaturas promedio de las mezclas definitivas.....	156
<b>TABLA No 5.5:</b> Peso volumétrico promedio de las mezclas definitivas.....	157
<b>TABLA No 5.6:</b> Contenido de aire promedio de las mezclas definitivas .....	158
<b>TABLA No 5.7:</b> Resistencia a la compresión diseño GC0-100.....	161
<b>TABLA No 5.8:</b> Resistencia a la compresión diseño GC40-60.....	162

<b>TABLA No 5.9:</b> Resistencia a la compresión diseño GC50-50.....	163
<b>TABLA No 5.10:</b> Resistencia a la compresión diseño GC60-40.....	164
<b>TABLA No 5.11:</b> Resistencia a la compresión diseño GC100-0.....	165
<b>TABLA No 5.12:</b> Precisión de un operador simple en ensayos de cilindros individuales.....	166
<b>TABLA No 5.13:</b> Coeficientes de variación de las 5 mezclas definitivas para las diferentes edades de ensayo.....	166
<b>TABLA No 5.14:</b> Resistencia a la compresión promedio corregidas .....	174
<b>TABLA No. 5.15:</b> Resumen de resultados promedios de ensayo de resistencia a compresión .....	179
<b>TABLA No 5.16:</b> Resistencia a la flexión diseño GC0-100.....	181
<b>TABLA No 5.17:</b> Resistencia a la flexión diseño GC40-60.....	181
<b>TABLA No 5.18:</b> Resistencia a la flexión diseño GC50-50.....	182
<b>TABLA No 5.19:</b> Resistencia a la flexión diseño GC60-40.....	182
<b>TABLA No 5.20:</b> Resistencia a la flexión diseño GC100-0.....	183
<b>TABLA No 5.21:</b> Resistencia a la tensión por partidura diseño GC0-100.....	187
<b>TABLA No 5.22:</b> Resistencia a la tensión por partidura diseño GC40-60.....	187
<b>TABLA No 5.23:</b> Resistencia a la tensión por partidura diseño GC50-50.....	188
<b>TABLA No 5.24:</b> Resistencia a la tensión por partidura diseño GC60-40.....	188
<b>TABLA No 5.25:</b> Resistencia a la tensión por partidura diseño GC100-0.....	188
<b>TABLA No 5.26:</b> Resultados de espécimen 1, diseño GC 0-100 .....	192
<b>TABLA No 5.27:</b> Resultados de espécimen 2, diseño GC 0-100 .....	193
<b>TABLA No 5.28:</b> Resultados de espécimen 1, diseño GC 40-60 .....	193
<b>TABLA No 5.29:</b> Resultados de espécimen 2, diseño GC 40-60 .....	194
<b>TABLA No 5.30:</b> Resultados de espécimen 1, diseño GC 50-50 .....	194
<b>TABLA No 5.31:</b> Resultados de espécimen 2, diseño GC 50-50 .....	195
<b>TABLA No 5.32:</b> Resultados de espécimen 1, diseño GC 60-40 .....	195
<b>TABLA No 5.33:</b> Resultados de espécimen 2, diseño GC 60-40 .....	196
<b>TABLA No 5.34:</b> Resultados de espécimen 1, diseño GC 100-0 .....	196

<b>TABLA No 5.35:</b> Resultados de espécimen 2, diseño GC 100-0 .....	197
<b>TABLA No 5.36:</b> Modulo de elasticidad estático promedio para cada combinación .....	198
<b>TABLA No 5.37:</b> Velocidad de pulso a través del concreto diseño GC0-100 .	199
<b>TABLA No 5.38:</b> Velocidad de pulso a través del concreto diseño GC40-60 .	199
<b>TABLA No 5.39:</b> Velocidad de pulso a través del concreto diseño GC50-50 .	200
<b>TABLA No 5.40:</b> Velocidad de pulso a través del concreto diseño GC60-40 .	200
<b>TABLA No 5.41:</b> Velocidad de pulso a través del concreto diseño GC100-0 .	200
<b>TABLA No 5.42:</b> Modulo de elasticidad dinámico promedio para cada combinación .....	200
<b>TABLA No 5.43:</b> Combinación granulométrica de agregado grueso y fino de la mezcla GC100-0.....	202
<b>TABLA No 5.44:</b> Combinación granulométrica de agregado grueso y fino de la mezcla GC40-60.....	202
<b>TABLA No 5.45:</b> Combinación granulométrica de agregado grueso y fino de la mezcla GC50-50.....	203
<b>TABLA No 5.46:</b> Combinación granulométrica de agregado grueso y fino de la mezcla GC60-40.....	203
<b>TABLA No 5.47:</b> Combinación granulométrica de agregado grueso y fino de la mezcla GC100-0.....	204

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPÍTULO II:

#### MARCO TEÓRICO

#### COMPONENTES DEL CONCRETO

<b>FIGURA No 2.1:</b> Clasificación de los agregados .....	23
<b>FIGURA No 2.2:</b> Optimización del tamaño máximo del agregado en concretos con diferente nivel de resistencia .....	29
<b>FIGURA No 2.3:</b> Influencia del tamaño máximo del agregado en la permeabilidad del concreto .....	30
<b>FIGURA No 2.4:</b> Granulometría ideal de agregado para concreto.....	43
<b>FIGURA No 2.5:</b> Carta del factor de grosor y trabajabilidad (shilstone 1990) ...	47

### CAPÍTULO IV:

#### DISEÑO Y PROPOCIONAMIENTO DE MEZCLAS DE CONCRETO

<b>FIGURA No 4.1:</b> Yacimiento de LA CANTERA. ....	69
<b>FIGURA No 4.2:</b> Perforación con driller.....	70
<b>FIGURA No 4.3:</b> Cargado por pala mecánica.....	71
<b>FIGURA No 4.4:</b> Transporte de materiales.....	71
<b>FIGURA No 4.5:</b> Proceso de trituración.....	72
<b>FIGURA No 4.6:</b> Bandas transportadoras. ....	72
<b>FIGURA No 4.7:</b> Acopio del material.....	73
<b>FIGURA No 4.8:</b> Maquina ALTEX. ....	73
<b>FIGURA No 4.9:</b> Planta de extracción y lavado de arena natural en el río Tihuapa. .....	74
<b>FIGURA No 4.10:</b> Extracción de arena, rio Tihuapa. ....	75
<b>FIGURA No 4.11:</b> Proceso de lavado de arena.....	75

<b>FIGURA No 4.12:</b> Proceso de cribado y evacuación del material de sobre tamaño. ....	76
<b>FIGURA No 4.13:</b> Tornillos sin fin (Gusanos helicoidales).....	77
<b>FIGURA No 4.14:</b> Producto final arena natural lavada industrialmente. ....	77
<b>FIGURA No 4.15:</b> Curva granulométricas de gravas No 3/4 Altex (TMN ¾”) contra límites de la granulometría No 67 establecidos por la norma ASTM C-33 .....	81
<b>FIGURA No 4.16:</b> Curva granulométricas de gravas No 3 Altex (TMN 1 ½”) contra límites de la granulometría No 4 establecidos por la norma ASTM C-33 .....	81
<b>FIGURA No 4.17:</b> Curva granulométrica de Arena Lavada Industrialmente contra límites granulométricos de agregado fino (ASTM C-33).....	83
<b>FIGURA No 4.18:</b> Ensayo de Revenimiento .....	84
<b>FIGURA No 4.19:</b> Ensayo de Temperatura .....	85
<b>FIGURA No 4.20:</b> Ensayo de Peso Volumétrico.....	85
<b>FIGURA No 4.21:</b> Medidor Tipo B .....	86
<b>FIGURA No 4.22:</b> Moldeado de especímenes cilíndricos .....	87
<b>FIGURA No 4.23:</b> Compresión de cilindros .....	87
<b>FIGURA No 4.24:</b> Ensayo de resistencia a la flexión.....	88
<b>FIGURA No 4.25:</b> Ensayo de Tensión por Partidura .....	89
<b>FIGURA No 4.26:</b> Ensayo de Modulo de Elasticidad estático.....	90
<b>FIGURA No 4.27:</b> Ensayo de Modulo de Elasticidad Dinámico .....	91
<b>FIGURA No 4.28:</b> Curva granulométrica de agregado fino.....	93
<b>FIGURA No 4.29:</b> Curva granulométrica de agregado grueso: Grava ¾” contra límites de la granulometría de tamaño No 67 (ASTM C-33).....	94
<b>FIGURA No 4.30:</b> Curva granulométrica de agregado grueso: Grava 1 ½” contra límites de la granulometría de tamaño No 4 (ASTM C-33).....	95
<b>FIGURA No 4.31:</b> Resultados del ensayo de impurezas orgánicas.....	100
<b>FIGURA No 4.32:</b> Comparación de combinaciones granulométricas teóricas con granulometría No 4 de ASTM C-33.....	103

<b>FIGURA No 4.33:</b> Comparación de combinaciones granulométricas teóricas con granulometría No 467 de ASTM C-33.....	104
<b>FIGURA No 4.34:</b> Curva granulométrica de agregado grueso (combinación 40-60).....	106
<b>FIGURA No 4.35:</b> Curva granulométrica de agregado grueso (combinación 50-50).....	107
<b>FIGURA No 4.36:</b> Curva granulométrica de agregado grueso (combinación 60-40).....	108
<b>FIGURA No 4.37:</b> Curvas resumen de combinaciones granulométricas de laboratorio del agregado grueso .....	109
<b>FIGURA No 4.38:</b> Curva de densidad de combinaciones de agregado grueso. ....	111
<b>FIGURA No 4.39:</b> Revenimiento cero (Prueba No 1). ....	117
<b>FIGURA No 4.40:</b> Revenimiento en mezcla no cohesiva luego de adicionarle 1.5 litros de agua (Prueba 1). ....	117
<b>FIGURA No 4.41:</b> Ensayo de Revenimiento (Prueba 2). ....	120
<b>FIGURA No 4.42:</b> Ensayo de Revenimiento (Prueba 3). ....	123
<b>FIGURA No 4.43:</b> Ensayo de Revenimiento (Prueba No 4).....	127
<b>FIGURA No 4.44:</b> Ensayo de Revenimiento (Prueba 6). ....	134
<b>FIGURA No 4.45:</b> Revenimiento obtenido en la mezcla MP-7 (diseño definitivo) .....	140
<b>FIGURA No 4.46:</b> Grafico de proporcionamiento del diseño GC0-100 .....	142
<b>FIGURA No 4.47:</b> Grafico de proporcionamiento del diseño GC40-60 .....	143
<b>FIGURA No 4.48:</b> Grafico de proporcionamiento del diseño GC50-50 .....	144
<b>FIGURA No 4.49:</b> Grafico de proporcionamiento del diseño GC60-40 .....	145
<b>FIGURA No 4.50:</b> Grafico de proporcionamiento del diseño GC100-0 .....	146

**CAPÍTULO V:  
ANÁLISIS DE RESULTADOS**

<b>FIGURA No 5.1:</b> Revenimientos obtenidos en las mezclas definitivas .....	151
<b>FIGURA No 5.2:</b> Revenimientos medidos de las mezclas definitivas .....	153
<b>FIGURA No 5.3:</b> Comparación de curvas granulométricas de agregado grueso de las diferentes mezclas definitivas.....	154
<b>FIGURA No 5.4:</b> Temperaturas promedio de las mezclas definitivas .....	156
<b>FIGURA No 5.5:</b> Peso volumétrico promedio de las mezclas definitivas .....	157
<b>FIGURA No 5.6:</b> Contenido de aire promedio de las mezclas definitivas .....	158
<b>FIGURA No. 5.7:</b> Relación entre revenimiento y contenido de aire de las mezclas definitivas .....	159
<b>FIGURA No 5.8:</b> Diferentes tipos de falla que pueden ocurrir en el ensayo a la compresión de especímenes de concreto.....	160
<b>FIGURA No 5.9:</b> Variación de la resistencia a compresión diseño GC0-100..	169
<b>FIGURA No 5.10:</b> Variación de la resistencia a compresión diseño GC40-60	170
<b>FIGURA No 5.11:</b> Variación de la resistencia a compresión diseño GC50-50	171
<b>FIGURA No 5.12:</b> Variación de la resistencia a compresión diseño GC60-40	172
<b>FIGURA No 5.13:</b> Variación de la resistencia a compresión diseño GC100-0	173
<b>FIGURA No 5.14:</b> Comparación de la evolución de resistencia a compresión en las mezclas de agregado combinado.....	180
<b>FIGURA No 5.15:</b> Comparación de la evolución de resistencia a flexión en las mezclas de agregado combinado .....	186
<b>FIGURA No 5.16:</b> Comparación de la evolución del esfuerzo de tensión por partidura en las mezclas de agregado combinado .....	191
<b>FIGURA No 5.17:</b> Comparación de los Módulos de elasticidad estático.....	198
<b>FIGURA No 5.18:</b> Comparación de los Módulos de elasticidad dinámico.....	201
<b>FIGURA No 5.19:</b> Comparación de resultados de mezclas en definitivas en la carta de grosor y trabajabilidad (Shilstone 1990). .....	205

## INTRODUCCIÓN

La Construcción Civil tiene como años de desarrollo, los mismos que tiene el hombre evolucionando y mejorando sus condiciones de vida en la sociedad, por ello hablar de concreto es hablar de evolución. A lo largo de ese camino en búsqueda de satisfacer dichas necesidades de hábitat, el hombre fue incursionando con diferentes técnicas de construcción, ideando mezclas basadas en piedras, agua y otros agregados que han existido desde tiempos muy antiguos, los cuales en sus comienzos fracasaron en resistencia y otras propiedades fundamentales, hasta llegar gracias al uso de métodos de ensayos experimentales a satisfacer la demanda existente.

Así es como el concreto se ha convertido en el principal material de construcción, empleado en la edificación de diversos elementos estructurales, ya sean vigas, columnas, losas de techo, losas de piso, zapatas, pilotes, muros de contención, estructuras hidráulicas, entre otras. El concreto de uso común, o convencional, se produce mediante la mezcla de tres componentes esenciales, cemento, agua y agregados, a los cuales eventualmente se incorpora un cuarto componente que genéricamente se designa como aditivo.

Para mejorar el comportamiento del concreto, se han realizado a través de los años múltiples investigaciones basadas en el estudio de los componentes de este, obteniéndose excelentes resultados. Las investigaciones han consistido principalmente en variar ciertos parámetros en el diseño de las mezclas, como lo es el tipo de cemento, inclusión de aditivos, la relación agua-cemento, la proporción de agregados (tanto finos como gruesos), la granulometría, tamaño máximo nominal, etc. Todo orientado a determinar su comportamiento y mejorar sus propiedades.

En este trabajo se cuantifican los efectos de las combinaciones del agregado grueso en la calidad del concreto, introduciéndola como variable para el diseño de las mezclas. Para ello se elaboraron mezclas y se realizaron los ensayos requeridos para el logro de los objetivos planteados. El procedimiento utilizado consistió en elegir 2 granulometrías de agregados gruesos de diferente tamaño máximo nominal, elaborando 5 diseños de mezcla: un diseño de mezcla para cada tipo de granulometría y 3 diseños de mezclas con la combinación de cada tipo de granulometría en diferentes proporciones, considerando mantener fijo: el tipo de cemento, el contenido de cemento, y la relación agua-cemento.

El objetivo de emplear granulometrías combinadas surge de la necesidad de conocer el comportamiento de las principales propiedades del concreto como lo son la resistencia y la trabajabilidad.

El trabajo se inició con la recopilación de datos, sobre el proceso de producción de los agregados.

Se explicarán las metodologías de investigación consistentes en fuentes bibliográficas, visitas técnicas, reuniones tanto con asesores y profesionales externos, entre otras cosas. Además se describirán las características propias de este tipo de agregado.

En la siguiente etapa, se efectuaron ensayos y pruebas de comportamiento del concreto hidráulico, producto de la combinación de agregados gruesos. La finalidad es analizar las propiedades del concreto bajo estas condiciones, que nos permitan determinar si es recomendable emplear agregados de mayor tamaño, así como granulometrías combinadas.

# CAPITULO I

## GENERALIDADES

## **1.1 INTRODUCCIÓN**

El presente documento contiene las partes que definen la proyección de nuestra investigación que corresponde al trabajo de graduación titulado: “Evaluación de las propiedades mecánicas de diseños de mezclas de concreto hidráulico empleando granulometrías combinadas”; el cual está enfocado a la elaboración de diversas mezclas de concreto utilizando la combinación de dos gravas de granulometrías diferentes, con el fin de determinar la incidencia que esto puede tener en el comportamiento del mismo, tanto en estado fresco, como en estado endurecido.

El trabajo comprende una parte teórica, la cual se orienta al proceso de investigación, recopilando información diversa concerniente al tema como: antecedentes, investigaciones previas, conceptos relacionados, entre otras. Además, comprenderá una parte experimental que se llevará a cabo mediante la realización de ensayos al concreto hidráulico.

En este se presentan los antecedentes de la investigación, en los cuales se comenta el origen del tema y las investigaciones previas que se han realizado en torno a éste a lo largo de los años.

También se presentan el planteamiento del problema, los objetivos que se pretenden alcanzar y la importancia que tiene esta investigación para la industria del concreto.

En este apartado también se delimita el trabajo de graduación, de modo que se adecue al tiempo máximo con el que se cuenta para realizarlo, sin perder la representatividad de los resultados a obtener, finalizando con la justificación por la cual se llevara a cabo este trabajo de investigación.

## **1.2 ANTECEDENTES**

El concreto es uno de los materiales de más uso en la construcción a nivel Mundial, y la necesidad de obtener concretos con las resistencias deseadas, 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, logrando así, que estos cumplan con los requisitos de calidad.

Se sabe 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.

Antiguamente se decía que los agregados (gruesos y finos) eran elementos inertes dentro del concreto, ya que no intervenían directamente dentro de las reacciones químicas. En la tecnología moderna se establece que siendo éste material el que mayor porcentaje de participación (60% a 75% del volumen del concreto) tendrá dentro de la unidad cúbica del concreto, sus propiedades y características influyen en todas las propiedades del mismo. La influencia de los agregados en las propiedades del concreto tiene efectos importantes no sólo en el acabado y calidad final de éste, sino también sobre la trabajabilidad y consistencia al estado plástico, así como sobre la durabilidad, resistencia, propiedades elásticas y térmicas, y en el peso unitario del concreto endurecido.

Es por eso que la granulometría del agregado es uno de los parámetros más importantes empleados para la dosificación del concreto. En ocasiones se analiza el agregado con el uso de granulometrías combinadas de agregados finos y gruesos, de la misma manera como se presentarán en el concreto.

Esto provee un análisis más minucioso de cómo los agregados actuarán en éste. Algunas veces hay una carencia de tamaños medianos en los agregados de aproximadamente 9.5 mm (3/8 plg), afectando el comportamiento del concreto en estado fresco ocasionando: alta contracción, alta demanda de agua, baja

trabajabilidad, baja bombeabilidad y dificultad de colocación, así como en estado endurecido, la resistencia y la durabilidad se pueden ver afectadas.

Shilstone (1990) presenta graficas correspondientes a la granulometría óptima del agregado. Sin embargo, la granulometría ideal no existe en el campo, pero podemos acercarnos a ella. Se debe considerar el uso de agregados alternativos, combinación o tamizados especiales de agregados existentes si se presentan problemas debido a la granulometría pobre. La granulometría combinada se puede usar para mejorar y controlar la trabajabilidad, la bombeabilidad, la retracción, además de otras propiedades del concreto.

Abrams (1918) y Shilstone (1990) demostraron los beneficios del análisis del agregado combinado estableciendo lo siguiente:

- Para un contenido constante de cemento y una consistencia constante, existe una combinación óptima de agregados que producirá la relación agua-cemento más eficiente y la mayor resistencia.
- La mezcla óptima tiene la menor interferencia de las partículas y responde mejor a los vibradores de alta frecuencia y alta amplitud.

Sin embargo, la mezcla óptima no se puede utilizar en todas las obras, debido a la variación de las necesidades de colocación y acabado, así como de la disponibilidad de los agregados.

Crouch (2000) encontró en su estudio de concretos con aire incluido, que la relación agua-cemento podría reducirse más del 8% con el uso de la granulometría combinada. Shilstone (1990) también analizó la gradación del agregado, a través de factores de aspereza y trabajabilidad, para mejorar la granulometría del agregado.

Finalmente, como ejemplo más significativo de la aplicación de granulometrías combinadas, es el que tuvo la Compañía Cranesville Block, la cual experimento por primera vez con una especificación de granulometría de agregados combinados, cuando la planta de Amsterdam, NY, suministró 4,600 metros cúbicos de concreto premezclado para la pavimentación de un campo de

aterrizaje. Para satisfacer esto, Cranesville Block tuvo que combinar cuatro agregados gruesos y un agregado fino. El control del proceso de producción de agregados, combinación, pruebas y producción del concreto constituyó la clave para la terminación exitosa de esta obra. La Fuerza Aérea de Estados Unidos, adoptó posteriormente este método para proporcionar el concreto para los pavimentos de campos de aterrizaje, el cual fue incluido en el manual de la Fuerza Aérea a partir de 1996.

En El Salvador, se han realizado investigaciones basadas en el uso de diferentes combinaciones de agregados, pero generalmente enfocadas en la sustitución de la arena natural por arenas trituradas o lavadas industrialmente. Y no se tienen antecedentes sobre el empleo de combinaciones de agregados gruesos de diferentes granulometrías, es decir de gravas de diferentes tamaños máximos nominales, en el diseño de mezclas de concreto.

Por lo que esta investigación, pretende evaluar las propiedades mecánicas de diseños de mezclas de concreto hidráulico combinando dos granulometrías de agregados gruesos de diferentes tamaños máximos nominales, manteniendo fijo los demás parámetros involucrados en el diseño de la mezcla y así determinar cómo influye principalmente en las características de resistencia y durabilidad.

### **1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El concreto es uno de los materiales de construcción más utilizados en nuestro país para la ejecución de obras civiles; y debido al crecimiento de la población y las necesidades de la misma, la demanda de este material para infraestructura se mantiene a la alza. Por ello, surge la necesidad de estudiar las propiedades y características del concreto, así como los parámetros que se ven influenciados por la calidad de sus componentes. La importancia de utilizar agregados de buena calidad en el concreto radica en el alto porcentaje de volumen que estos ocupan en la mezcla. La granulometría y el tamaño máximo de las partículas también son importantes debido a su efecto en las proporciones relativas de los

agregados, así como en los requisitos de agua y cemento, la trabajabilidad, capacidad de bombeo, economía, porosidad y durabilidad del concreto. En cuanto a la granulometría del agregado fino, en la norma ASTM C-33 solamente se especifica un rango de tamaños de partículas y generalmente es satisfactoria para la mayoría de los concretos.

Por otro lado, para las gravas o agregado grueso se especifican trece rangos de diferentes granulometrías; de las cuales, no se especifica la utilización de una en particular para la elaboración de mezclas de concreto.

En el país no se cuenta con todos los tamaños de agregado grueso que establece la norma ASTM C-33; además que no se cuenta con mucha información sobre la combinación de diferentes granulometrías, siendo interesante evaluar el comportamiento de las mezclas de concreto bajo estas circunstancias.

Hasta la fecha en el país no se registra documentación acerca del empleo de combinaciones de agregados gruesos de diferentes granulometrías en la elaboración de mezclas de concreto.

Por lo que en este trabajo, se pretende estudiar el efecto que tiene la combinación de agregados gruesos de diferentes granulometrías, en las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido. Para lo cual, se realizará el diseño de mezclas con dos granulometrías de agregados gruesos, así como las combinaciones en distintas proporciones de estas.

Se tomará como referencia el diseño de 5 mezclas de concreto, manteniendo constantes los siguientes parámetros: el tipo de cemento, cantidad de cemento y relación agua-cemento; con el fin de evitar una alta variabilidad y dispersión de los resultados.

De este modo se espera ser capaces de evaluar los efectos en la resistencia y en la durabilidad en este tipo de mezclas.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 OBJETIVO GENERAL:**

Evaluar las propiedades mecánicas de mezclas de concreto hidráulico empleando granulometrías combinadas.

### **1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Investigar los fundamentos teóricos relacionados con los agregados gruesos y la combinación de estos, así como su uso e influencia en la elaboración de concreto.
- Realizar una investigación de campo para conocer los diferentes tamaños de agregados gruesos que se producen en una de las canteras del país, de la cual se seleccionarán dos tipos de granulometrías para el diseño de mezclas.
- Verificar la calidad de los agregados y determinar si sus características cumplen con lo establecido en la norma ASTM C-33.
- Diseñar 5 mezclas de concreto hidráulico, considerando la combinación de dos gravas de granulometrías diferentes, manteniendo fijo el tipo de cemento, cantidad de cemento y relación agua/cemento.
- Determinar las propiedades del concreto en estado fresco para cada uno de los diseños realizados, por medio de los ensayos de revenimiento, temperatura, contenido de aire y peso volumétrico.
- Determinar las propiedades del concreto en estado endurecido para cada uno de los diseños realizados, mediante los ensayos de resistencia a compresión, módulo de ruptura, tensión por partidura, módulo de elasticidad estático y dinámico.

- Analizar e interpretar el comportamiento del concreto, a través de los resultados de los ensayos realizados a éste en estado fresco y endurecido.
- En base al comportamiento del concreto en estado fresco y endurecido, establecer cuáles son las ventajas y las desventajas que representa el uso de granulometrías combinadas en la elaboración del concreto.

### **1.5 ALCANCES**

La investigación a desarrollar en el presente trabajo está enfocada a la evaluación de las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido con la utilización de granulometrías combinadas, así como a la influencia que estas combinaciones pueden tener en la resistencia del mismo y en la durabilidad de las estructuras. El trabajo a realizar comprende el diseño y verificación de 5 mezclas de concreto con un  $f'c$  de  $280 \text{ kg/cm}^2$  utilizando la combinación de dos gravas con granulometrías distintas.

Se realizará 2 mezclas de referencia, de las cuales: la primera de ellas tendrá como proporción de agregado grueso el 100% de una de las gravas a combinar; mientras que la segunda comprenderá el 100% de la otra. Para los tres diseños restantes se trabajará con la combinación de ambas granulometrías en diferentes proporciones.

Para ser capaces de determinar la influencia de la combinación de agregados en la mezcla de concreto, se propone mantener ciertos parámetros fijos, los cuales serán: el tipo de cemento, contenido de cemento y la relación agua/cemento de la mezcla. Esto tiene como finalidad observar y analizar el comportamiento del concreto únicamente con el ajuste de las proporciones en el agregado grueso.

Con los 5 diseños de mezclas obtenidos se pretende evaluar las diferentes propiedades mecánicas del concreto en estado endurecido; así como las características de mayor relevancia en estado fresco.

Para el concreto en estado endurecido se pretende evaluar: la resistencia a la compresión, módulo de ruptura, tensión por partidura, módulo de elasticidad

estático, módulo de elasticidad dinámico, coeficiente de contracción y coeficiente de expansión.

Y en estado fresco se verificará: revenimiento, temperatura, contenido de aire y peso volumétrico.

Con los resultados obtenidos se espera determinar si las mezclas de concreto utilizando granulometrías combinadas tienen una notable incidencia en la resistencia y durabilidad de las estructuras.

## **1.6 LIMITACIONES**

El desarrollo de este trabajo de graduación se verá limitado por los siguientes aspectos:

- El tiempo máximo de realización con el que se dispone para desarrollarlo, de acuerdo al reglamento de la Universidad en relación a los trabajos de graduación, es solo de ocho meses, que puede generar un considerable riesgo para investigar este tema ya que implica la ejecución de ensayos de laboratorio que requieren periodos de hasta 28 días .
- Se diseñaran 5 mezclas de concreto hidráulico correspondiente a resistencias a la compresión de 280 kg/cm<sup>2</sup>.
- Los agregados: grava y arena a utilizar serán provenientes de La Cantera S.A de C.V.
- Los resultados obtenidos se limitaran únicamente para la combinación de gravas de granulometrías cuyos tamaños máximos nominales sean de ¾” y 1 ½”.
- Los resultados se limitaran a concretos elaborados con cemento ASTM C-1157 tipo HE, así como a una cantidad de cemento y relación agua-cemento fijas especificadas en el trabajo de graduación.

- Algunas pruebas se verán limitadas al apoyo de la Fundación ISCYC (Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto) para su realización ya que el laboratorio de la Universidad de El Salvador no cuenta con los equipos necesarios para realizar estas pruebas.

## **1.7 JUSTIFICACIÓN**

La mezcla de diferentes agregados para satisfacer un requisito de granulometría de agregados representa para las empresas productoras de concreto un grado de complejidad mayor del habitual en la realización del control de calidad.

El propósito de combinar los agregados es el de producir un concreto con una "transición relativamente suave entre el agregado grueso y el agregado fino" que no tenga un valle o cresta muy notable con los límites establecidos en las especificaciones de agregados para concreto.

Para asegurar los requisitos de calidad se recomienda que los agregados gruesos cumplan con las especificaciones de ASTM C-33, pero ya que no se recomienda ninguna granulometría específica de ese estándar se pretende realizar diseños de mezclas utilizando dos granulometrías de agregados gruesos de diferente tamaño máximo nominal, así como combinaciones de ambas con el propósito de evaluar los beneficios de emplear granulometrías de agregados gruesos de mayor tamaño a los generalmente utilizados en la construcción de estructuras de concreto, así como en los casos particulares, donde se requieran grandes volúmenes de concreto y la obra permita el uso de agregados de mayor tamaño, ya que el empleo de estos tienen la ventaja de disminuir la demanda de cemento, que es el elemento de mayor costo en la elaboración de concreto, y debido a que es un tema poco estudiado y existe mucha incertidumbre sobre el comportamiento que tendrá el concreto bajo estas condiciones.

Es por ello que surge la necesidad de continuar con investigaciones relacionadas a mejorar y crear alternativas referentes a mezclas de concreto que se puedan emplear en el país, con la finalidad de lograr avances técnicos y económicos en

la misma, así como establecer premisas que puedan servir de apoyo para investigaciones futuras.

**CAPITULO II**

**MARCO TEÓRICO**

**COMPONENTES DEL CONCRETO**

## **2.1 GENERALIDADES**

Antiguamente el concreto, en su concepto más general era una masa compuesta por materiales pétreos ligados con productos aglomerantes. Fue utilizado por el hombre en la construcción de diversas obras; muchas de las cuales causan admiración en la actualidad, por su magnitud, belleza, resistencia y extraordinaria durabilidad.

En el desarrollo tecnológico de éste se pueden distinguir diferentes avances logrados por las distintas civilizaciones, en el periodo comprendido entre 7000 años antes de Cristo hasta las cercanías del siglo I A.C. se utilizaron aglomerantes en la unión de bloques constituidos tanto por materiales naturales (roca) como elaborados (ladrillos).

Aparentemente el primer aglomerante conocido fue la arcilla, utilizado principalmente en las construcciones Babilónicas y Asirias, posteriormente se utilizó el yeso, y finalmente los griegos emplearon aglomerantes en base a calces grasas simples, material que aparentemente fue utilizado por civilizaciones más antiguas.

Los romanos en el siglo I A.C. también lograron importantes desarrollos tecnológicos, los cuales permitieron obtener un concreto semejante al que se conoce en la actualidad, esto permitió construir elementos de grandes dimensiones y de gran belleza, resistencia y durabilidad.

Un ejemplo de las obras de concreto realizadas por los romanos es el domo del panteón romano, construido en el siglo I D.C., de 43.4 metros de diámetro, que en la actualidad se mantiene en un buen estado de conservación luego de casi XX siglos de existencia.

En el siglo XIX con el desarrollo del concreto a través de la obtención del cemento como ligante hidráulico, la tecnología del concreto adquirió de inmediato un extraordinario ritmo de perfeccionamiento debido a la investigación aplicada.

El cemento fue desarrollado a partir de investigaciones hechas por el francés Vicat en 1818 y del escocés Aspdin, siendo patentado por este último en 1824

con el nombre de cemento portland, por la similitud del producto obtenido con las rocas de la isla de ese nombre.

El concreto se define como un material que está compuesto principalmente por agregados, cemento y agua. Eventualmente este contiene también aditivos que se emplean para modificar algunas de sus propiedades.

Los agregados son materiales inorgánicos de origen pétreo, cuyo objeto es construir un esqueleto inerte para el concreto.

La pasta de cemento se conforma por el cemento hidráulico, agua y aire atrapado, esta constituye el aglomerante activo del concreto.

Al mezclarse todos estos materiales homogéneamente se forma una masa plástica y trabajable, a la cual se le pueden conferir propiedades apropiadas para ser moldeada en la forma que se desee y compactada con relativa facilidad, perdiendo estas características gradualmente hasta que al cabo de algunas horas se torna rígida y comienza a adquirir el aspecto, comportamiento y propiedades de un cuerpo sólido. Finalmente se convierte en un material mecánicamente resistente que se conoce como concreto endurecido.

La capacidad resistente del concreto es una propiedad importante para diseñar y construir obras de ingeniería. En resumen el concreto tiene las siguientes ventajas:

- Posibilidad de producción utilizando materiales fáciles de obtener en cualquier país del mundo.
- Facilidad para otorgarle cualquier forma debido a su plasticidad.
- Posibilidad de anticipar y adaptar sus características a cualquier tipo de obra.
- Posibilidad de utilizar recursos simples o complejos según la naturaleza de la obra.
- Buena durabilidad y resistencia a condiciones ambientales desfavorables.

Todas estas características hacen del concreto un material de construcción utilizado ampliamente para la construcción de obras de ingeniería; sin embargo, para su uso se requiere un amplio conocimiento de sus propiedades.

## **2.2 CEMENTO**

El cemento es un polvo químico finísimo de color gris, que al mezclarse con el agua adquiere propiedades aglutinantes, tanto adhesivas como cohesivas, las cuales le dan la capacidad de mantener a los agregados unidos en el concreto, para formar un todo compacto.

Al mezclar el cemento con el agua se forma una pasta que fragua y endurece al reaccionar químicamente con ésta, a dicha reacción se le conoce como hidratación; por lo cual se conoce al cemento como un aglomerante hidráulico.

El cemento se obtiene mediante un proceso de fabricación que utiliza principalmente dos materias primas: caliza, con un alto contenido de cal en forma de óxidos de calcio, y un componente rico en sílice, constituido normalmente por arcilla o eventualmente por una escoria de alto horno.

Estos materiales son mezclados en cantidades apropiadas y sometidos a un proceso en un horno rotatorio, del cual se obtiene un material granular denominado Clinker, constituido por 4 compuestos básicos:

- Silicato tricálcico
- Silicato dicálcico
- Aluminato tricálcico
- Ferro aluminato tetracálcico

El Clinker se somete a molienda en molinos de bolas hasta que es convertido en polvo, adicionándose una proporción de yeso de alrededor de un 5% de su peso, la función de este será regular el proceso de fraguado de la pasta de cemento.

Durante la molienda se pueden agregar otros productos, constituyendo así los cementos portland con adiciones o especiales, que además de mantener las propiedades típicas de fraguado y resistencia, poseen otras cualidades

relacionadas con la durabilidad, resistencia química y otras. Entre los productos más comúnmente adicionados en la molienda están las puzolanas, las cenizas volantes y las escorias de alto horno.

### **2.2.1 CLASIFICACIÓN DEL CEMENTO**

Se fabrican diferentes tipos de cementos que varían en su composición, en sus propiedades de resistencia y durabilidad. Los cementos portland se producen de acuerdo con las especificaciones: ASTM C-150 (Especificaciones estándar para cemento portland), AASHTO M-85 (Especificaciones para el cemento portland) y ASTM C-1157 (Especificaciones de desempeño para los cementos hidráulicos).

#### **Cementos elaborados bajo la norma ASTM C-150:**

La TABLA No 2.1 muestra una breve revisión de los cementos elaborados según la norma ASTM C-150.

#### **Cementos elaborados bajo la norma ASTM C-1157:**

Los cementos ASTM C-1157 cumplen con requisitos de ensayos de desempeño físico, sin tomar en cuenta restricciones de ingredientes o de la composición química del cemento. Este presenta seis tipos de cementos, una revisión de cada uno de ellos se presenta en la TABLA No 2.2.

**TABLA No 2.1:** Revisión de los tipos de cemento ASTM C-150

<b>Tipo I</b>	Este tipo de cemento es para un uso general, se utiliza cuando no son necesarias otras propiedades especiales de otros cementos. Su empleo puede ser en pavimentos, pisos, puentes, tanques, edificios de concreto reforzado, tubería, unidades de mampostería y productos de concreto prefabricado y pre colado.
<b>Tipo II</b>	Este tipo de cemento se utiliza donde sean necesarias precauciones contra el ataque por sulfatos. Se puede utilizar en estructuras normales o en miembros expuestos a suelos o agua subterránea, donde las concentraciones de sulfatos sean más alta que la normal pero no severa.
<b>Tipo III</b>	Este cemento nos permite tener resistencia a edades tempranas normalmente a una semana o menos, este cemento es similar al cemento tipo I, con la única excepción que sus partículas se muelen más finamente, se utiliza cuando es necesario remover los encofrados lo más temprano posible, o cuando la estructura será puesta en servicio rápidamente.
<b>Tipo IV</b>	Este cemento se usa cuando se es necesario minimizar la cantidad de calor de hidratación, debido a esto desarrolla resistencia en una tasa más lenta que otros tipos de cementos. Se puede usar en construcciones donde se deba utilizar concreto masivo, como por ejemplo en grandes presas. Este tipo de cemento rara vez está disponible en el mercado.
<b>Tipo V</b>	El cemento tipo V se utiliza en concretos expuestos a la acción severa de sulfatos, donde el suelo y el agua tiene alta concentración de sulfatos. Este tipo de cemento, al igual que otros cementos, no es resistente a ácidos y a otras sustancias altamente corrosivas.
<b>Cementos Con Aire Incluido</b>	Estos tipos de cemento corresponden a los TIPOS I, II y III, con la única diferencia que en su proceso de producción, se muelen pequeñas cantidades de material incorporador de aire juntamente con el Clinker. Con estos cementos se logra producir concreto con una resistencia a congelamiento y deshielo mayor.

*Fuente: Libro Diseño y Control de Mezclas de Concreto primera edición, por Steven H. Kosmatka, 2004, EE.UU: Portland Cement Association.*

**TABLA No 2.2:** Revisión de los tipos de cemento ASTM C-1157

<b>Tipo GU</b>	Es un cemento de uso general, se utiliza en pavimentos, pisos, edificios de concreto reforzado, puentes y en diferentes aplicaciones donde se usa el cemento tipo I.
<b>Tipo HE</b>	Este tipo de cemento proporciona resistencias a edades tempranas. Se usa de la misma manera que el cemento portland tipo III.
<b>Tipo MS</b>	Este cemento se utiliza donde sean importantes las precauciones contra el ataque moderado por los sulfatos, donde las concentraciones de sulfatos en el agua subterránea son mayores que lo normal pero no llegan a ser severas. Este cemento se utiliza de la misma manera que el cemento portland tipo II.
<b>Tipo HS</b>	El cemento tipo HS se usa para producir concreto expuesto a la acción severa de los sulfatos. Este cemento se emplea de la misma manera que el cemento portland tipo V.
<b>Tipo MH</b>	El cemento tipo MH se usa donde el concreto necesite tener un calor de hidratación moderado. Este cemento se usa de la misma manera que el cemento portland tipo II.
<b>Tipo LH</b>	El cemento tipo LH se utiliza donde la tasa y la cantidad del calor de hidratación deban ser minimizadas. 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 es utilizado de la misma forma que el cemento portland tipo IV.

*Fuente: Libro Diseño y Control de Mezclas de Concreto primera edición, por Steven H. Kosmatka, 2004, EE.UU: Portland Cement Association.*

### 2.3 AGUA DE MEZCLADO

El agua se utiliza para dos propósitos en su calidad de componente del concreto:

- Participa en el proceso de hidratación del cemento, el cual no puede ocurrir sin la presencia de ésta.
- Otorga la trabajabilidad necesaria al concreto, propiedad muy importante para formar un concreto homogéneo y compacto.

Como resultado es un componente fundamental del concreto, ya que su presencia condiciona tanto el desarrollo de las propiedades en su estado fresco como en la etapa de endurecimiento.

Para la producción de concreto se puede utilizar cualquier agua natural que sea potable y que no presente fuerte sabor u olor. Pero también se pueden emplear aguas recicladas o algunas aguas que no se consideran potables.

La TABLA No 2.3 presenta algunas normas que tratan específicamente de la calidad del agua para empleo en morteros y concretos.

**TABLA No 2.3:** Normas de la calidad del agua para empleo en morteros y concretos

<b>País</b>	<b>Norma</b>	<b>Nombre de la norma</b>
Argentina	IRAM 1601	Agua para morteros y concretos de cemento portland.
Chile	Nch 1498.of1982	Concreto - Agua de amasado - Requisitos.
Colombia	NTC 3459	Concretos. Agua para la elaboración de concreto.
Ecuador	1 855-1:01 1 855-2:02	Concreto premezclado; requisitos concreto preparado en obra; requisitos.
EE.UU.	ASTM C-94	Standard specification for ready mixed concrete.
Perú	NTP 339.088-1982	Concreto. Agua para morteros y concretos de cementos portland. Requisitos
México	NMX-C-122-82	Agua para concreto.
Venezuela	CONVENIN 2385:2000	Concreto y mortero. Agua de mezcla. Requisitos.

*Fuente: Libro Diseño y Control de Mezclas de Concreto primera edición (p. 96), por Steven H. Kosmatka, 2004, EE.UU: Portland Cement Association.*

Al emplear agua no potable en la producción de concreto, se debe verificar su desempeño. Se acepta que, en estos casos, el agua puede ser sometida a un ensayo comparativo de resistencias a 7 días en morteros preparados con el agua en estudio y con agua destilada (ASTM C-109 o AASHTO T-106). Si el resultado obtenido en el primero es igual o superior a 90% del segundo, el agua se considera apropiada para su empleo en el concreto. También, se debe garantizar a través de ensayos que las impurezas en el agua de amasado no van a disminuir o aumentar adversamente el tiempo de fraguado del cemento. Las normas ASTM C-94 (AASHTO M 157) y AASHTO T-26 presentan criterios de aceptación para el agua que será usada en el concreto (TABLA No 2.4 y No 2.5).

**TABLA No 2.4:** Criterios de aceptación para abastecimiento de aguas dudosas (ASTM C-94 o AASHTO M-157)

	<b>Limites</b>	<b>Método de ensayo</b>
Resistencia a compresión, porcentaje mínima en relación al control, a los siete días	90	C 109* o T 106
Tiempo de fraguado, diferencia en relación al control, hr:min	De 1:00 más temprano a 1:30 más tarde	C 191* o T 131
* La comparación debe estar basada en proporciones fijas, así como en el mismo volumen de agua de ensayo comparado con una mezcla de control preparada con agua de la ciudad o agua destilada.		

*Fuente: Libro Diseño y Control de Mezclas de Concreto primera edición (p. 96), por Steven H. Kosmatka, 2004, EE.UU: Portland Cement Association.*

**TABLA No 2.5:** Límites químicos para aguas de lavado usadas con agua de mezcla (ASTM C-94 o AASHTO M-157)

Sustancia química o tipo de construcción	Concentración máxima en ppm*	Método de ensayo**
Cloruro, como Cl		ASTM D 512
Concreto pretensado (presfuerzo, preforzado, precomprimido) o concreto para tablero de puentes	500 †	
Otros tipos de concreto reforzado (armado) en ambiente húmedo o conteniendo elementos de aluminio o metales distintos embebidos o cimbras permanentes de metal galvanizado	1,000 †	
Sulfato, como SO <sub>4</sub>	3,000	ASTM D 516
Álcalis, como (Na <sub>2</sub> O + 0.658 K <sub>2</sub> O)	600	
Total de sólidos	50,000	AASHTO T 26
<p>* El agua de lavado usado como agua para la preparación del concreto puede exceder a los límites de concentraciones de cloruros y sulfatos presentados si se puede mostrar que las concentraciones totales calculadas en el agua de mezcla, incluyendo agua de mezcla en los agregados y otras fuentes, no excedan a los límites establecidos.</p> <p>** Se puede usar otros métodos de ensayos que han enseñado resultados semejantes.</p> <p>† Para las condiciones que permitan el uso de aditivos aceleradores a base de CaCl<sub>2</sub>, los compradores pueden ignorar los límites de cloruros.</p>		

*Fuente: Libro Diseño y Control de Mezclas de Concreto primera edición (p. 96), por Steven H. Kosmatka, 2004, EE.UU: Portland Cement Association.*

El exceso de impurezas en el agua de mezcla no sólo puede afectar el tiempo de fraguado y las resistencia del concreto, sino también puede causar eflorescencias, manchado, corrosión del acero de refuerzo, inestabilidad del volumen y reducción de la durabilidad. Por lo tanto, se pueden establecer ciertos límites opcionales para cloruros, sulfatos, álcalis y sólidos en el agua de mezcla o se pueden realizar ensayos adecuados para la determinación del efecto de las impurezas sobre varias propiedades. Algunas impurezas pueden tener un pequeño efecto sobre la resistencia y el tiempo de fraguado, y aún afectar la durabilidad y otras propiedades.

Se puede utilizar satisfactoriamente el agua para la preparación del concreto con menos de 2000 partes por millón (ppm) de sólidos disueltos. El agua que contiene más de 2000 ppm de sólidos disueltos se debe analizar para verificar su efecto sobre la resistencia y el tiempo de fraguado.

La norma ASTM C-1602/C-1602M (Especificación para el agua de mezcla utilizada en la fabricación de concreto de cemento hidráulico) provee una guía en el uso del agua no potable o reciclada.

Esta especificación cubre los requerimientos de composición y el rendimiento para el agua utilizada como agua de mezclado para concreto, en ella se definen las fuentes de agua y establece los requerimientos, y la frecuencia de ensayos que se le realizaran al agua de una sola fuente o de fuentes combinadas, esta norma no abarca los métodos de almacenamiento, transporte o mezcla de agua.

Requisitos para el uso:

Agua de mezclado está compuesta por:

- Agua de una bachada (agua pesada o medida por la planta suministradora).
- Agua añadida por el operador del camión.
- Humedad libre sobre los agregados.
- Agua introducida en la mezcla cuando esta incrementa la relación agua/materiales cementicios por más de 0.01.

Se permite el uso de:

- Agua potable para ser utilizada como agua de mezclado sin pruebas para cumplimiento con los requisitos de ésta especificación.
- Agua de mezclado que está compuesta total o parcialmente de fuentes de agua que no son potables o de agua que proviene de las operaciones de producción de concreto.

Las fuentes de agua no potable deberán estar calificadas para su uso de acuerdo a lo siguiente:

El agua debe ser probada por el cumplimiento de la TABLA No 2.4 antes del primer uso y después cada tres meses o con mayor frecuencia cuando haya razones para creer que se ha producido un cambio en las características de la fuente. Las pruebas se permiten hacer a una menor frecuencia al menos cada

año cuando los resultados de cuatro pruebas consecutivas indican el cumplimiento de la TABLA No 2.4.

El fabricante debe mantener evidencia documentada de que las características del agua de mezcla combinada cumplen con los requerimientos de la TABLA No 2.5. Estas pruebas se llevarán a cabo antes del primer uso y después cada 6 meses o con mayor frecuencia cuando haya una razón para creer que se ha producido un cambio en las características de la fuente.

Para las fuentes de agua de las operaciones de producción de concreto, propuestas para ser utilizadas como agua total de mezclado o agua de mezclado combinada se aplicará lo siguiente: La densidad de la fuente de agua de concreto premezclado se ensayará por lo menos sobre una base diaria, de acuerdo con el método de prueba ASTM C-1603 (Método de prueba para la medición de sólidos en el agua) o monitoreada con un hidrómetro que se ha verificado de acuerdo con la misma norma.

## **2.4 ADITIVOS**

Los aditivos son productos que se adicionan a la mezcla inmediatamente antes o durante el mezclado generalmente en pequeñas cantidades, para poder modificar algunas de las propiedades originales del concreto.

El uso de éstos se ha ido generalizando hasta el punto de constituir actualmente un componente habitual en el concreto, estos deben cumplir con la especificación ASTM C-494 (Especificación Estándar para Aditivos Químicos para Concreto), existen una gran cantidad de aditivos, entre ellos podemos encontrar los siguientes:

- Aditivos incorporadores de aire
- Aditivos reductores de agua
- Plastificantes
- Aditivos aceleradores
- Aditivos retardadores

- Aditivos de control de la hidratación
- Inhibidores de corrosión
- Reductores de retracción
- Inhibidores de reacción álcali-agregado
- Aditivos colorantes

## 2.5 AGREGADOS

Los agregados son partículas de forma granular que constituyen entre el 60% y el 75% del volumen total del concreto y que aglomerados por el cemento, conforman el esqueleto inerte del concreto, estas partículas se originan por fragmentación de las rocas de la corteza terrestre, ya sea en forma natural o artificial. Su estudio es más que justificado ya que las propiedades de estos influyen en la resistencia, rigidez y durabilidad del concreto.

### 2.5.1 CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS

Las diferentes características en los agregados permiten clasificarlos e identificarlos. En la FIGURA No 2.1 se presenta una gráfica de las diferentes clasificaciones del agregado grueso.



## **PROCEDENCIA**

*Agregados naturales:* Son agregados provenientes de la explotación de fuentes naturales tales como depósitos fluviales (arenas y gravas de ríos) o de canteras de diversas rocas. Estos se aprovechan en su gradación natural o triturándolos mecánicamente.

*Agregados artificiales:* Este tipo de agregados se obtienen a partir de productos y procesos industriales (materiales sintéticos como las escorias granuladas, limaduras metálicas y poliuretanos).

## **DENSIDAD**

Los agregados se clasifican según su densidad en pesados, livianos y normales. Los agregados pesados tiene una densidad entre 2,400 y 2,800 Kg/m<sup>3</sup>, y generalmente están compuestos de minerales de hierro (Magnetita, piritita, etc.); los livianos son de origen volcánico y tienen densidades entre 320 y 1,600 Kg/m<sup>3</sup> (arcilla expansiva, esquistos, etc.); los normales provienen de las rocas superficiales y tienen densidades entre 2,100 y 2,400 Kg/m<sup>3</sup> (cuarzos, calizas, granitos, etc.). Según la densidad del agregado los concretos se clasifican en livianos, pesados y normales, siendo éstos últimos los de uso continuo.

## **GRADACIÓN**

La forma más generalizada de clasificar los agregados es según su tamaño, el cual varía desde fracciones de milímetros hasta varios centímetros en su sección transversal. Esta distribución de tamaños se conoce como distribución granulométrica y es la base de la fabricación de mortero y concreto.

De acuerdo a su tamaño o gradación los agregados pueden clasificarse en agregado fino y agregado grueso.

- **Agregado grueso:** el agregado grueso consiste en una grava, una combinación de gravas o agregado triturado, cuyas partículas son predominantemente de tamaños mayores a 4.75 mm (malla N° 4) y

generalmente, entre 9.50 mm (malla de  $\frac{3}{8}$  de pulgada) y 37.50 mm (malla de 1  $\frac{1}{2}$  pulgada).

- **Agregado fino:** el agregado fino comúnmente consiste en arena natural o piedra triturada, siendo la mayoría de sus partículas de tamaños menores de 4.75 mm (malla N°4), pero mayores de 0.075 mm (malla N° 200).

### 2.5.2 FUNCION DE LOS AGREGADOS EN EL CONCRETO

Algunas de las razones por las cuales los agregados deben estar presentes en una mezcla de concreto son:

- **Economía:** en un determinado volumen de mezcla, los agregados sirven como relleno para el material cementante, los cuales tienen por lo general un menor costo que el cemento.
- **Manejabilidad:** cuando la mezcla se encuentra en estado plástico las proporciones del agregado dentro de la misma juegan un papel importante en cuanto a la facilidad de colocación y compactación, especialmente la fracción más fina, la cual en combinación con la pasta cementante actúa como lubricante de las partículas más gruesas, para que el concreto pueda ser mezclado, transportado, colocado, compactado y terminado en forma adecuada.
- **Control de cambios volumétricos:** durante el proceso de fraguado del concreto, al pasar la mezcla del estado plástico al estado endurecido, la pasta se contrae debido a la pérdida de humedad, lo cual trae como consecuencia la presencia de fisuras. Este efecto es controlado por los agregados, ya que la textura superficial de estos al mezclarse con la pasta genera una superficie de adherencia que disminuye la contracción.
- **Resistencia estructural:** Los agregados aportan parte de la resistencia a compresión del concreto, esta se debe a la capacidad aglutinante de la pasta de cemento, que en combinación con los agregados forma un material sólido que logra resistir la acción de cargas aplicadas, abrasión,

paso de humedad y acción climática. En la TABLA No 2.6 se muestra cómo afectan las propiedades del agregado a la resistencia a compresión y a flexión.

- **Densidad:** la densidad del concreto depende en su mayor parte de la densidad de los agregados que lo constituyen, y la densidad de éstos dependen del tipo de roca de donde provienen y de su grado de porosidad.
- **Durabilidad:** Los agregados como constituyentes del concreto transfieren sus propiedades de resistencia a exposición severa a la masa de concreto.

**TABLA No 2.6:** Propiedades del agregado y resistencia del concreto

Propiedades del concreto	Efectos relativos de las propiedades del agregado (%)		
	Forma	Textura superficial	Módulo de elasticidad
Resistencia a la compresión	31	26	43
Resistencia a la flexión	22	44	34

*NOTA: Los valores representan la relación de la variación debida a cada una de las propiedades, respecto a la variación total tomada en cuenta para las tres características del agregado en la prueba de tres mezclas hechas con trece agregados.*

*Fuente: Libro Manual de agregados para el Hormigón segunda edición (p. 5), por Orlando Giraldo Bolívar, 2003, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.*

### 2.5.3 CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS Y SU INFLUENCIA EN EL CONCRETO

Debido a que el concreto es un material compuesto, su calidad está directamente relacionada a la calidad de sus componentes. Dado que los agregados constituyen el mayor volumen de la mezcla sus características influyen enormemente en las diferentes propiedades del concreto, en estado fresco y endurecido.

A continuación se mencionan las principales características de los agregados que presentan una mayor influencia en las mezclas de concreto.

## **COMPOSICION GRANULOMETRICA**

El empleo de agregados con granulometría continua (la inclusión de todos los tamaños de partículas) en las mezclas de concreto, es conveniente por economía y con el fin de lograr una adecuada trabajabilidad acorde con los procedimientos y equipos usuales de trabajo, pues la experiencia ha demostrado que a igualdad de consumos de pasta de cemento, con granulometrías continuas se obtienen mezclas de concreto más trabajables que cuando existe discontinuidad en la granulometría de los agregados.

La composición granulométrica de la arena se complementa con el cálculo de su módulo de finura; el cual se considera adecuado para la fabricación de concreto convencional, si no es menor de 2.30 ni mayor de 3.10.

Las arenas cuyo módulo de finura es inferior a 2.30, normalmente se consideran demasiado finas y suelen requerir mayores consumos de pasta de cemento, lo cual repercute adversamente en los cambios volumétricos y en el costo del concreto. En el extremo opuesto, las arenas con módulo de finura mayor de 3.10 resultan demasiado gruesas y tienden a producir mezclas de concreto ásperas, segregables y propensas al sangrado.

De igual modo que en el caso de la arena, es deseable que el agregado grueso en conjunto posea continuidad de tamaños en su composición granulométrica, aunque sus efectos sobre la trabajabilidad de las mezclas de concreto no son tan notables como los que produce la arena.

## **TAMAÑO MAXIMO DE LAS PARTICULAS**

Numerosos estudios han demostrado que para una resistencia a la compresión alta con un elevado contenido de cemento y baja relación agua-cemento el tamaño máximo de agregado debe mantenerse en el mínimo posible.

En principio el incremento en la resistencia a medida que disminuye el tamaño máximo del agregado se debe a una reducción en los esfuerzos de adherencia debido al aumento de la superficie específica de las partículas.

Por tanto, se debe tener presente que al aumentar el tamaño máximo del agregado, se manifiestan dos tendencias con efectos opuestos en la resistencia mecánica del concreto:

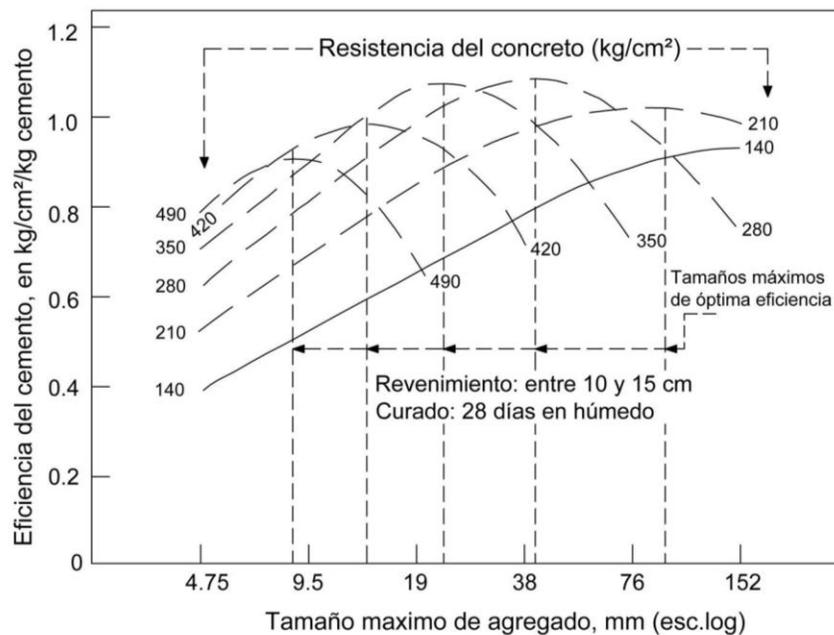
- 1- Por un lado, el aumento del tamaño máximo reduce el requerimiento de agua de mezcla y en consecuencia disminuye la relación agua/cemento, con lo cual se tiende a incrementar la resistencia del concreto.
- 2- En contraposición, al aumentar el tamaño de las partículas disminuye la superficie de contacto de los agregados con la pasta, y con ello tiende a reducirse la resistencia del concreto porque para una misma condición de carga se incrementan los esfuerzos de adherencia en el contacto pasta-agregado.

Al hacer el balance de estas tendencias, resulta que en los concretos de baja resistencia (menos de 200 kg/cm<sup>2</sup> aproximadamente) domina el efecto de la reducción del agua de mezclado, y por consiguiente al aumentar el tamaño máximo del agregado tiende a incrementarse la resistencia del concreto; en tanto que para los concretos de mayor resistencia se manifiesta lo contrario pues domina el efecto de la superficie de adherencia disminuida, de manera que un aumento en el tamaño máximo tiende a reducir la resistencia del concreto en niveles altos.

Para comparar la resistencia del concreto cuyos consumos de pasta de cemento varían como consecuencia del cambio de tamaño máximo, suele utilizarse el concepto de “eficiencia del cemento” que corresponde a la resistencia que se obtiene en el concreto por cada kilogramo de cemento. De este modo, en la FIGURA No 2.2 se muestra la forma como tiende a evolucionar dicha eficiencia en concretos con diferente nivel de resistencia, hechos con determinados agregados, observándose que para cada nivel hay un tamaño máximo que optimiza la eficiencia del cemento, y que estos tamaños óptimos tienden a ser menores a medida que la resistencia es mayor.

De lo anterior parece evidente que la disminución del tamaño máximo del agregado, es una medida cuyo efecto para elevar el umbral de falla del concreto por adherencia en el contacto pasta- agregado, resulta de principal utilidad en los concretos con mayor nivel de resistencia, por ser estos donde dicha adherencia es el factor limitante de la resistencia mecánica del concreto.

**FIGURA No 2.2:** Optimización del tamaño máximo del agregado en concretos con diferente nivel de resistencia



Fuente: Libro *Manual de Tecnología del Concreto*, sección 3, Comisión Federal de Electricidad, Mexico: Limusa Noriega editores.

De ahí que cuando se requiere alcanzar resistencias mayores de 500 kg/cm<sup>2</sup> que corresponden a los concretos especiales de muy alta resistencia es una práctica emplear gravas de un tamaño máximo reducido, que con frecuencia es del orden de 10 mm, aproximadamente.

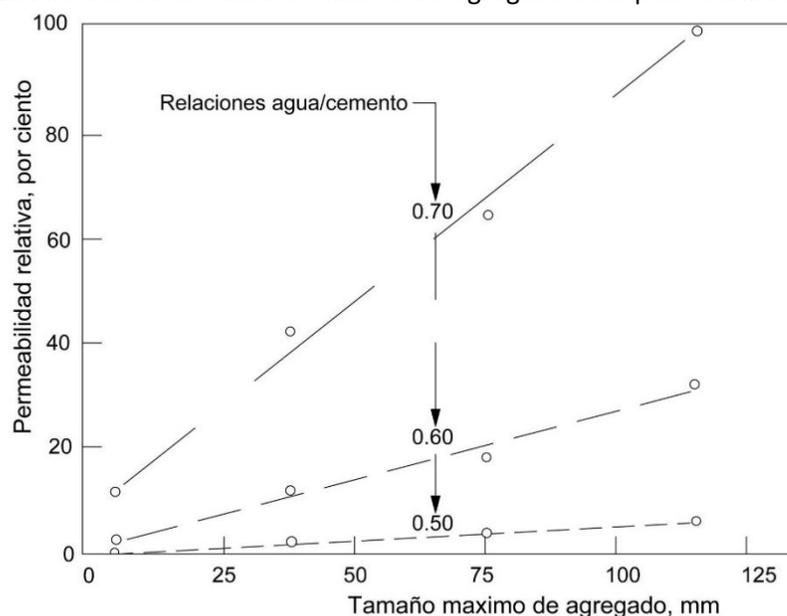
Otro aspecto que tiene que ver con el tamaño máximo del agregado es el hecho de que existe una mayor probabilidad de encontrar fisuras o fallas en una partícula de mayor tamaño provocadas por los procesos de explotación de las

canteras (dinamitado) y debido a la reducción de tamaño (trituración), lo cual lo convertirá en un material indeseable para su utilización en concreto.

Otro aspecto que cabe mencionar, pero que no tiene mucha incidencia en el enfoque de esta investigación es la permeabilidad. Sabiendo que el concreto es un material compuesto, la permeabilidad de este depende de la permeabilidad individual de sus componentes. De este modo, la permeabilidad de las rocas que constituyen los agregados y la permeabilidad de la pasta endurecida son dos elementos esenciales de la permeabilidad del concreto.

Conforme aumenta el tamaño máximo del agregado, el concreto resulta más permeable según se pone de manifiesto en la FIGURA No 2.3.

**FIGURA No 2.3:** Influencia del tamaño máximo del agregado en la permeabilidad del concreto



Fuente: Libro Manual de Tecnología del Concreto, sección 3, Comisión Federal de Electricidad, Mexico: Limusa Noriega editores.

Tal comportamiento se atribuye en parte a que el aumento en el tamaño de las partículas de grava crea condiciones más propicias para su asentamiento y para las acumulaciones de agua de sangrado debajo de ellas; y también porque el aumento de tamaño máximo se acentúa la diferencia en la magnitud de los cambios volumétricos de origen térmico entre la pasta de cemento y los grandes

fragmentos de roca, particularmente cuando sus respectivos coeficientes de expansión térmica difieren mucho, y esto último puede traducirse en microfisuras alrededor de las grandes gravas que deben afectar la permeabilidad del concreto en la estructura. Lo anterior no necesariamente significa que deba reducirse el tamaño máximo del agregado con el solo fin de hacerlo menos permeable, sino que este es uno de los efectos que deben tratar de compatibilizar al hacer la definición del tamaño máximo más conveniente, en cada caso particular.

### **MATERIALES CONTAMINANTES**

Existen diversos materiales que con cierta frecuencia acompañan a los agregados, y cuya presencia es inconveniente por los efectos adversos que producen en el concreto. Entre dichos materiales contaminantes, los más comunes son los finos indeseables (limo y arcilla), la materia orgánica, el carbón y el lignito, las partículas ligeras, los terrones de arcilla y otras partículas desmenuzables.

El limo es el material granular fino (entre 2 y 60 micras) sin propiedades plásticas, mientras que la arcilla es el material más fino (menos de 2 micras), que si posee propiedades plásticas.

Por lo reducido del tamaño de sus partículas, ambos materiales son indeseables en los agregados, pues incrementan el requerimiento de agua de mezclado y los cambios volumétricos del concreto, siendo más perjudicial la arcilla por su carácter plástico.

Por otra parte, también suele hallarse materia orgánica que contamina los agregados tales como: humus, fragmentos de raíces y plantas, y trozos de madera. La contaminación excesiva con estos materiales, básicamente en la arena, ocasiona interferencia en el proceso normal de hidratación del cemento, afectando la resistencia y la durabilidad del concreto.

Si bien lo deseable es disponer de agregados completamente libres de estas materias perjudiciales, en la práctica esto no siempre es factible, por lo cual se hace necesario tolerarlas en proporciones suficientemente reducidas para que sus efectos nocivos resulten poco significativos.

### **CALIDAD FISICA INTRINSECA**

Al examinar la aptitud física de los agregados en general, es conveniente diferenciar las características que son inherentes a la calidad esencial de las rocas constitutivas, de los aspectos externos que corresponden a sus fragmentos. Entre las características físicas que contribuyen a definir la calidad intrínseca de las rocas, destacan su peso específico, sanidad, porosidad y absorción, resistencia mecánica, entre otras.

Si los agregados proceden de rocas sanas, densas, compactas y resistentes, exhiben un comportamiento prácticamente elástico dentro del intervalo de esfuerzos al que trabaja normalmente el concreto. De lo cual se desprende que, con agregados así, las deformaciones inelásticas del concreto son atribuidas a las de la propia pasta de cemento y a su trabajo de conjunto con los agregados, que es afectado por el microfisuramiento preexistente.

De lo anterior resulta que la proporción relativa en que participan los agregados en la composición del concreto, puede tener efectos en dos sentidos. Así al aumentar el contenido de agregados, se reduce el contenido de pasta y esto tiene el efecto de disminuir la deformabilidad del concreto; pero al mismo tiempo, dicho aumento en el contenido de agregados significa mayor número de microfisuras interfaciales pasta-agregado, con el consiguiente efecto de propiciar mayor deformación del concreto.

Para una relación agua/cemento fija, la proporción de pasta que se requiere en una mezcla de concreto, depende fundamentalmente de la granulometría y tamaño máximo de los agregados y de la consistencia que es necesario dar a la mezcla. Si las características de los agregados permanecen constantes, el

volumen unitario de pasta de cemento debe incrementarse a medida que se requiere hacer la mezcla más fluida.

Por otra parte, la influencia de los agregados en la contracción por secado del concreto también depende de las características intrínsecas de las rocas que los constituyen, principalmente de su deformabilidad. Si los agregados están constituidos por fragmentos de rocas sanas, densas, resistentes y con un alto módulos de elasticidad, no deben sufrir cambios volumétricos significativos al operar en las condiciones ordinarias de trabajo del concreto. En tal caso, el efecto de la presencia de los agregados en el concreto es en el sentido de oponer restricción a la pasta de cemento para que se contraiga libremente, y así resulta que la contracción por secado del concreto hecho con agregados de peso y calidad normal, puede ser hasta 15 veces menor que la contracción por la pasta que contiene. Conforme a ello, la contracción por secado del concreto es menor a medida que disminuye su contenido de pasta, cuya disminución puede propiciarse mediante el uso de mezclas de concreto de consistencia dura o por el incremento en el tamaño máximo de la grava.

### **FORMA Y TEXTURA SUPERFICIAL DE LAS PARTICULAS**

La forma y textura superficial de los fragmentos que constituyen los agregados, son características que normalmente no se consideran representativas de la calidad intrínseca de la roca propiamente dicha, aunque puede haber casos en que guarden alguna relación. En tal concepto, tanto la forma como la textura superficial no suelen verse como índices de calidad de los agregados, sino más bien de su comportamiento en el concreto.

Para tratar de establecer lo que es deseable en cuanto a la forma y la textura superficial de las partículas de los agregados, es necesario considerar los efectos que la variación de estas características puede producir en el concreto. Específicamente, debe considerarse su influencia en la trabajabilidad del concreto en estado fresco y en la adherencia de las partículas con la pasta de cemento en el concreto endurecido.

La variación de forma y textura superficial en las partículas de los agregados tiende a producir efectos contrapuestos, en los aspectos mencionados.

Las partículas de formas redondeadas y superficies lisas, producen buena trabajabilidad en las mezclas de concreto, pero no son propicias para lograr una buena adherencia con la pasta de cemento; por el contrario, las partículas de formas muy angulosas y superficies ásperas, son inconvenientes para la elaboración de mezclas trabajables, pero favorables en lo relativo a su adherencia con la pasta de cemento.

De lo anterior puede decirse que son igualmente indeseables los casos extremos, y que por consiguiente lo más adecuado sería una condición intermedia que optimizara ambas tendencias.

Sin embargo esta inferencia es de carácter limitado, pues existen otros aspectos del concreto que deben tomarse en cuenta, tales como el consumo requerido de cemento y el nivel de la resistencia proyectada. Así, en condiciones ordinarias suele admitirse que, para niveles moderados de resistencia, los agregados de formas redondeadas son los que permiten lograr mezclas de concreto, de la consistencia y trabajabilidad requeridas, con los menores consumos de pasta de cemento.

Un criterio común en este aspecto considera que, en igualdad de condiciones, son preferibles los agregados de formas redondeadas para los concretos convencionales con resistencias que no excedan valores en el orden de 200 a 500 kg/cm<sup>2</sup>. De ahí en adelante, a medida que aumenta la resistencia requerida, es necesario prestar mayor atención a la obtención de una buena adherencia entre la pasta de cemento y los agregados, buscando menos redondeadas y superficies más ásperas en estos, pero tratando que las partículas sean equidimensionales, es decir, evitando las formas demasiado irregulares y angulosas.

Por ejemplo, para los concretos de muy alta resistencia, el agregado ideal debe ser limpio, cubico, anguloso, 100% triturado, con un mínimo de partículas planas y alargadas.

La presencia de partículas planas y alargadas, se considera indeseable porque reduce la trabajabilidad de las mezclas, dificulta el acomodo y la compactación del concreto fresco en las cimbras y afecta la resistencia mecánica del concreto endurecido.

Debido a ello, es frecuente que en las prácticas recomendadas y en las especificaciones de obra se limite su contenido.

#### **2.5.4 ESPECIFICACIONES DE LOS AGREGADOS PARA CONCRETO**

Todo agregado que se pretenda utilizar para la elaboración de concreto debe contar con una serie de características tanto físicas como mecánicas, de modo que pueda garantizar una buena calidad en la mezcla de concreto. Por tanto; dicho agregado debe cumplir con ciertas especificaciones normalizadas, las cuales se presentan en la TABLA No 2.7. A continuación se describirán las más importantes.

#### **CALIDAD**

En general, los agregados para concreto deberán cumplir con las especificaciones de la norma ASTM C-33 “Especificación estándar de agregados para concreto”; la cual establece lo siguiente para agregado grueso y fino:

- El agregado grueso deberá consistir de grava, grava triturada, roca triturada, escoria de alto horno enfriada al aire, concreto de cemento hidráulico triturado o una combinación de ellos.
- El agregado grueso debe ser duro, resistente, limpio y sin recubrimiento de materiales extraños o de polvo, los cuales, en caso de presentarse, deberán ser eliminados mediante un procedimiento adecuado.

- La forma de las partículas más pequeñas del agregado grueso de roca o grava triturada deberá ser generalmente cúbica y deberá estar razonablemente libre de partículas delgadas, planas o alargadas en todos los tamaños.
- El agregado fino deberá consistir en arena natural, arena manufacturada (o triturada), o una combinación de ambas.
- El agregado fino no debe contener más del 45% de material retenido entre cualquiera de dos tamices normalizados consecutivos.
- 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.
- Los porcentajes de sustancias dañinas en el agregado fino, al momento de la descarga en la planta de concreto, no deberán superar los límites especificados en la TABLA No 2.8.

**TABLA No 2.7:** Características y ensayos de los agregados

Propiedades	Importancia	Designación de la prueba	Requisitos o características reportadas
Resistencia al desgaste y a la degradación	Índice de calidad del agregado; resistencia al desgaste de pisos y pavimentos	ASTM C-131, ASTM C-535 y ASTM C-779	% máximo de pérdida de peso, profundidad de desgaste y tiempo
Resistencia a la congelación y deshielo	Descascaramiento de la superficie, aspereza, pérdida de sección y deformación	ASTM C-666, ASTM C-682	Número máximo de ciclos o periodo de inmunidad a la congelación; factor de durabilidad
Resistencia a la desintegración por sulfatos	Sanidad contra la acción del intemperismo	ASTM C-88	Pérdida de peso, partículas exhibiendo fallas
Forma de la partícula y textura superficial	Trabajabilidad del concreto en estado fresco	ASTM C-295, ASTM C-3398	% máximo de partículas planas y elongadas
Granulometría	Trabajabilidad del concreto en estado fresco; economía	ASTM C-117, ASTM C-136	% máximo y mínimo que pasa las mallas especificadas
Peso volumétrico o densidad en masa	Cálculos para el diseño de mezclas; clasificación	ASTM C-29	Peso compacto y peso suelto
Peso específico	Cálculos para el diseño de mezclas	ASTM C-127 (agregado fino), ASTM C-128 (agregado grueso)	
Absorción y humedad superficial	Control de calidad del concreto	ASTM C-70, ASTM C-127, ASTM C-128 y ASTM C-566	
Resistencia a la compresión y a la flexión	Aceptación del agregado fino cuando otras pruebas fallan	ASTM C-39, ASTM C-78	Que la resistencia exceda el 95% de la resistencia lograda con arena purificada
Definiciones de los componentes	Aclarar el entendimiento y la comunicación	ASTM C-125, ASTM C-294	
componentes de los agregados	Determinar la cantidad de materiales orgánicos y deletéreos	ASTM C-40, ASTM C-87, ASTM C-117, ASTM C-123, ASTM C-142 y ASTM C-295	
Resistencia a la actividad con los álcalis y al cambio volumétrico	Sanidad contra el cambio de volumen	ASTM C-227, ASTM C-289, ASTM C-295, ASTM C-342 y ASTM C-586	

## TAMAÑO

Los agregados gruesos deben tener el mayor tamaño máximo posible para las condiciones de la obra. El tamaño máximo que se puede usar depende de factores tales como: la forma del elemento de concreto que se va a colar, la cantidad y la distribución del acero de refuerzo (armadura) en el elemento y el espesor de la losa.

**TABLA No 2.8:** Límites para sustancias deletéreas en el agregado fino para concreto

Ítem	% de masa de la muestra total, max.
Grumos de arcilla y partículas deleznable	3.0
Material más fino que la malla No. 200:	
concreto sujeto a abrasión	3.0
otros concretos	5.0
Carbón y lignito:	
Donde la apariencia superficial del concreto es importante	0.5
otros concretos	1.0

Fuente: Norma ASTM C-33: "Especificación estándar para agregados para concreto".

El tamaño máximo del agregado grueso no debe exceder un quinto de la menor dimensión entre los lados de las cimbras (encofrados, formaleta), ni tampoco, tres cuartos la distancia libre entre las varillas o cables de refuerzo individual, paquetes de varillas o tendones o ductos de presfuerzo (pretensado, presforzado, precomprimido).

También es una buena práctica limitar el tamaño del agregado para que no supere tres cuartos del espacio libre entre el refuerzo y la cimbra. En losas sobre el terreno sin refuerzo, el tamaño máximo del agregado no debería exceder un tercio del espesor de la losa. Se pueden usar tamaños menores cuando la disponibilidad o alguna consideración económica lo requieran.

## **GRANULOMETRIA**

Se denomina clasificación granulométrica o granulometría a la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado, de tal manera que se puedan conocer las cantidades en peso de cada tamaño que aporta el peso total.

Para separar por tamaños las partículas se utilizan mallas de diferentes aberturas, las cuales proporcionan el tamaño máximo de agregado en cada una de ellas. En la práctica los pesos de cada tamaño se expresan como porcentajes retenidos en cada malla con respecto al total de la muestra. Estos porcentajes retenidos se calculan también como porcentajes parciales y acumulados.

La granulometría y el tamaño máximo de las partículas afectan las proporciones relativas de los agregados, así como los requisitos de agua y cemento, la trabajabilidad, capacidad de bombeo, economía, porosidad, contracción y durabilidad del concreto.

Las variaciones en la granulometría pueden afectar seriamente a la uniformidad del concreto de una revoltura a otra. Las arenas muy finas a menudo resultan antieconómicas; las arenas muy gruesas y el agregado grueso pueden producir mezclas rígidas, no trabajables.

Conocida la composición granulométrica del material, se representa gráficamente para formar la llamada curva granulométrica del mismo.

El agregado grueso debe estar bien graduado entre los límites fino y grueso, y debe llegar a la planta de concreto separado en tamaños normales, y que cumpla con los requisitos establecidos en la norma ASTM C-33 (Ver TABLA No 2.10).

Los requisitos de la norma ASTM C-33, permiten un rango relativamente amplio en la granulometría del agregado fino, pero las especificaciones de otras organizaciones son a veces más limitantes. La granulometría más conveniente para el agregado fino, depende del tipo de trabajo, de la riqueza de la mezcla, y del tamaño máximo del agregado grueso. En mezclas más pobres, o cuando se emplean agregados gruesos de tamaño pequeño, la granulometría que más se aproxime al porcentaje máximo que pasa por cada malla resulta la más

conveniente para lograr una buena trabajabilidad. En general, si la relación agua/cemento se mantiene constante y la relación de agregado fino a grueso se elige correctamente, se puede hacer uso de un amplio rango en la granulometría sin tener un efecto apreciable en la resistencia. En ocasiones se obtendrá una economía máxima, ajustando la mezcla del concreto para que encaje con la granulometría de los agregados locales. Entre más uniforme sea la granulometría, mayor será la economía.

La granulometría del agregado fino dentro de los límites de la norma ASTM C-33, generalmente es satisfactoria para la mayoría de los concretos. Los límites de la norma ASTM C-33 con respecto al tamaño de las mallas se indican en la TABLA No 2.9.

**TABLA No 2.9:** Límites para agregado fino

<b>Tamaño de la malla</b>	<b>Porcentaje que pasa en peso</b>
9.52 mm (3/8")	100
4.75 mm (No.4)	95 a 100
2.36 mm (No.8)	80 a 100
1.18 mm (No.16)	50 a 85
0.60 mm (No.30)	25 a 60
0.30 mm (No.50)	5 a 30
0.15 mm (No.100)	0 a 10

*Fuente: Norma ASTM C-33: "Especificación estándar para agregados para concreto".*

**TABLA No 2.10: Tamaños estándar de agregado grueso**

Número del	Tamaño Nominal, Abertura cuadrada	100-mm	90-mm (3 1/2-in.)	75-mm (3-in.)	63-mm (2 1/2-in.)	50-mm (2-in.)	37.5-mm (1 1/2-in.)	25-mm (1-in.)	19-mm (3/4-in.)	12.5-mm (1/2-in.)	9.5-mm (3/8-in.)	4.75-mm (No. 4)	2.36-mm (No. 8)	1.18-mm (No. 16)	300- $\mu$ m (No. 50)
1	90 hasta 37.5-mm (3 1/2 hasta 1 1/2-in.)	100	90 a 100		25 a 60		0 a 15		0 a 5						
2	63 hasta 37.5-mm (2 1/2 hasta 1 1/2-in.)			100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5						
3	50 hasta 25-mm (2 hasta 1-in.)				100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5					
357	50 hasta 4.75-mm (2-in. hasta No. 4)				100	95 a 100		35 a 70		10 a 30		0 a 5			
4	37.5 hasta 19-mm (1 1/2 hasta 3/4-in.)					100	90 a 100		20 a 55	0 a 15		0 a 5			
467	37.5 hasta 4.75-mm (1 1/2-in. hasta No. 4)					100	95 a 100		35 a 70		10 a 30	0 a 5			
5	25 a 12.5-mm (1 hasta 1/2 in.)						100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	0 a 10	0 a 5		
56	25 hasta 9.5-mm (1 hasta 3/4-in.)						100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5			
57	25 hasta 4.75-mm (1-in. hasta No. 4)						100	95 a 100		25 a 60					
6	19 hasta 9.5-mm (3/4 hasta 3/8-in.)							100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5			
67	19 hasta 4.75-mm (3/4 in. hasta No. 4)							100	90 a 100		20 a 55	0 a 10	0 a 5		
7	12.5 hasta 4.75-mm (1/2-in. hasta No. 4)								100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5		
89	9.5 hasta 1.18-mm (3/8 -in. hasta No. 16)									100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
8	9.5 hasta 2.36-mm (3/8 in. hasta No. 8)									100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	
9	4.75 hasta 1.18-mm (No. 4 hasta No. 16)										100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

Fuente: Norma ASTM C-33: "Especificación estándar para agregados para concreto".

Dentro de las sustancias perjudiciales que pueden estar presentes en los agregados, se incluyen las impurezas orgánicas, limo, arcilla, esquistos, óxido de hierro, carbón mineral, lignito, y algunas partículas suaves y ligeras.

Los materiales más finos que la malla N° 200, en especial los limos y las arcillas, pueden estar presentes como polvo suelto y formar una capa alrededor de las partículas de agregado. Aún las capas delgadas de limo o arcilla en las partículas de grava pueden ser perjudiciales porque pueden debilitar la adherencia entre la pasta de cemento y el agregado. Si ciertos tipos de limos o arcilla están presentes en cantidades excesivas, la cantidad necesaria de agua se tiene que incrementar de manera importante. La TABLA No 2.11 muestra los porcentajes máximos de finos que pueden contener los agregados que serán utilizados para la elaboración de concreto.

**TABLA No 2.11:** Límites para material más fino que la malla No. 200

Tipo de Agregado	% máximo de material menor a la malla No. 200	
	Concreto expuesto a la abrasión	Concreto no expuesto a la abrasión
Arena Natural	3	3
Arena Triturada*	5	7
Grava Natural	1	1
Grava Triturada*	1.5	1.5
*El polvo de trituración es menos indeseable que el limo y la arcilla		

Fuente: Norma ASTM C-33: "Especificación estándar para agregados para concreto".

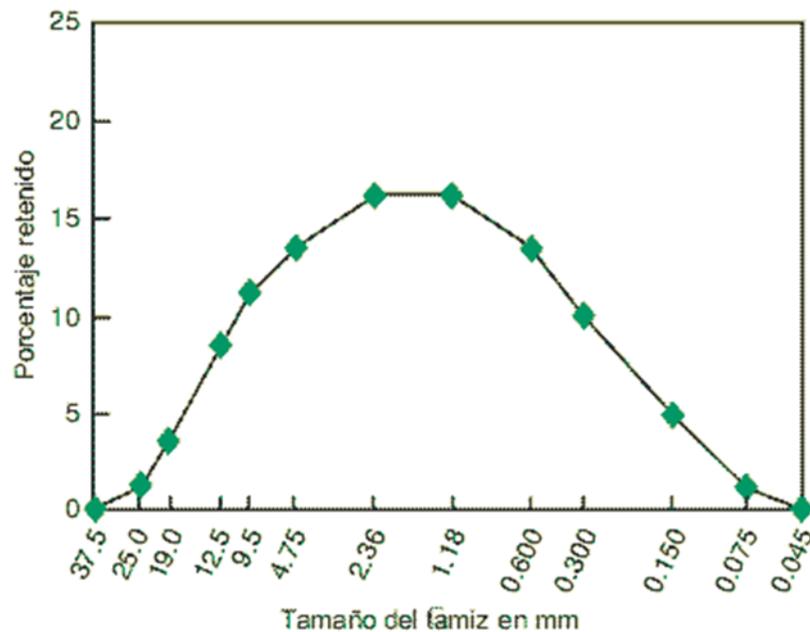
## 2.6 INFLUENCIA DE GRANULOMETRIAS COMBINADAS EN EL CONCRETO

En ocasiones se analiza el uso de la granulometría combinada de los agregados fino y grueso, de la misma manera como se presentarán en el concreto. Esto provee un análisis más minucioso de cómo los agregados actuarán en el concreto. Algunas veces, hay una carencia en el abastecimiento de agregados de tamaños intermedios, aproximadamente 9.5 mm (3/8 pulg), teniendo como

resultado mezclas con alta contracción, alta demanda de agua, baja trabajabilidad, baja bombeabilidad y dificultad de colocación. Añadido a esto, también pueden presentarse problemas en la resistencia y la durabilidad.

La FIGURA No 2.4 ilustra una granulometría ideal. Sin embargo, la granulometría ideal no existe en el campo, pero podemos acercarnos a ella. Para lo cual, se debe considerar el uso de agregados alternativos, combinación de agregados o tamizados especiales de agregados existentes si se desarrollan problemas debido a una pobre gradación.

**FIGURA No 2.4:** Granulometría ideal de agregado para concreto



De acuerdo a Shilstone (1990), existen formas de obtener la granulometría óptima del agregado. La granulometría combinada se puede usar en las mezclas para mejorar la trabajabilidad, la bombeabilidad, la retracción, además de otras propiedades del concreto.

Tal y como se mencionó en los antecedentes Abrams (1918) y Shilstone (1990) demostraron los beneficios del análisis del agregado combinado, estableciendo que para un contenido constante de cemento y una consistencia constante, existe una combinación óptima de agregados que producirá la relación agua/cemento más eficiente y la mayor resistencia.

Ademas, la mezcla óptima tiene la menor interferencia de las partículas y responde mejor a los vibradores de alta frecuencia y alta amplitud.

Sin embargo, la mezcla óptima no se puede utilizar en todas las obras debido a la variación de las necesidades de colocación y acabado, así como de su disponibilidad.

Crouch (2000) encontró, en su estudio de concretos con aire incluido, que la relación agua-cemento podría reducirse más del 8% con el uso de la granulometría combinada.

Shilstone (1990) también analiza la gradación del agregado, a través de factores de aspereza y trabajabilidad, para mejorar la granulometría del agregado.

Entre otras investigaciones anteriores respecto al tema, como el caso de Stanton Walker, en 1930, el cual realizó una serie de pruebas de contenido de vacíos, mientras variaba las proporciones de agregados. Sus conclusiones fueron las siguientes:

1. Una distribución más amplia de tamaños de partículas en una granulometría combinada permite reducir el contenido de vacíos. Cuando la granulometría combinada abarcó un rango de partículas de  $\frac{3}{4}$  plg a  $1 \frac{1}{2}$  plg Se consiguió un contenido de vacíos de 35%. La extensión del rango granulométrico de los agregados de N° 8 (2.36 mm) a  $1 \frac{1}{2}$  plg (37.5 mm) redujo el contenido de vacíos a 29%. La adición de agregados finos y la ampliación del rango de tamaños desde  $1 \frac{1}{2}$  pulg (37.5 mm) hasta la malla No. 200 (0.075 mm) disminuyó el contenido de vacíos aproximadamente 19%.

2. Pruebas de contenido de vacíos de combinaciones de grava y arena mostraron que una granulometría combinada "bien graduada" (con una mayor cantidad de tamaños de agregados intermedios) no redujo el contenido de vacíos, en comparación con una granulometría combinada "mal graduada".

En resumen puede decirse que el empleo de granulometrías combinadas en el concreto tiene como objeto la inclusión de todo tamaño de partículas con el fin de obtener una reducción en el porcentaje de vacíos entre los agregados; lo cual disminuye la demanda de pasta de cemento y tiene influencia en la economía y durabilidad del concreto.

## **2.7 GRANULOMETRIA SHILSTONE**

Los procedimientos de diseño de mezclas de concreto consideran las proporciones de agregado grueso y fino sin una preocupación respecto a la graduación combinada o total. Investigaciones en la granulometría combinada de los agregados han encontrado que hay una relación entre la graduación del agregado, la resistencia del concreto y la trabajabilidad. Un agregado combinado bien graduado incluye tamaños intermedios de partículas que rellenan los vacíos típicamente ocupados por la pasta de cemento, menos densa. Esto maximiza la densidad de las partículas de agregado. En términos de riesgo, para agrietamiento no controlado, e incremento de la densidad de las partículas resulta en lo siguiente:

- Reduce la demanda de agua
- Menos contracción por secado
- Mayor trabajabilidad
- Desarrollo de resistencia temprana mejorada

Una herramienta simple está disponible para evaluar una mezcla de concreto por trabajabilidad y riesgo de problemas tales como agrietamiento no controlado. La

herramienta fue adoptada para el trabajo de Shilstone & Asociados y validada por la Fuerza Aérea de Estados Unidos.

Para predecir las características de la mezcla de concreto se requiere la comparación del factor de grosor y del factor de trabajabilidad. El factor de grosor es definido como el porcentaje de material acumulado retenido en la malla de 9.5 mm (3/8”), dividida por el porcentaje de material acumulado retenido en la malla de 2.36 mm (No. 8) multiplicado por 100. El factor de trabajabilidad es definido como el porcentaje de material pasando la malla de 2.36 mm (No. 8).

Las zonas del factor de grosor identifican regiones (ver FIGURA No 2.5) donde al ser graficados las mezclas de concreto tendrán características generalmente previsibles:

La Zona I indica que es una mezcla que contiene vacíos y tiene un alto potencial para la segregación durante la colocación y/o la consolidación debido a una deficiencia en partículas intermedias. Estas mezclas probablemente no son cohesivas, por lo tanto, puede ocurrir la segregación. Mezclas graficadas en esta zona pueden causar grietas locales, formación de ampollas, exfoliación y descamación.

La Zona II indica una mezcla óptima para concreto con tamaño máximo nominal del agregado de 50 mm (2 plg) a 19 mm (3/4 plg.) Las mezclas de esta zona producen generalmente concretos consistentes de alta calidad. Las mezclas que se trazan cerca de la barra de la tendencia o cerca de los límites de las zonas I y IV requieren un estrecho control y ajustes en las proporciones, ya que pequeñas variaciones en las cantidades consecutivas puede dar como resultado que el agregado sea trazado fuera de la Zona II.

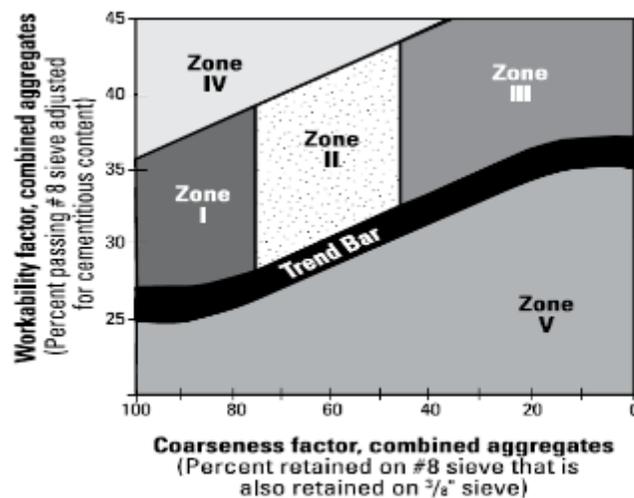
La Zona III es una extensión de la Zona II, indica una mezcla óptima para agregados con tamaños máximos nominales de menos de 19 mm (3/4 plg.)

La Zona IV indica cantidad excesiva de finos y un alto potencial para la segregación durante la consolidación y acabado. Tales mezclas producirán resistencias variables, tienen alta permeabilidad, y están expuestas a la

contracción, que generalmente contribuye al desarrollo de la formación de grietas, deformaciones por alabeo, astillamiento y descamación. Que no son deseables.

La Zona V indica una mezcla que tiene una cantidad excesiva de agregado grueso e intermedio y no es plástico.

**FIGURA No 2.5:** Carta del factor de grosor y trabajabilidad (shilstone 1990)



Fuente: *Integrated materials and construction practices for concrete pavement, FHWA*

La FIGURA No 2.5 no predice con seguridad el desempeño o calidad. Otras variables deben ser consideradas. Incluyendo la variabilidad de los materiales de agregado natural para el concreto.

Es recomendable usar al menos tres tamaños de agregados (dos gruesos y uno fino) para asegurar una distribución de partículas más consistentes. El tercer agregado es predominantemente de tamaño intermedio (3/8" a No 8) para proporcionar un puente entre las partículas grandes y el mortero, relleno mejor los vacíos e incrementando la densidad del concreto.

Cuando son especificados tamaños de agregados (1 1/2" a No 4), tres tamaños de agregado grueso deben ser usados.

**CAPITULO III**

**METODOLOGIA DE LA  
INVESTIGACION**

### **3.1 GENERALIDADES**

En este capítulo se describe la metodología a seguir para el desarrollo de la investigación, definiendo los parámetros fijos y variables que se consideraran en el estudio; así como los ensayos a realizar a los agregados; y al concreto en estado fresco y endurecido.

En la investigación es necesario definir ciertos parámetros o elementos que serán objeto de estudio; de modo que se adecuen a las necesidades del tipo de investigación a realizar, y de esta manera poder definir si estos parámetros deberán ser fijos o variables.

Los parámetros fijos y variables se han definido con el objeto de delimitar la investigación y realizar un mejor análisis de los resultados a obtener en el trabajo de laboratorio.

Así también se describe en este apartado cada una de las fases o etapas a seguir en la metodología de la investigación; desde la selección de los materiales hasta el análisis de los resultados.

Es importante mencionar que previo a la elaboración de mezclas de concreto se debe realizar un estudio de las propiedades físicas de los agregados; el cual proporcionará la calidad de los mismos, y además influirá notablemente en las propiedades del concreto. Por otra parte, los resultados que se obtengan en la investigación de los agregados servirán para desarrollar el diseño y proporcionamiento de la mezcla.

También se explica la metodología que se seguirá para elaborar las distintas combinaciones de agregado grueso, lo cual consiste en la realización de combinaciones teóricas y de laboratorio que se definirán partiendo de las granulometrías de cada material ( $\frac{3}{4}$  plg y  $1 \frac{1}{2}$  plg).

Se describe también la metodología del diseño de las mezclas de concreto, las resistencias a la compresión esperadas y el número de especímenes que se elaborarán para los diferentes ensayos del concreto en estado endurecido.

Los diseños de mezclas preliminares y el diseño definitivo de concreto hidráulico se realizarán siguiendo el procedimiento del comité ACI 211.1-91 (Práctica estándar para la selección del proporcionamiento de mezclas de concreto normal, pesado y masivo).

Se realizarán dos diseños teóricos para las mezclas de prueba utilizando para cada uno de ellos los tamaños extremos; es decir, un diseño usando únicamente agregado de TMN  $\frac{3}{4}$  plg y otro utilizando agregado de TMN  $1 \frac{1}{2}$  plg. Posteriormente se seleccionará un diseño de los anteriores; con el cual se reproducirán las mezclas definitivas.

### **3.2 PARAMETROS FIJOS DE LA INVESTIGACION**

En esta investigación se establecerán ciertos parámetros fijos, los cuales no presentarán ningún cambio significativo a lo largo del desarrollo del trabajo de laboratorio y diseño de mezclas. Estos parámetros se han definido con el objeto de evitar la excesiva variación en los resultados de las pruebas de laboratorio, ya que esto haría más difícil el análisis e interpretación de los mismos, así como las respectivas conclusiones.

Los parámetros fijos que se han establecido se mencionan a continuación.

#### **3.2.1 CONDICIONES DE LABORATORIO**

Todos los ensayos a realizar correspondientes a la determinación de propiedades físicas de los agregados, elaboración de mezclas y ensayos al concreto en estado fresco y endurecido se llevarán a cabo en las instalaciones del laboratorio de la Fundación ISCYC.

Dichas pruebas serán realizadas por los autores del presente trabajo de graduación con el apoyo de personal técnico asignado por ISCYC y la asesoría de los docentes que coordinan dicho trabajo.

### **3.2.2 CEMENTO**

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

### **3.2.3 AGUA**

En todas las mezclas se utilizará agua potable, proveniente de la red pública de ANDA (Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados). La norma ASTM C-1602 referencia los requisitos de la calidad del agua para la elaboración de concretos de buena calidad (ver sección 2.3). Los requerimientos de ésta no se verificarán ya que se tienen antecedentes de buen desempeño en su uso para mezclas de concreto.

### **3.2.4 AGREGADOS**

El agregado grueso a utilizar será procedente de La Cantera S.A. de C.V. ubicada en San Diego, La libertad. Para los fines de esta investigación se utilizara agregado de Tamaño Máximo Nominal de  $\frac{3}{4}$  plg y  $1\frac{1}{2}$  plg respectivamente para ser combinados en las diversas mezclas a realizar.

El agregado fino que se utilizará en la elaboración de mezclas será arena natural lavada industrialmente procedente de La Cantera S.A. de C.V. del río Tihuapa.

### **3.2.5 METODOLOGIA 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".

### **3.2.6 RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN**

La resistencia a la compresión en estudio será de  $280 \text{ kg/cm}^2$  para todos los especímenes, la cual también se utilizara para el cálculo de diseño y proporcionamiento de las mezclas de concreto.

### **3.2.7 REVENIMIENTO**

El revenimiento se fijara en 3 pulgadas para el diseño de las mezclas preliminares con una tolerancia de  $\pm 1$  pulgada, con el objeto de lograr una trabajabilidad adecuada en las mezclas a elaborar. Sin embargo, cabe mencionar que este parámetro puede presentar variaciones significativas en los resultados de las mezclas definitivas, ya que para mantener fija la relación agua/cemento no se hará corrección por revenimiento en dichas mezclas.

### **3.3 PARÁMETROS VARIABLES DE LA INVESTIGACION**

Los parámetros variables son aquellos que en el proceso experimental dentro de la investigación no se tendrá control sobre ellos, estos pueden variar por diferentes factores y afectar el desarrollo del estudio.

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

- Humedad de los agregados.
- Temperatura del concreto.
- Contenido de aire.
- Peso Volumétrico del concreto.
- Granulometría del agregado grueso (debido a las combinaciones de grava TMN  $\frac{3}{4}$  Plg y grava TMN  $1 \frac{1}{2}$  Plg).

### **3.4 METODOLOGÍA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL EN EL LABORATORIO**

En primer lugar se llevará a cabo un muestreo de agregados para poder determinar sus características físicas; las cuales serán necesarias para realizar el diseño de las mezclas de prueba. Como ya se mencionó anteriormente en el apartado 3.2.4, los agregados provienen del banco de materiales de La Cantera S.A. de C.V., los cuales serán trasladados y acopiados en la Universidad de El Salvador. Por lo tanto, el muestreo se llevará a cabo en dicho acopio siguiendo los procedimientos descritos en ASTM D-75.

Después de la investigación de las propiedades físicas de los agregados se procederá a realizar las combinaciones de los agregados tomando como base las granulometrías de los materiales y comparándolos con la especificación ASTM C-33.

Posteriormente se realizarán los diseños de las mezclas de prueba tomando como parámetro inicial una resistencia de 280 kg/cm<sup>2</sup> a 28 días. Se diseñarán 2 mezclas utilizando para cada una de ellas como agregado grueso: grava de TMN  $\frac{3}{4}$  Plg y grava TMN 1  $\frac{1}{2}$  Plg, respectivamente. Estas mezclas servirán para visualizar el comportamiento del concreto con ambos tamaños extremos, y así poder definir el diseño patrón con el cual se reproducirán las mezclas definitivas. Una vez obtenido el diseño definitivo que cumple con todas las características deseadas se elaborarán las 5 mezclas de estudio conformadas por las mezclas de los extremos ( $\frac{3}{4}$  Plg y 1  $\frac{1}{2}$  Plg) y sus respectivas combinaciones. Con respecto a las combinaciones de agregado grueso en las mezclas se utilizarán diferentes porcentajes de grava TMN  $\frac{3}{4}$  Plg y de grava TMN 1  $\frac{1}{2}$  Plg; previamente definidas de acuerdo a la distribución de tamaños de cada una de las gravas.

Los especímenes elaborados para cada mezcla se identificarán con su respectivo número correlativo, relación A/C, fecha de elaboración y dosificación de agregado grueso. Todos los elementos que conforman cada una de las mezclas como el agregado fino, agua y cemento poseen las mismas características físicas en cada una de estas, de tal forma que la única variable a tomar en cuenta será el porcentaje de grava de cada tamaño a utilizar en las combinaciones y la granulometría correspondiente.

Con los resultados obtenidos en cada mezcla se procederá a hacer las comparaciones entre cada una de ellas y se establecerán las respectivas conclusiones.

### **3.5 FASES DE LA METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION**

La metodología de la investigación se dividirá en 9 fases que permitirán desarrollar ordenadamente, tanto el trabajo experimental en laboratorio, como el análisis final de los resultados obtenidos.

A continuación se mencionan las fases que comprenden la metodología de la investigación:

**FASE No 1:** Selección de los materiales.

**FASE No 2:** Definición de ensayos a realizar.

**FASE No 3:** Determinación de las propiedades físicas de los materiales.

**FASE No 4:** Elaboración de las combinaciones de los agregados.

**FASE No 5:** Diseño de mezclas preliminares.

**FASE No 6:** Selección de diseño definitivo.

**FASE No 7:** Reproducción de mezclas definitivas.

**FASE No 8:** Ensayos al concreto en estado fresco y endurecido.

**FASE No 9:** Análisis de resultados del trabajo experimental.

#### **3.5.1 FASE No 1: SELECCIÓN DE LOS MATERIALES**

Esta fase contempla la selección del banco de materiales, los procedimientos de producción de los agregados, así como cada uno de los materiales a emplear para el desarrollo de este trabajo de graduación. Los materiales a utilizar en esta investigación se describieron en el apartado 3.2 (Parámetros fijos de la investigación).

#### **3.5.2 FASE No 2: DEFINICIÓN DE ENSAYOS A REALIZAR**

En esta fase se definirán cada uno de los ensayos a realizar al concreto, tanto en estado fresco como en estado endurecido; los cuales son necesarios para poder analizar el comportamiento de las mezclas de concreto.

Los ensayos del concreto a realizar en estado fresco y endurecido se mencionan a continuación en las TABLAS No. 3.1 y No. 3.2, así como la respectiva norma que establece su procedimiento estándar:

**TABLA No 3.1:** Ensayos al concreto en estado fresco

<b>Ensayo</b>	<b>Descripción</b>
ASTM C-172	Practica estándar para muestreo del concreto fresco.
ASTM C-143	Método de ensayo estándar para revenimiento en concreto hidráulico.
ASTM C-1064	Método de ensayo estándar para la medición de temperatura en concreto recién mezclado.
ASTM C-138	Método de ensayo estándar para la medición de la densidad (peso volumétrico), volumen producido (rendimiento) y contenido de aire.
ASTM C-192	Práctica estándar para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio.

**TABLA No 3.2:** Ensayos al concreto en estado endurecido

<b>Ensayo</b>	<b>Descripción</b>
ASTM C-39	Método de ensayo estándar para resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto.
ASTM C-78	Método de ensayo estándar para la resistencia a la flexión del concreto.
ASTM C-496	Método de ensayo estándar para resistencia a la tensión indirecta de especímenes cilíndricos de concreto (Tensión por partidura).
ASTM C-469	Módulo de elasticidad estático y relación de poisson del concreto en compresión.
ASTM C-597	Método de ensayo estándar para la velocidad del pulso a través del concreto (Modulo de elasticidad dinámico).

### **3.5.3 FASE No 3: DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS MATERIALES**

Dado que las propiedades físicas de los agregados influyen en gran medida en el cálculo de las proporciones de la mezcla, su estudio y análisis es de suma importancia antes de realizar cualquier diseño de mezcla de concreto.

Esta fase contempla la caracterización de los agregados, determinando las propiedades más importantes, necesarias para llevar a cabo el diseño de las mezclas.

La mecánica para determinar estas propiedades consistirá inicialmente en un muestreo de agregados en el acopio de los materiales tal y como se describió en el apartado 3.4. Posteriormente se trasladaran los agregados en sacos debidamente rotulados a las instalaciones de la Fundación ISCYC; donde se realizaran los ensayos para determinar sus propiedades físicas.

Los ensayos y procedimientos a realizar con los agregados se mencionan a continuación en la TABLA No. 3.3:

**TABLA No 3.3:** Ensayos a los agregados

<b>Ensayo</b>	<b>Norma ASTM</b>
Practica estándar para muestreo de agregados.	ASTM D-75
Practica estándar para reducción de las muestras de agregado a tamaño de prueba.	ASTM D-702
Método de ensayo estándar para análisis por malla de agregados gruesos y finos.	ASTM C-136
Método de ensayo estándar para densidad bruta (peso unitario) y vacíos en los agregados.	ASTM C-29
Método de ensayo estándar para densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso.	ASTM C-127
Método de ensayo estándar para densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino.	ASTM C-128
Método de ensayo estándar para contenido de humedad total del agregado por secado.	ASTM C-566
Método de ensayo estándar para impurezas orgánicas en el agregado fino para concreto.	ASTM C-40

#### **3.5.4 FASE No 4: ELABORACIÓN DE LAS COMBINACIONES DE LOS AGREGADOS**

En esta fase se definirán las combinaciones de agregado grueso que se utilizaran para las mezclas definitivas. Se seleccionaran 3 combinaciones de agregado compuestas por diferentes porcentajes de las gravas de  $\frac{3}{4}$  Plg y  $1 \frac{1}{2}$  Plg. Estas combinaciones se realizaran partiendo de la granulometría de cada material y se compararan con las granulometrías de la Especificación ASTM C-33.

La metodología a seguir en la selección de las combinaciones puede dividirse en dos etapas: la combinación teórica y la verificación de estas combinaciones en laboratorio.

El procedimiento a seguir en cada una de estas etapas se describe a continuación:

### **Combinación Granulométrica Teórica**

Partiendo del análisis granulométrico realizado a ambas gravas se procederá a desarrollar las combinaciones teóricas de estas, que consistirá en lo siguiente:

- Definir los porcentajes que se requieren combinar para cada tipo de grava. En este paso se pueden definir cualquier cantidad de combinaciones (10-90, 20-80, etc.).
- Multiplicar el % acumulado que pasa en cada malla por su respectiva fracción definida en el paso anterior.
- Sumar los productos obtenidos en el mismo número de malla para cada tipo de grava, obteniéndose así el porcentaje teórico acumulado que pasa.
- Repetir el paso anterior para cada malla.
- Graficar el porcentaje teórico acumulado que pasa vrs la abertura de la malla en milímetros.
- Comparar los resultados de las granulometrías teóricas con la Especificación ASTM C-33.
- Seleccionar las combinaciones teóricas a reproducir en laboratorio, las cuales serán aquellas que mejor se adapten a los límites de la especificación C-33 para tamaño máximo nominal de 1 ½”.

### **Combinación Granulométrica de Laboratorio**

Estas se definen a partir de la realización del ensayo granulométrico según la norma ASTM C-136. Los porcentajes que se llevarán a la práctica se seleccionaran a partir de los resultados que se obtengan en las combinaciones teóricas que mejor se adapten a la curva granulométrica dada por el promedio de los límites establecidos en la especificación ASTM C-33 para gravas de Tamaño

Máximo Nominal de 1 ½”, y a partir de esto se seleccionarán tres combinaciones de agregado grueso con las cuales se realizarán las mezclas definitivas.

### 3.5.5 FASE No 5: DISEÑO DE MEZCLAS PRELIMINARES

En esta fase se desarrollara cada uno de los pasos para llevar a cabo el diseño de mezclas de concreto, siguiendo el procedimiento que se describe en el comité ACI 211.1. Esta fase tiene como objetivo encontrar un diseño de mezcla óptimo, para su posterior reproducción en las mezclas definitivas.

También se definen los ensayos a realizar a las mezclas preliminares, para seleccionar el diseño de mezcla que más se adapte a las características requeridas tanto de resistencia como trabajabilidad.

El procedimiento para la dosificación de mezclas que se expone en este capítulo es aplicable al concreto de peso normal:

#### Paso 1. Elección del Revenimiento

Si el revenimiento no se ha especificado, su valor apropiado para el trabajo puede ser seleccionado a partir de la TABLA No 3.4. Los rangos del revenimiento que se muestran aplican cuando se usa vibración para consolidar el concreto.

Deben emplearse mezclas de la consistencia más dura posible sin perder de vista que se puedan colocar con un buen rendimiento. Para esta investigación el revenimiento especificado será de 3 pulgadas.

**TABLA No 3.4:** Revenimientos recomendados para varios tipos de construcción

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

*Fuente: Adaptación de la tabla 9-6 del capítulo 9 del libro diseño y control de mezclas de concreto de la PCA primer edición, que a su vez fue tomada del ACI 211.1*

## Paso 2. Elección del tamaño máximo del agregado

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

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

A veces, estas limitaciones se pasan por alto si la trabajabilidad y los métodos de compactación permiten que el concreto sea colado sin la formación de colmenas, en la estructura a colar.

## Paso 3. Sobrediseño

A continuación se presenta la TABLA No 3.5 la cual permite calcular la resistencia requerida según la resistencia de diseño especificada.

**TABLA No 3.5:** Resistencia a compresión media requerida cuando no hay datos disponibles para establecer la desviación estándar

Resistencia a compresión especificada, $f'c$ , (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a compresión media requerida $f'cr$ , (kg/cm <sup>2</sup> )
Menos que 210	$f'c + 70$
210 a 350	$f'c + 85$
Mayor que 350	$1.1f'c + 50$

*Fuente: Adaptación de la tabla 5.3.2.2 del ACI 318-08*

## Paso 4. Estimación del agua de mezclado y el contenido de aire

La cantidad de agua por volumen unitario de concreto requerida para producir determinado revenimiento, depende del tamaño máximo nominal, de la forma de la partícula, la granulometría de los agregados y de la cantidad de aire incluido.

La TABLA No 3.6 provee valores estimados del agua de mezclado requerida para concretos hechos con varios tamaños máximos nominales de agregados sin aire incluido.

**TABLA No 3.6:** Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire atrapado para diferentes revenimientos y TMN de agregado grueso

Agua, kg/m <sup>3</sup> para concreto de agregado TMN indicado								
Revenimiento (cm)	TMN (mm)							
	9.5	12.5	19	25	37.5	50	75	150
2.5-5.0	207	199	190	179	166	154	130	113
7.5-10	228	216	205	193	181	169	145	124
15-17.5	243	228	216	202	190	178	160	
Cantidad aprox. de concreto sin aire incluido (%)	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 diseño y control de mezclas de concreto de la PCA primer edición, que a su vez fue tomada del ACI 211.1 y del ACI 318*

### **Paso 5. Selección de la relación agua/cemento (A/C)**

La relación A/C requerida se determina no sólo por los requisitos de resistencia, sino también por otros factores como la durabilidad y las propiedades del acabado. Puesto que diferentes agregados y cementos producen, generalmente, distintas resistencias empleando la misma relación A/C, es muy deseable establecer una relación entre la resistencia y la relación A/C para los materiales que de hecho van a emplearse. En ausencia de estos datos, valores aproximados y relativamente conservadores para concretos elaborados con cemento Portland Tipo I pueden tomarse de la TABLA No 3.7. Con materiales comunes, las relaciones A/C tabuladas deben producir las resistencias indicadas, con base en pruebas a los 28 días de especímenes curados bajo condiciones estándar de laboratorio. La resistencia promedio seleccionada debe por supuesto exceder de la resistencia especificada por un margen suficiente para mantener dentro de los límites especificados las pruebas con bajos valores (ver ACI 214).

**TABLA No 3.7:** Relación agua/cemento (a/c) o agua/cemento más puzolana [a/(c+p)] y la resistencia a la compresión del concreto

Resistencia a la compresión a los 28 días, kg/cm <sup>2</sup> *	Relación agua/cemento (A/C) por peso	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
450	0.38	0.31
400	0.43	0.34
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.72

Fuente: Adaptación de la tabla 9-3 del capítulo 9 del libro diseño y control de mezclas de concreto de la PCA primer edición, que a su vez fue tomada del ACI 211.1 y del ACI 211.3

(\*) Los valores son resistencias promedio estimadas para concreto que no contiene más del 2 % de aire para concreto sin aire incluido y 6 % de contenido total de aire para concreto con aire incluido. Para una relación A/C, A / (C + P) constante se reduce la resistencia del concreto en la medida que el contenido de aire es incrementado. Los valores de resistencia a 28 días pueden ser conservadores y pueden cambiar cuando varios materiales cementantes son usados.

La resistencia está basada en su determinación a través del ensayo de especímenes estándar de 6" x 12" curados de acuerdo con ASTM C-31. Estos son cilindros curados con humedad a  $23 \pm 1.7^\circ \text{C}$  ( $73.4 \pm 3^\circ \text{F}$ ) previo a su ensayo.

### **Paso 6. Cálculo del contenido de cemento**

La cantidad de cemento por volumen unitario de concreto se rige por las determinaciones expuestas en el cuarto y quinto paso de este procedimiento (cálculo del contenido de agua y selección de la relación A/C). El cemento requerido es igual al contenido estimado de agua de mezclado dividido entre la relación A/C. A pesar que, la especificación incluye un límite mínimo independiente para la cantidad de cemento, en adición a los requerimientos de resistencia y durabilidad; la mezcla debe basarse en el criterio que conduzca a una cantidad mayor de cemento.

### **Paso 7. Estimación del contenido de agregado grueso**

Los agregados del mismo tamaño máximo nominal y misma granulometría producen concretos de trabajabilidad satisfactoria cuando se emplea un volumen

dado de agregado grueso por volumen unitario de concreto, con base en el Peso Unitario Seco Varillado. En la TABLA No 3.8 aparecen valores apropiados para estos volúmenes de agregado. Puede observarse que, para igual trabajabilidad, el volumen de agregado grueso en volumen unitario de concreto depende únicamente de su tamaño máximo nominal y del módulo de finura del agregado fino. Las diferencias en la cantidad de mortero requerido para la trabajabilidad con diferentes agregados, debidas a diferencias en la forma y granulometría de las partículas, quedan compensadas automáticamente por las diferencias en el contenido de vacíos, obtenidas cuando se determina el Peso Unitario Varillado en seco.

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

**TABLA No 3.8:** Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto

Tamaño máximo nominal de agregado, pulg. (mm)	Volumen de agregado grueso* varillado en seco, por volumen unitario de concreto para diferentes módulos de finura de agregado fino.			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8 (9.5)	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2 (12.5)	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4 (19.0)	0.66	0.64	0.62	0.60
1 (25.0)	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2 (37.5)	0.75	0.73	0.71	0.69
2 (50.0)	0.78	0.76	0.74	0.72
3 (75.0)	0.82	0.80	0.78	0.76
6 (150.0)	0.87	0.85	0.83	0.81

*Fuente: Adaptación de la tabla 9-4 del capítulo 9 del libro diseño y control de mezclas de concreto de la PCA primer edición, que a su vez fue tomada del ACI 211.1*

(\*) Los volúmenes están basados en agregados en condición varillada en seco, como se describe en ASTM C 29. Estos volúmenes se han seleccionado a partir de relaciones empíricas para producir concreto con un

*grado de trabajabilidad adecuado en la construcción reforzada. Para concretos menos trabajables, como los requeridos en la construcción de pavimentos de concreto, los valores de ésta tabla pueden incrementarse en un 10% aproximadamente. Como se ha mencionado arriba, para concretos más trabajables es necesario disminuir aproximadamente estos valores en un 10%.*

### **Paso 8. Estimación del contenido de agregado fino**

Al término del paso 7 se han estimado todos los componentes del concreto, excepto el agregado fino, cuya cantidad se determina por diferencia restando de  $1\text{m}^3$  (que representa el volumen total de la masa del concreto para el cual se diseña) la sumatoria de los volúmenes correspondientes al cemento, agua, aire atrapado y agregado grueso.

### **Paso 9. Ajustes por contenido de humedad**

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

- Si  $Ab \% > Hum.\%$ , el agregado absorberá agua del agua de mezclado obtenido de la TABLA No 3.6, por lo tanto hay necesidad de agregar una cantidad de agua equivalente a la diferencia entre la absorción y la humedad de los agregados a fin de evitar que este consumo adicional de agua se refleje en mezclas poco manejables.
- Si  $Ab \% < Hum.\%$ , el agregado aportará agua al agua de mezclado por lo tanto, hay necesidad de disminuir el agua de mezclado en una cantidad equivalente a la diferencia entre la humedad y la absorción a fin de evitar que la mezcla a elaborar sobrepase el revenimiento previsto.

### **Paso 10. Ajustes en las mezclas de prueba**

Las proporciones calculadas de la mezcla deben verificarse mediante mezclas de prueba, preparadas y probadas de acuerdo con ASTM C-192 (Elaboración y Curado de Especímenes de Concreto en el Laboratorio para Ensayo) o por medio

de mezclas reales en el campo. Sólo debe usarse el agua suficiente para producir el revenimiento requerido, independientemente de la cantidad supuesta al dosificar los componentes de la prueba. Debe verificarse el Peso Unitario (ASTM C-138) y el Revenimiento (ASTM C-143), así como el contenido de aire (ASTM C-138, C-173 ó C-231) del concreto. También debe tenerse cuidado de lograr la trabajabilidad apropiada, ausencia de segregación, así como las propiedades de acabado. Deben efectuarse los ajustes necesarios en las proporciones de las mezclas subsecuentes, de acuerdo con los siguientes procedimientos:

La cantidad estimada de agua de mezclado para producir el mismo revenimiento que el de la mezcla de prueba, sería igual a la cantidad neta de agua de mezclado empleada, dividida por la fluencia de la mezcla de prueba en  $m^3$ . Si el revenimiento de la mezcla de prueba no es el correcto, increméntese o redúzcase el nuevo contenido estimado de agua a 2 kg por metro cúbico de concreto para cada centímetro de incremento o reducción del revenimiento.

- Deben calcularse nuevos pesos de mezcla, comenzando con el Paso 4; si es necesario, se modificará el volumen de agregado grueso obtenido de la TABLA No 3.8, para obtener una trabajabilidad adecuada

### **3.5.6 FASE No 6: SELECCIÓN DE DISEÑO DEFINITIVO**

Partiendo de las mezclas preliminares se procederá a seleccionar el diseño definitivo el cual debe cumplir con la trabajabilidad y resistencia especificadas. Con este diseño se reproducirán las 5 mezclas definitivas cuyas características serán acordes con los requisitos especificados en este trabajo de graduación.

### **3.5.7 FASE No 7. REPRODUCCION DE MEZCLAS DEFINITIVAS**

Después de seleccionar el diseño definitivo se procederá a reproducir las 5 mezclas definitivas conformadas por los dos tamaños extremos y las 3 combinaciones seleccionadas en la FASE 4.

En esta fase se presentarán los proporcionamientos obtenidos en cada una de las mezclas definitivas. El número de especímenes a elaborar estará de acuerdo a los ensayos al concreto en estado endurecido, los cuales se muestran en la TABLA No. 3.9, con sus respectivas edades de ensayo y las dimensiones de los especímenes.

**TABLA No 3.9:** Ensayos al concreto en estado endurecido

Norma	Ensayo	Edades de ensayo			Dimensiones de espécimen
		3 Días	7 Días	28 Días	
ASTM C-39	Resistencia a la compresión	6	6	12	6x12(pulg.)
ASTM C-496	Tensión por partidura	2	2	2	6x12(pulg.)
ASTM C-469	Módulo estático			3	6x12(pulg.)
ASTM C-597	Módulo dinámico				
ASTM C-78	Módulo de ruptura	3	3	3	6x6x24

La rotulación de los especímenes a ensayar contendrá la siguiente información: Nombre de la tesis, Combinación de la mezcla, Ensayo para el cual fue elaborado, edad de ensayo, fecha de elaboración y número correlativo. Esta información se muestra resumida en la TABLA No 3.10.

**TABLA No 3.10:** Códigos para rotulación de especímenes

Nombre de tesis	Combinación de la mezcla 1 1/2"-3/4"	Ensayo a realizar		Edad de ensayo (días)	Fecha de elaboración	Numero correlativo
Tesis UES G.C.	0-100	Resistencia a compresión	RC	3d 7d 28d	DD/MM/AA	1-12
	40-60	Tensión por partidura	TP			
	50-50	Módulo de ruptura	MR			
	60-40	Mod. Elasticidad estático	MEE			
	100-0	Mod. Elasticidad dinámico	MED			

Todos los especímenes serán curados según lo establece la norma ASTM C-192 hasta el día de su ensayo.

### **3.5.8 FASE No 8. ENSAYOS AL CONCRETO EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO**

En esta fase se realizaran los ensayos para determinar las propiedades mecánicas del concreto y se presentaran los resultados obtenidos en cada uno de ellos. Los ensayos al concreto fresco y endurecido se definieron en el apartado 3.5.2 (FASE 2, ver TABLAS No 3.1 y No 3.2); y las edades a las cuales se realizaran estos ensayos se establecen en la TABLA 3.9.

### **3.5.9 FASE 9. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL TRABAJO EXPERIMENTAL**

Después de realizar todas las pruebas y registrar todos los resultados de los ensayos, se procederá al análisis de los mismos, tanto al concreto en estado fresco; así como en estado endurecido para cada una de las mezclas realizadas por medio de la comparación entre ellas. Finalmente se establecerán las conclusiones de la investigación.

## CAPITULO IV

# DISEÑO Y PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS DE CONCRETO

## **4.1 GENERALIDADES**

En este capítulo se presenta el desarrollo de la metodología de la investigación, desde la fase de selección de los materiales hasta la reproducción de mezclas definitivas. También se presentan los resultados de los ensayos de determinación de propiedades físicas de los agregados, los cuales son indispensables para el diseño de las mezclas preliminares.

Con los resultados de la caracterización de los agregados se procederá a elaborar las combinaciones granulométricas teóricas y de laboratorio, con el fin de seleccionar las 3 combinaciones que se utilizarán en la elaboración de las mezclas definitivas.

Además, se presentan los resultados de todas las mezclas preliminares realizadas; así como la selección del diseño definitivo, el cual se tomará de base para elaborar las mezclas definitivas.

## **4.2 SELECCIÓN DE LOS MATERIALES**

Los materiales a utilizar en la elaboración de todas las mezclas de concreto en esta investigación proceden de una misma fuente. Tanto el agregado grueso (grava) como el agregado fino (arena) provienen del banco de materiales de La Cantera S.A. de C.V., el cual se encuentra ubicado en San Diego, La Libertad. A continuación se hará una breve descripción de dicho banco de materiales, así como el respectivo proceso de producción de los agregados.

### **4.2.1 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DEL BANCO DE EXTRACCIÓN**

La producción de la grava se realiza en la Pedrera San Diego de la empresa La Cantera, S.A. ubicada en el km 57 ½ de la carretera El Litoral, 2 km al oriente de la ciudad y puerto de La Libertad. Pertenece al cantón Tepeagua del municipio y departamento de La Libertad. Aquí se producen agregados que proceden de rocas cuya fragmentación es causada por medios artificiales.

### ***Geología del yacimiento***

El yacimiento está constituido por dos derrames de lavas de composición básica (basalto - andesita basáltica). La colada inferior contiene basaltos columnares, mientras que la superior es muy variable. En ambos casos forman prismas hexagonales (ver FIGURA No 4.1).

**FIGURA No 4.1:** Yacimiento de LA CANTERA.



### ***Basaltos columnares***

La colada lávica basal está compuesta por basaltos de color gris oscuro en fractura fresca, y café amarillento en la superficie. Poseen textura afanítica o de grano fino, con fenocristales de plagioclasas; dureza y densidad alta.

Los hexágonos tienen un lado mayor que va desde 1.00 a 1.25 m las cuales contienen fisuras con manchas de óxidos de hierro y óxidos de manganeso que sirven de planos de debilidad por donde se rompen los bloques.

### ***Colada Superior***

Está constituida por lavas basálticas a andesitas basálticas, de color gris muy oscuro en fractura fresca y café amarillenta en la superficie.

Textura afanítica con matriz hialina y fenocristales de plagioclasas; dureza y densidad alta. Debido a que en estas lavas se observa una matriz más vítrea, los fragmentos se rompen dejando aristas muy agudas. Estas lavas presentan discontinuidades semicirculares, convexas, hasta llegar a formar rosetas.

Dichas lavas se depositaron en una superficie irregular de acumulación y por eso tienen un espesor desigual, consecuentemente dispusieron de condiciones de enfriamientos heterogéneos, generando corrientes de convección durante el proceso de enfriamiento. Esta condición particular genera juntas parcialmente verticales a sub-verticales progresando a horizontales y cóncavas.

De las dos capas de lavas, la superior tiene mayor número de juntas debido a la presencia de las complejas discontinuidades y al tamaño de las secciones pequeñas de sus hexágonos, además es la que más facilidad presenta para el proceso de explotación y de trituración. Estos factores hacen más económicos el proceso de reducción del tamaño de las partículas para su comercialización.

#### **4.2.2 PROCESO DE PRODUCCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS**

Previo a la perforación para dinamitar una sección de la formación se inicia descapotando la superficie superior, ya que este material no es apto para ser triturado por contener material orgánico o ser de menor calidad al requerido. Algunas veces se vende para ser utilizado en rellenos y para balastrear carreteras rurales.

La perforación se realiza por medio de drillers (ver FIGURA No 4.2), el cual perfora agujeros que pueden ser de 6, 12 y hasta 18 metros de profundidad dependiendo del volumen que sea requerido. Los estratos pueden ser dinamitados utilizando dos tipos de explosivos dependiendo si la zona se encuentra húmeda o seca. Esta etapa se realiza con el fin de fracturar la roca.



**FIGURA No 4.2:** Perforación con driller.

El material resultante, es cargado por una pala mecánica a camiones de volteo (ver FIGURA No 4.3). El material de las gradas superiores se carga al camión tal y como ha sido fragmentado, mientras que el de la parte inferior (roca columnar), por ser demasiado grande es reducido de tamaño por medio de un martillo, para que el material pueda ser cargado por la pala y también evitar que las quijadas de la trituradora primaria se dañen.

**FIGURA No 4.3:** Cargado por pala mecánica.



Una vez cargado el material por la pala mecánica este es transportado por los camiones de volteo a la trituradora primaria. Estos camiones son de gran tamaño, de modo que se pueda maximizar el volumen de material a depositar en la trituradora (ver FIGURA No 4.4).



**FIGURA No 4.4:** Transporte de materiales.

Siguiendo con el proceso, en una primera etapa, la roca es depositada en una trituradora primaria que consta de un juego de quijadas que reduce la roca a tamaños de 6 a 8 pulgadas.

Cuando el material sale de la trituradora primaria, este es transportado por la banda hasta el primer vibrador, donde se encuentra una malla que extrae el material más fino o material selecto, y luego se continúa procesando el agregado retenido en esta; el cual es transportado a una trituradora secundaria tipo cono que la golpea para reducirla a una grava de tamaño más pequeño, aproximadamente de 1 1/2" (ver FIGURA No 4.5).

**FIGURA No 4.5:** Proceso de trituración.



Al final de los diferentes procesos de trituración hay cuatro bandas transportadoras que depositan el material ya terminado en diferentes ubicaciones. Los productos terminados se les denomina: grava #1/2, grava #3/4, grava #1 y arena triturada (ver FIGURA No 4.6).

Este proceso de producción es operado desde una cabina de control, donde se manejan las trituradoras, los vibradores y las bandas transportadoras.



**FIGURA No 4.6:** Bandas transportadoras.

El material terminado es cargado por la pala mecánica y transportado a patios, donde se acopia para ser comercializado (ver FIGURA No 4.7).

**FIGURA No 4.7:** Acopio del material.



En esta planta existe otro proceso, donde se produce agregados llamado ALTEX, el cual realiza el mismo proceso que fue descrito anteriormente, con la diferencia de que esta se encarga de producir grava # 0, grava # 3/8, grava # 3/4, grava # 2 y grava # 3 (ver FIGURA No 4.8).



**FIGURA No 4.8:** Maquina ALTEX.

#### **4.2.3 PROCESO DE PRODUCCION DE AGREGADO FINO**

La arena natural lavada industrialmente que se extrae en la Planta de La Cantera S.A. de C.V. ubicada sobre la calle que conduce a Cangrejera, Cantón Cangrejera, en las riberas del río Tihuapa (ver FIGURA No 4.9); 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 por causas naturales.

Estas arenas son sometidas a un proceso de lavado industrial en la Planta de La Cantera S.A. de C.V. Con la finalidad de mejorar la calidad de las mismas.

**FIGURA No 4.9:** Planta de extracción y lavado de arena natural en el río Tihuapa.



*Fuente: Google maps*

Previamente al lavado, la arena natural es extraída y transportada hasta el acopio (ver FIGURA No 4.10), para luego dar inicio al proceso que se detalla a continuación:

La arena sin ningún tratamiento es depositada en una tolva, la cual la conduce hacia una banda transportadora.

La arena transportada es pasada por un proceso de cribado para remover el material de sobre tamaño (entiéndase material de sobre tamaño como aquellas partículas de agregado mayores de 7/8”), durante el cual, simultáneamente se da el primer proceso de lavado mediante un mecanismo de jets (tubería perforada) para la aplicación de agua a presión a la arena con el fin de remover limos, arcillas y partículas ligeras.

En la FIGURA No 4.11 se muestra la máquina de lavado empleada por la empresa La Cantera para la extracción de la arena del río Tihuapa.



**FIGURA No 4.10:** Extracción de arena, río Tihuapa.

**FIGURA No 4.11:** Proceso de lavado de arena.



El cribado consta de dos etapas, la primera corresponde a un tamizado de la arena a través de una malla con abertura de 7/8" lo cual hace que todo lo que supera dicho tamaño sea considerado como material de rechazo y se deposite en un punto destinado para dicho material; en la segunda etapa de cribado el material que pasó por el primer tamiz también es pasado a través de una malla con abertura de 5/16" y todo lo que pasa 7/8" y retiene 5/16" también es considerado como material de rechazo y se almacena en un mismo punto (la FIGURA No 4.12 muestra la evacuación del material de sobre tamaño producto del tamizado y su almacenamiento en un punto específico); este proceso se realiza en dos etapas para prevenir el excesivo desgaste que puedan presentar

las mallas, así como también garantizar que todas las partículas tengan la oportunidad de pasar el tamiz 5/16” debido a que si se realizara únicamente en esta última, es posible que esto no se logre y una parte de arena sea rechazada.



**FIGURA No 4.12:** Proceso de cribado y evacuación del material de sobre tamaño.

Posteriormente a las dos etapas del cribado, el material que pasó la malla con abertura de 5/16” cae a una pila de agua en la cual se encuentra un par de tornillos sin fin o “gusanos helicoidales” (ver FIGURA No 4.13), mediante los cuales tiene lugar la segunda etapa de lavado, la cual consiste en la acción que los tornillos ejercen para revolver y empujar la arena hacia la banda transportadora, durante este proceso de revoltura de la arena se garantiza una mayor remoción de limos, arcillas y partículas ligeras que pudieron haber quedado aún después del primer proceso de lavado por el mecanismo de jets, obteniendo de esta manera una arena con una cantidad de partículas ligeras y material que pasa el tamiz No. 200 bastante reducida, lo cual es favorable ya que excesos de estos son considerados impurezas. En la FIGURA No 4.14 se puede observar el producto final que es, en este caso la arena natural lavada industrialmente.



**FIGURA No 4.14:** Tornillos sin fin (Gusanos helicoidales).



**FIGURA No 4.13:** Producto final arena natural lavada industrialmente.

#### **4.2.4 PROCEDIMIENTO DE SELECCIÓN DE AGREGADOS**

Para llevar a cabo esta investigación, en la cual el objetivo es combinar agregados gruesos de diferente granulometría, se ha considerado emplear gravas de TMN de 3/4" y gravas de TMN de 1 1/2".

A continuación se presentan algunas características granulométricas de estos agregados gruesos y el criterio de selección para emplearse en el diseño de las mezclas.

#### **AGREGADOS GRUESOS**

##### ***Gravas de TMN 3/4"***

Ya que en La Cantera S.A. de C.V. se producen dos tipos de gravas de TMN de 3/4", llamadas Gravas No 1 y Gravas No 3/4 Altex, estas se tuvieron que comparar con las granulometrías de la norma ASTM C-33 "*Especificación estándar de agregados para concreto*" que cumplen con el TMN 3/4" (No 67 y No 6), para elegir la que más se adapte a los requisitos de dicha especificación.

En la TABLA No 4.1 se presenta la granulometría de la Grava No 1 comparada con las granulometrías de tamaño No 67 y No 6 de la especificación de la norma

ASTM C-33, los datos sombreados indican que la granulometría de la grava No 1 no cumple con algunos de los requisitos de la especificación, y que la curva granulométrica de ésta, cae fuera de los límites especificados.

Por otra parte, en la TABLA No 4.2 se presenta la granulometría de la Grava No 3/4 Altex, comparada con las granulometrías de tamaño No 467 y No 4. Como se puede observar, esta grava no cumple con todos los requisitos de la granulometría No 6, sin embargo cumple con los requisitos especificados por la granulometría No 67, por lo cual ésta será seleccionada para el diseño de las mezclas de concreto.

**TABLA No 4.1:** Comparación de grava No 1 producida por la Cantera S.A. de C.V. contra No de tamaño 67 y 6 de la especificación ASTM C-33

Abertura de Tamiz (pulg)	Abertura de malla (mm)	Porcentaje que pasa (%)		
		No 67	Grava No 1	No 6
# 1	25.00	100	100	100
# 3/4	19.00	100-90	90	100-90
# 1/2	12.50	-	44	55-20
# 3/8	9.50	55-20	33	15-0
# 4	4.75	10-0	10	5-0
# 8	2.36	5-0	4	

**TABLA No 4.2:** Comparación de grava No 3/4 Altex producida por la Cantera S.A. de C.V. contra No de tamaño 67 y 6 de la especificación ASTM C-33

Abertura de Tamiz (pulg)	Abertura de malla (mm)	Porcentaje que pasa (%)		
		No 67	Grava No 3/4 Altex	No 6
# 1	25.00	100	100	100
# 3/4	19.00	100-90	99	100-90
# 1/2	12.50	-	60	55-20
# 3/8	9.50	55-20	28	15-0
# 4	4.75	10-0	3	5-0
# 8	2.36	5-0	2	

### **Gravas de TMN 1 1/2"**

Al igual que para las gravas de TMN de 3/4", en la cantera también se producen dos tipos de gravas de TMN de 1 1/2", llamadas Gravas No 2 y Gravas No 3. Estas se han comparado con las especificaciones de granulometrías de la norma ASTM C-33 que cumplen con el TMN 1 1/2" (No 467 y No 4) para elegir la que más se adapte a esta especificación.

En las TABLAS No 4.3 y 4.4 se presentan las granulometrías de la Grava No 2 y No 3 comparadas con las granulometrías de tamaño No 467 y No 4. Los datos sombreados indican los rangos en los cuales la granulometría no cumple con los requisitos de la especificación.

Como se puede observar la grava No 2 no cumple con ninguno de los rangos granulométricos de tamaño No 467; Sin embargo, la Grava No 3 cumple con los requisitos de la granulometría de tamaño No 4. Por lo cual ésta será seleccionada para el diseño de las mezclas de concreto.

**TABLA No 4.3:** Comparación entre grava No 2 producida por la Cantera S.A. de C.V. contra No de tamaños 467 y 4 de la especificación ASTM C-33

Abertura de Tamiz (pulg)	Abertura de malla (mm)	Porcentaje que pasa (%)		
		No 467	Grava No 2	No 4
# 2	50.00	100	100	100
# 1 1/2	37.50	100-95	100	100-90
# 1	25.00	100-90	88	-
# 3/4	19.00	70-35	29	15-0
# 1/2	12.50	-	2	-
# 3/8	9.50	30-10	2	5-0
# 4	4.75	5-0	2	

**TABLA No 4.4:** Comparación entre grava No 3 producida por la Cantera S.A. de C.V. contra No de tamaño 467 y 4 de la especificación ASTM C-33

Abertura de Tamiz (pulg)	Abertura de malla (mm)	Porcentaje que pasa (%)		
		No 467	Grava No 3	No 4
# 2	50.00	100	100	100
# 1 1/2	37.50	100-95	96	100-90
# 1	25.00	100-90	53	-
# 3/4	19.00	70-35	15	15-0
# 1/2	12.50	-	1	-
# 3/8	9.50	30-10	1	5-0
# 4	4.75	5-0	1	

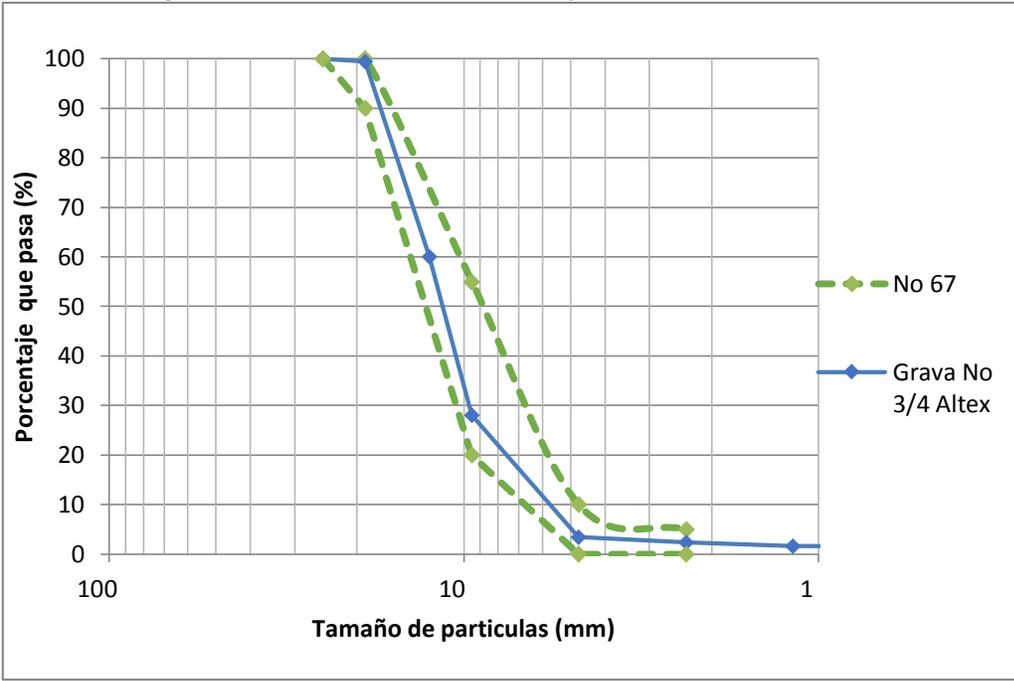
Las gravas seleccionadas para realizar el diseño de las 5 mezclas son las siguientes:

Grava No 3/4 Altex  $\longrightarrow$  Granulometría No 67 ASTM C-33

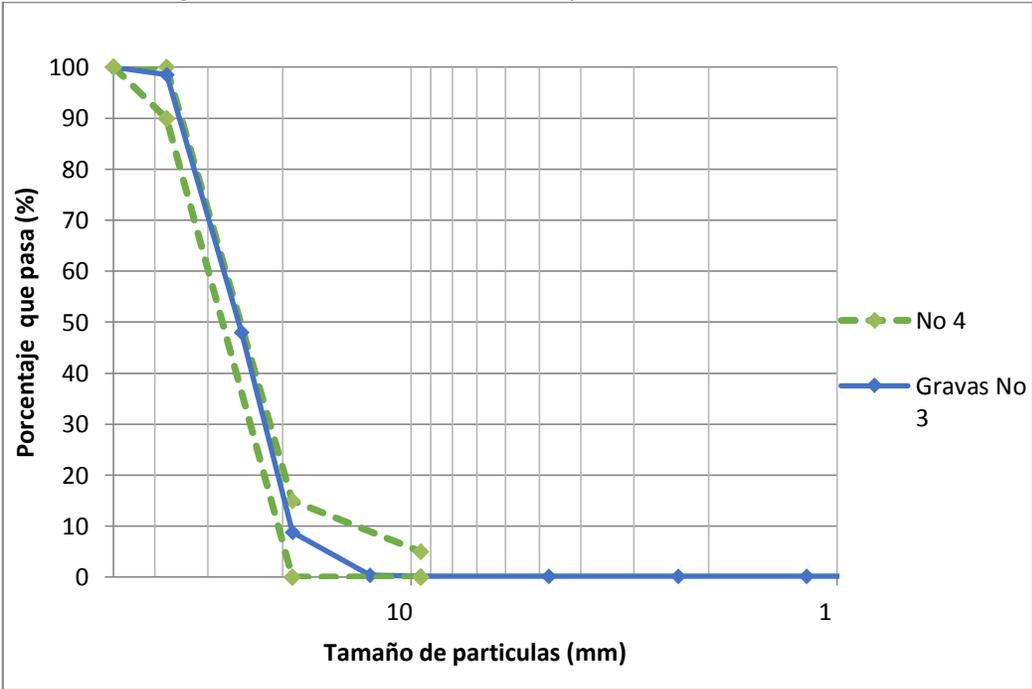
Grava No 3  $\longrightarrow$  Granulometría No 4 ASTM C-33

A continuación se presenta la curva granulométrica de la Grava No 3/4 Altex y Grava No 3 comparada con las granulometrías de tamaño No 67 y No 3 respectivamente (Ver FIGURAS No 4.15 y 4.16).

**FIGURA No 4.15:** Curva granulométricas de gravas No 3/4 Altex (TMN 3/4") contra límites de la granulometría No 67 establecidos por la norma ASTM C-33



**FIGURA No 4.16:** Curva granulométricas de gravas No 3 Altex (TMN 1 1/2") contra límites de la granulometría No 4 establecidos por la norma ASTM C-33



## AGREGADO FINO

La Cantera también produce dos tipos de agregado fino, los cuales son:

- Arena Natural Lavada Industrialmente.
- Arena triturada.

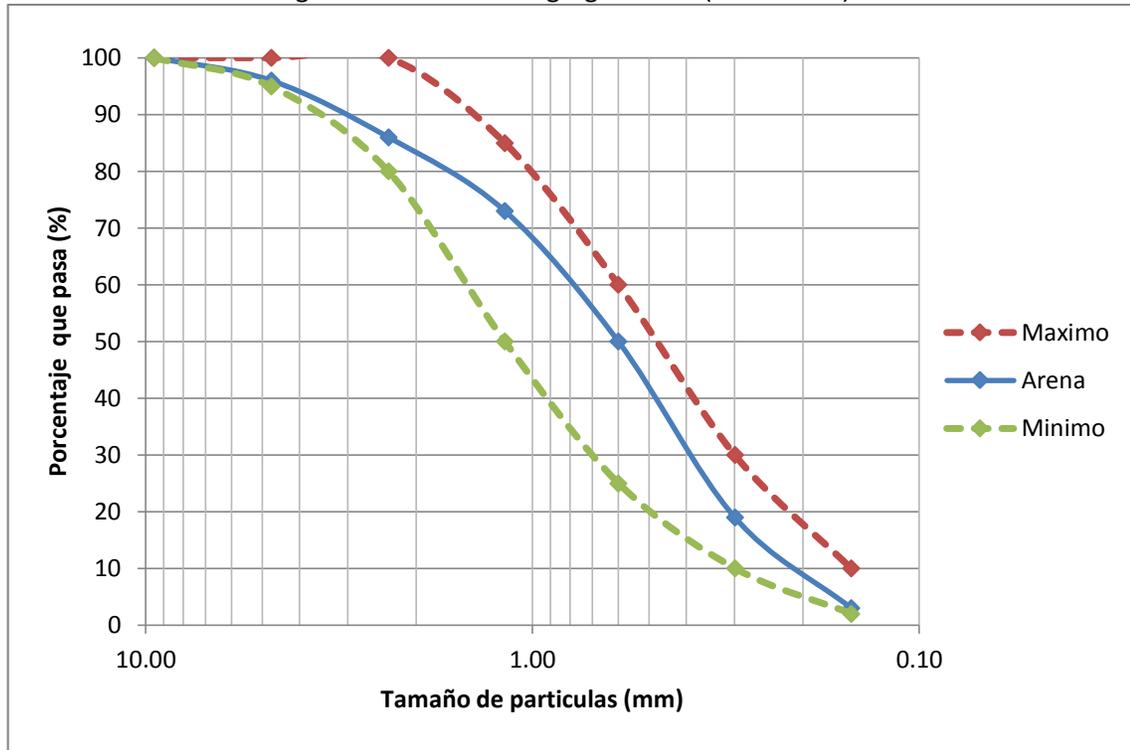
Para los propósitos del presente trabajo de Graduación se eligió trabajar con Arena natural lavada industrialmente; debido a que en estudios anteriores se ha demostrado que la arena triturada puede causar problemas en la trabajabilidad del concreto.

A continuación se presenta en la TABLA No 4.5 las características granulométricas de este agregado con su respectivo grafico (ver FIGURA No 4.17).

**TABLA No 4.5:** Granulometrías de Arena Lavada Industrialmente producida por la Cantera S.A de CV contra límites granulométricos de agregado fino (ASTM C-33)

Malla	Arena lavada industrialmente	Límites granulométricos para agregado fino ASTM C-33	
	Porcentaje que pasa (%)	Min-Max (%)	Promedio (%)
3/8"	100	100	100
# 4	96	95-100	98
# 8	86	80-100	90
# 16	73	50-85	68
# 30	50	25-60	43
# 50	19	10-30	10
# 100	3	2-10	6
Fondo	0	-	-
Módulo de finura		2.73	

**FIGURA No 4.17:** Curva granulométrica de Arena Lavada Industrialmente contra límites granulométricos de agregado fino (ASTM C-33)



#### 4.2.5 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 300 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días, y debido a sus características de alta resistencia inicial es recomendado para cualquier tipo de uso en las construcciones en general, especialmente en concretos estructurales para pavimentos, estabilización de suelos y bases granulares.

El valor de gravedad Específica de dicho cemento es de 3.0; el cual se tomó del certificado de calidad del producto proporcionada por el fabricante.

#### 4.2.6 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.

#### 4.3 DEFINICIÓN DE ENSAYOS A REALIZAR

A continuación se presenta una breve descripción de los ensayos que se pretende realizar al concreto en estado fresco y endurecido con su respectiva normativa.

##### 4.3.1 MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA REVENIMIENTO DE CONCRETO HIDRÁULICO

Se seguirá lo señalado por la norma ASTM C-143 “Método de ensayo estándar para revenimiento del concreto de cemento hidráulico”. En dicho ensayo una muestra de concreto fresco es colocada y compactada mediante varillado en un molde con forma de cono truncado. El molde es levantado y el concreto se derrama. La distancia vertical entre la posición original y desplazada del centro de la cara superior del concreto es medida y reportada como el revenimiento del concreto (ver FIGURA No 4.18).

Este método de ensayo se considera aplicable a concreto plástico que contiene agregado grueso con tamaño hasta de 1 ½ plg (37.5 mm).

El revenimiento se reportara con una precisión de ¼ plg (5 mm) de hundimiento del espécimen durante el ensayo.



**FIGURA No 4.18:** Ensayo de Revenimiento

#### 4.3.2 MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA MEDICIÓN DE TEMPERATURA EN CONCRETO RECIÉN MEZCLADO



**FIGURA No 4.19:** 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”.

Este método de ensayo proporciona un medio para medir la temperatura del concreto fresco.

El dispositivo Medidor de Temperatura, deberá ser capaz de medir la temperatura del concreto fresco con aproximación de  $\pm 1^\circ\text{F}$  ( $\pm 0.5^\circ\text{C}$ ) dentro de un rango de  $30^\circ\text{F}$  a  $120^\circ\text{F}$  ( $0^\circ\text{C}$  a  $50^\circ\text{C}$ ). El dispositivo medidor de temperatura requerirá la inmersión de por lo menos 3 pulg. (75 mm), (ver FIGURA No

4.19), durante la operación y este deberá permanecer por un periodo mínimo de 2 min o hasta que la temperatura se estabilice luego registrar la lectura.

#### 4.3.3 MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA MEDICIÓN DE LA DENSIDAD (PESO VOLUMÉTRICO), VOLUMEN PRODUCIDO (RENDIMIENTO) Y CONTENIDO DE AIRE (MÉTODO GRAVIMÉTRICO) DEL CONCRETO

Para este ensayo, se seguirá el procedimiento indicado en la norma ASTM C-138 “Método de ensayo estándar para la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (gravimétrico) del concreto”.

Este método de ensayo cubre la determinación de la densidad en mezclas de concreto fresco y proporciona fórmulas para calcular el volumen



**FIGURA No 4.20:** Ensayo de Peso Volumétrico

producido, contenido de cemento y contenido de aire del concreto (ver FIGURA No 4.20). El volumen producido se define como el volumen de concreto producido con una mezcla de cantidades conocidas de los materiales que lo componen.

#### **4.3.4 MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA MEDICIÓN DEL CONTENIDO DE AIRE**

Para este ensayo, se seguirá el procedimiento indicado en la norma ASTM C-231 “Método de ensayo estándar para contenido de aire en una mezcla de concreto fresco por el método de presión”.

Este ensayo determina el contenido de aire de una mezcla de concreto fresco excluyendo cualquier aire que pueda estar dentro de los vacíos de las partículas de agregado. Por esta razón, es aplicable a concreto hecho con partículas de agregado relativamente densas y requiere la determinación del factor de corrección de agregados.

##### ***Medidor de Aire***

Existen aparatos satisfactorios de dos diseños básicos de operación que emplean el principio de la Ley de Boyle, designados como Medidor Tipo A y Medidor Tipo B. Para la determinación del contenido de aire de las mezclas elaboradas en este trabajo se utilizara el medidor tipo B (ver FIGURA No 4.21).



**FIGURA No 4.21:** Medidor Tipo B

#### **4.3.5 PRACTICA ESTÁNDAR PARA LA ELABORACIÓN Y CURADO DE ESPECÍMENES DE CONCRETO EN EL LABORATORIO**

Para la realización de este ensayo se seguirá el procedimiento indicado en la norma ASTM C-192 “practica estándar para elaboración y curado en el laboratorio de especímenes de concreto para ensayo”

Esta práctica provee los requerimientos estandarizados para la preparación de materiales, mezclado de concreto y elaboración y curado de especímenes de concreto bajo condiciones de laboratorio (ver FIGURA No 4.22).



**FIGURA No 4.22:** Moldeado de especímenes cilíndricos

#### **4.3.6 MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO**



**FIGURA No 4.23:** Compresión de cilindros

Para la realización de este ensayo se seguirá el procedimiento indicado en la norma ASTM C-39 “Método de ensayo estándar para resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto”. Este método de ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión al cilindro moldeado o núcleo a una razón que está dentro del rango prescrito antes de que la falla ocurra (ver FIGURA No 4.23). El esfuerzo de compresión del espécimen es calculado dividiendo la carga máxima obtenida durante el ensayo por el área de la sección transversal del espécimen.

Los resultados de este método de ensayo son usados como una base para el control de calidad de las operaciones de

proporcionamiento, mezclado y colocación del concreto; determinación de concordancia con las especificaciones y usos similares.

#### **4.3.7 MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO**

Para la realización de este ensayo se seguirá el procedimiento indicado en la norma ASTM C-78 “Método de Ensayo Estándar para Resistencia a Flexión del Concreto (usando una viga simple cargada al tercio medio)”

Este método de ensayo es usado para determinar la resistencia a la flexión de especímenes preparados y curados de acuerdo con el Método de Ensayo C-42 ó Práctica C-31 ó C-192 (ver FIGURA No 4.24). Los resultados son calculados e informados como el módulo de ruptura.

Los resultados de este método de ensayo se pueden utilizar para determinar el cumplimiento de las especificaciones o como base para la dosificación, de mezclado y operaciones de colocación. Se utiliza en las pruebas de concreto para la construcción de losas y pavimentos.



**FIGURA No 4.24:** Ensayo de resistencia a la flexión

#### **4.3.8 MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA RESISTENCIA A LA TENSIÓN INDIRECTA DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO (TENSIÓN POR PARTIDURA)**

Para la realización de este ensayo se seguirá el procedimiento indicado en la norma ASTM C-496 “Método de ensayo estándar para resistencia a la tensión indirecta de especímenes cilíndricos de concreto (Tensión por partidura).”

Este método de ensayo consiste en aplicar una fuerza compresiva diametral a lo largo de un espécimen cilíndrico de concreto a una tasa que está dentro de un

rango prescrito, hasta que la falla ocurra (ver FIGURA No 4.25). Esta carga induce esfuerzos de tensión en el plano conteniendo la carga aplicada y relativamente esfuerzos de compresión altos en el área inmediatamente alrededor de la carga aplicada. La falla por tensión ocurre en lugar de la falla por compresión porque las áreas de aplicación de carga están en un estado de compresión triaxial, por eso les concede un esfuerzo de compresión mucho mayor que el resultado indicado por un ensayo de resistencia a compresión uniaxial.



**FIGURA No 4.25:** Ensayo de Tensión por Partidura

Para llevar a cabo este ensayo soportes de plywood delgados son usados con el fin de que la carga sea aplicada uniformemente a lo largo del cilindro.

La máxima carga sostenida por el espécimen es dividida por un factor geométrico apropiado para obtener el esfuerzo de tensión por partidura.

El esfuerzo de tensión por partidura es útil para determinar el esfuerzo de tensión directa.

#### **4.3.9 MODULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO Y RELACIÓN DE POISSON DEL CONCRETO EN COMPRESIÓN**

Para la realización de este ensayo se seguirá el procedimiento indicado en la norma ASTM C-469 “Modulo de elasticidad estático y relación de Poisson del concreto en compresión”

Este método de ensayo cubre la determinación del módulo de elasticidad secante (de Young) y la relación de Poisson en cilindros de concreto moldeados y núcleos de concreto taladrados cuando son sometidos a esfuerzos de compresión longitudinal (ver FIGURA No 4.26).

Este método de ensayo proporciona un valor de la relación esfuerzo a deformación y una relación de deformación lateral a longitudinal para el concreto endurecido a cualquier edad y condiciones de curado que pueden ser establecidas.

Los valores del módulo de elasticidad y relación de Poisson, aplicables dentro del rango de esfuerzos de trabajo (0 a 40% de la resistencia última del concreto), puede ser usada en el dimensionamiento de miembros estructurales reforzados y no reforzados para establecer la cantidad del refuerzo y calcular los esfuerzos para las deformaciones observadas.



**FIGURA No 4.26:** Ensayo de Modulo de Elasticidad

#### **4.3.10 MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA VELOCIDAD DEL PULSO A TRAVÉS DEL CONCRETO (MODULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO)**

Para la realización de este ensayo se seguirá el procedimiento indicado en la norma ASTM C-597 “Método de ensayo estándar para la velocidad del pulso a través del concreto (Modulo de elasticidad dinámico)”

Este método de ensayo cubre la determinación de la velocidad de propagación de pulso de ondas de esfuerzo longitudinal a través del concreto. Este método de ensayo no aplica para la propagación de otro tipo de ondas de esfuerzo a través del concreto.

Los pulsos de ondas de esfuerzo longitudinal son generados por un transductor electro-acústico que es mantenido en contacto con una superficie de concreto bajo prueba (ver FIGURA No 4.27). Después de atravesar el concreto, los pulsos son recibidos y convertidos en energía eléctrica por un segundo transductor

colocado a una distancia  $L$  del transductor transmisor. El tiempo de tránsito  $T$  es medido electrónicamente. La velocidad del pulso  $V$  es calculada dividiendo  $L$  entre  $T$ .

Este método de ensayo se aplica para juzgar la uniformidad y calidad relativa del concreto, para indicar la presencia de vacíos y grietas, y para evaluar la efectividad de la reparación de las grietas. También es aplicable para indicar cambios en las propiedades del concreto, y en el análisis de estructuras, para estimar la severidad de deterioro o agrietamiento.

El grado de saturación del concreto afecta la velocidad de pulso, y este factor puede ser considerado cuando se evalúan los resultados del ensayo. En adición, la velocidad de pulso en concreto saturado es menos sensitiva a los cambios en su calidad relativa.



**FIGURA No 4.27:** Ensayo de Modulo de Elasticidad Dinámico

#### **4.4 DETERMINACION DE LAS PROPIEDADES FISICAS DE LOS AGREGADOS**

Es muy importante el análisis de los agregados, ya que gracias a éstas propiedades se podrá diseñar un concreto con las características deseadas. Si el análisis de estas es erróneo, el concreto que se elaborará no tendrá los requerimientos para el cual fue fabricado.

Los agregados conforman entre el 60% y el 70% del volumen del concreto, razón por la cual es importante conocer sus propiedades y la influencia de las mismas en las propiedades del concreto para optimizar no solo su uso y explotación, sino también el diseño de mezclas de concreto.

Las características físicas y mecánicas de los agregados tienen importancia en la trabajabilidad, consistencia, durabilidad y resistencia del concreto.

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 (ver ANEXOS A Y B).

#### **4.4.1 METODO DE ENSAYO ESTANDAR PARA ANALISIS POR TAMIZADO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS (BASADO EN ASTM C-136)**

##### ***Definición***

Este método de ensayo cubre la determinación de la distribución del tamaño de partículas de los agregados finos y gruesos mediante tamizado.

Los resultados se utilizan para determinar el cumplimiento de la distribución de tamaño de las partículas con los requisitos de especificación aplicables y proporcionar los datos necesarios para el control de la producción de diversos productos de agregados y mezclas que contengan agregados.

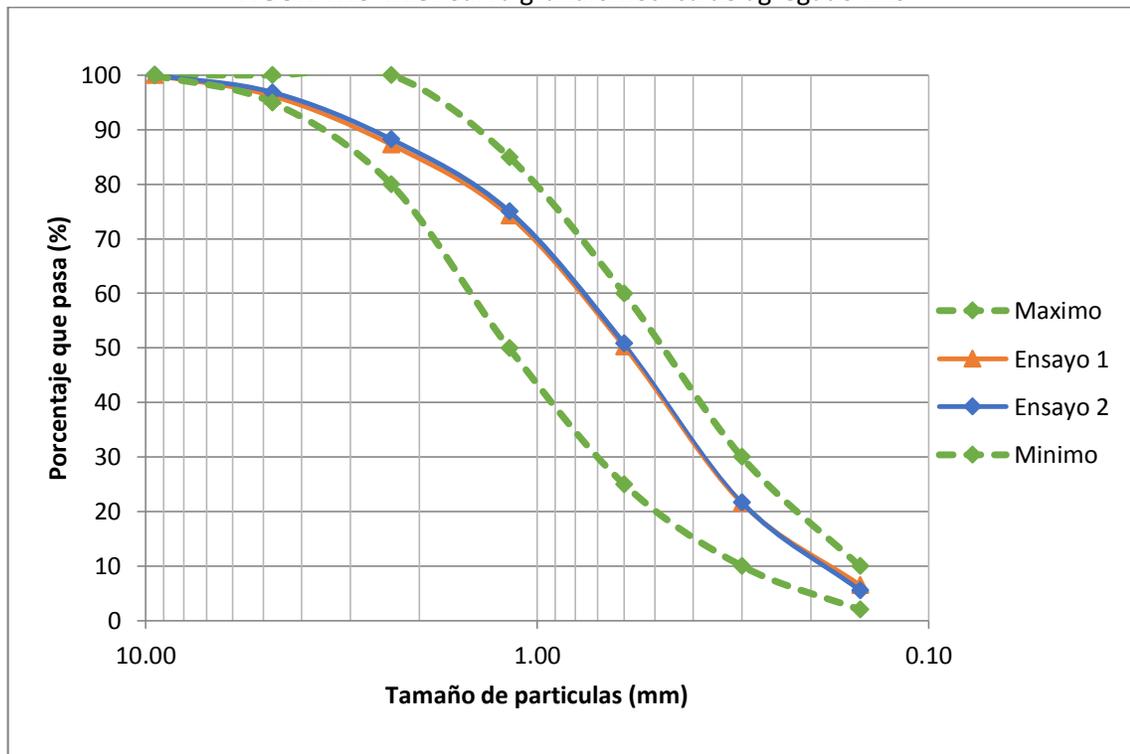
A continuación se presentan en las TABLAS No 4.6 a No 4.8 y FIGURAS No 4.28 a 4.30 los resultados del ensayo granulométrico realizado a los agregados gruesos y finos utilizados en el presente trabajo de investigación con sus respectivos gráficos de distribución de tamaños.

**TABLA No 4.6:** Ensayo granulométrico de agregado fino: Arena lavada industrialmente

Malla	Ensayo No 1	Ensayo No 2	Límites granulométricos para agregado fino ASTM C-33	
	Porcentaje que pasa (%)	Porcentaje que pasa (%)	Min-Max (%)	Promedio (%)
3/8"	100	100	100	100
# 4	96	97	95-100	98
# 8	87	88	80-100	90
# 16	74	75	50-85	68
# 30	50	51	25-60	43
# 50	22	22	10-30	10
# 100	7	6	2-10	6
Fondo	0	0	-	-
Módulo de finura promedio			2.63*	

\* En el caso del agregado fino se encontró que el módulo de finura calculado, tiene una diferencia de 0.1 del valor característico de la fuente.

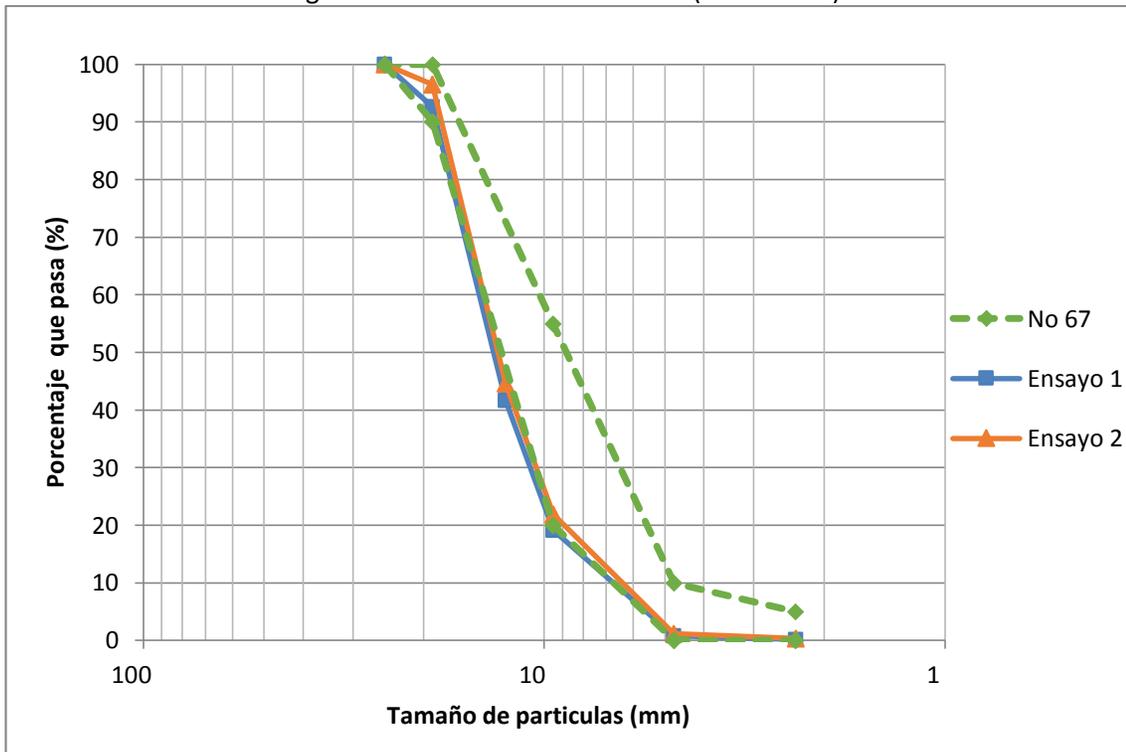
**FIGURA No 4.28:** Curva granulométrica de agregado fino



**TABLA No 4.7:** Ensayo granulométrico de agregado grueso: Grava ¾"

Malla	Ensayo No 1	Ensayo No 2	Límites granulométricos agregado grueso de tamaño No 67 (ASTM C-33)	
	Porcentaje que pasa (%)	Porcentaje que pasa (%)	Min-Max (%)	Promedio (%)
1"	100.00	100	100	100
¾"	93	97	90-100	95
½"	42	45	-	-
⅜"	19	22	20-55	38
N° 4	1	1	0-10	5
N°8	0	0	0-5	3
Fondo	0	0	-	-

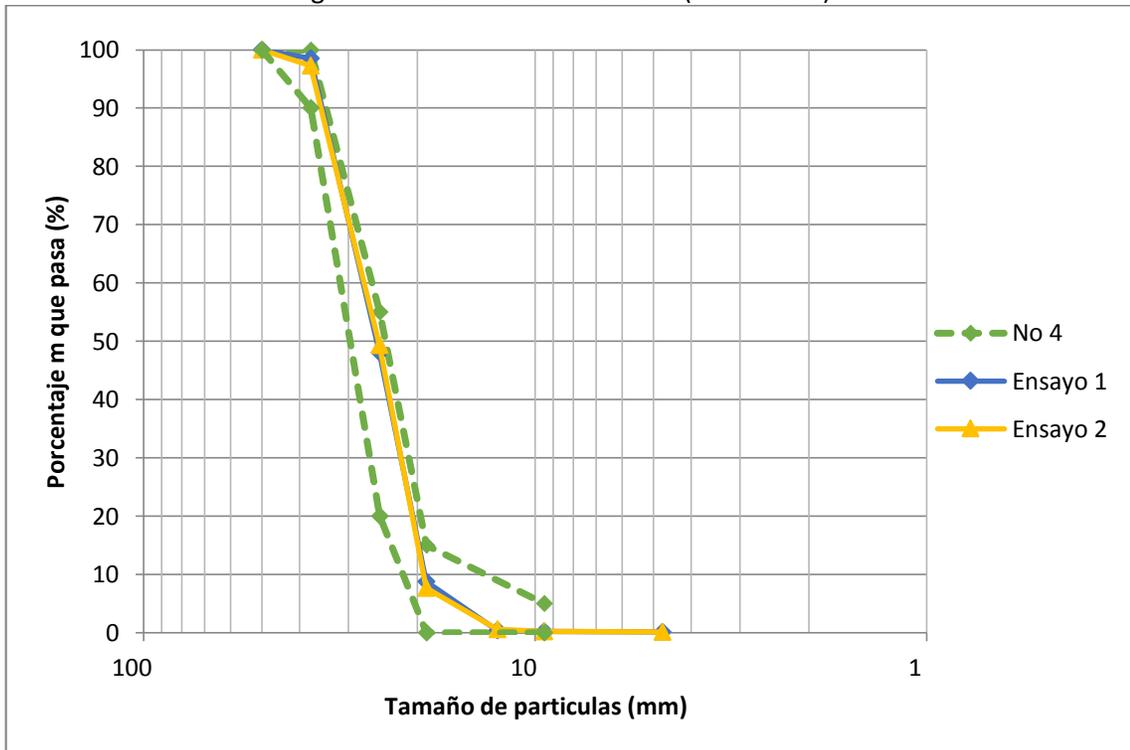
**FIGURA No 4.29:** Curva granulométrica de agregado grueso: Grava ¾" contra límites de la granulometría de tamaño No 67 (ASTM C-33)



**TABLA No 4.8:** Ensayo granulométrico de agregado grueso: Grava 1 ½"

Malla	Ensayo No 1	Ensayo No 2	Límites granulométricos agregado grueso de tamaño No 4 (ASTM C-33)	
	Porcentaje que pasa (%)	Porcentaje que pasa (%)	Min-Max (%)	Promedio (%)
2"	100	100	100	100
1 1/2"	99	97	95-100	98
1"	48	49	90-100	95
3/4"	9	8	35-70	53
1/2"	0	1	-	-
3/8"	0	0	10-30	20
N° 4	0	0	0-5	3
Fondo	0	0	-	-

**FIGURA No 4.30:** Curva granulométrica de agregado grueso: Grava 1 ½" contra límites de la granulometría de tamaño No 4 (ASTM C-33)



#### 4.4.2 MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO (ASTM C-128)

##### **Definición**

Este método de ensayo cubre la determinación de la densidad promedio de una cantidad de partículas de agregado grueso (no incluyendo el volumen de vacíos entre las partículas), la densidad relativa (gravedad específica), y la absorción de los agregados gruesos. Este método de ensayo se utiliza para determinar la densidad de la parte esencialmente sólida de un gran número de partículas de agregado y provee un valor promedio que representa la muestra.

La densidad relativa (gravedad específica) es la característica generalmente usada para cálculo del volumen ocupado por el agregado en varias mezclas conteniendo agregados, incluyendo el concreto de cemento portland, concreto bituminoso, y otras mezclas que son proporcionadas o analizadas sobre la base del volumen absoluto.

Los valores de absorción son usados para calcular el cambio en la masa de un agregado debido al agua absorbida en los espacios de poro que hay entre las partículas constituyentes, comparado con la condición seca, cuando es considerado que el agregado ha estado en contacto con agua por un periodo suficiente para poder satisfacer la absorción potencial.

En las TABLAS No 4.9 y 4.10 se presentan los resultados de la gravedad específica y absorción realizado al agregado grueso de TMN  $\frac{3}{4}$ " y TMN  $1\frac{1}{2}$ ".

**TABLA No 4.9:** Resultados de los ensayos de gravedad específica y absorción del agregado grueso: Grava  $\frac{3}{4}$ "

Datos	Ensayo No 1	Ensayo No 2	Valor Prom.
Gravedad Especifica (SH)*	2.57	2.56	2.57
Gravedad Especifica (SSS)**	2.59	2.58	2.59
Gravedad Especifica Aparente	2.62	2.61	2.62
Absorción (%)	0.60	0.80	0.70

\*SH= Seca al Horno \*\*SSS= Saturada Superficialmente Seca

**TABLA No 4.10:** Resultados de los ensayos de gravedad específica y absorción del agregado grueso: Grava 1½”

Datos	Ensayo No 1	Ensayo No 2	Valor Prom.
Gravedad Especifica (SH)*	2.55	2.57	2.56
Gravedad Especifica (SSS)**	2.57	2.59	2.58
Gravedad Especifica Aparente	2.61	2.63	2.62
Absorción (%)	1.00	1.00	1.00

\*SH= Seca al Horno \*\*SSS= Saturada Superficialmente Seca

#### **4.4.3 MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO (ASTM C-128)**

##### ***Definición***

Este método de ensayo cubre la determinación de la densidad promedio de una cantidad de partículas de agregado fino (no incluye el volumen de los vacíos entre las partículas), la densidad relativa (gravedad específica), y la absorción de agregados finos. El presente método de ensayo se utiliza para determinar la densidad o la porción esencialmente sólida de un gran número de partículas de agregado y proporciona un valor promedio que representa la muestra.

La densidad relativa (gravedad específica) es la característica generalmente usada para cálculo del volumen ocupado por el agregado en varias mezclas conteniendo agregados, incluyendo el concreto de cemento portland, concreto bituminoso, y otras mezclas que son proporcionadas o analizadas sobre la base del volumen absoluto.

Los valores de absorción se utilizan para calcular el cambio en la masa de un material de agregado debido al agua absorbida en los espacios de poro dentro de las partículas constituyentes, en comparación con la condición seca, cuando se considera que el agregado ha estado en contacto con el agua el tiempo suficientemente largo para satisfacer la mayor parte del potencial de absorción.

En la TABLA No 4.11 se presentan los resultados de la gravedad específica del agregado fino.

**TABLA No 4.11:** Resultados de los ensayos de gravedad específica y absorción del agregado fino

Datos	Ensayo No 1	Ensayo No 2	Valor Prom.
Gravedad Especifica (SH)*	2.39	2.40	2.40
Gravedad Especifica (SSS)**	2.47	2.49	2.48
Gravedad Especifica Aparente	2.59	2.62	2.61
Absorción (%)	3.20	3.40	3.30

\*SH= Seca al Horno \*\*SSS= Saturada Superficialmente Seca

#### 4.4.4 MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA DENSIDAD BRUTA (PESO UNITARIO) Y VACÍOS EN LOS AGREGADOS (ASTM C-29)

##### **Definición**

Este método de ensayo cubre la determinación de la densidad bulk (“peso unitario”) del agregado en una condición compactada o suelta, y calcula los vacíos entre las partículas en el agregado fino, grueso o una mezcla de ellos, basado en la misma determinación.

Este método de ensayo es frecuentemente usado para determinar los valores de la densidad bulk que son necesarios para uso en muchos métodos de selección de proporcionamiento para mezclas de concreto.

A continuación se presentan de las TABLAS No 4.12 a 4.14 los resultados del ensayo de peso volumétrico suelto y varillado tanto para agregado fino como para agregado grueso.

**TABLA No 4.12:** Peso volumétrico suelto y varillado del agregado fino: Arena lavada

Datos	Suelto			Varillado		
	Ensayo No 1	Ensayo No 2	Ensayo No 3	Ensayo No 1	Ensayo No 2	Ensayo No 3
Densidad bulk (kg/m <sup>3</sup> )	1430	1430	1440	1510	1500	1510
Promedio (kg/m <sup>3</sup> )	1430			1510		
Porcentaje absorción (%)	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30
Densidad bulk (SSS) (kg/m <sup>3</sup> )	1480	1480	1480	1570	1550	1560
Gravedad especifica	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40
Contenido de vacíos (%)	40	40	40	37	37	37

**TABLA No 4.13:** Peso volumétrico suelto y varillado del agregado grueso: Grava ¾"

Grava TMN ¾"	Datos	Suelto			Varillado		
		Ensayo No 1	Ensayo No 2	Ensayo No 3	Ensayo No 1	Ensayo No 2	Ensayo No 3
	Densidad bulk (kg/m <sup>3</sup> )	1330	1300	1340	1430	1440	1430
	Promedio (kg/m <sup>3</sup> )	1320			1430		
	Porcentaje de absorción (%)	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
	Densidad bulk (SSS) (kg/m <sup>3</sup> )	1340	1310	1350	1440	1450	1440
	Gravedad específica	2.57	2.57	2.57	2.57	2.57	2.57
	Contenido de vacíos (%)	48	49	48	44	44	44

**TABLA No 4.14:** Ensayo de peso volumétrico suelto del agregado grueso: Grava 1 ½"

Grava TMN 1 ½"	Datos	Suelto			Varillado		
		Ensayo No 1	Ensayo No 2	Ensayo No 3	Ensayo No 1	Ensayo No 2	Ensayo No 3
	Densidad bulk (kg/m <sup>3</sup> )	1440	1420	1410	1510	1510	1520
	Promedio (kg/m <sup>3</sup> )	1420			1510		
	Porcentaje absorción (%)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Densidad bulk (SSS) (kg/m <sup>3</sup> )	1460	1430	1430	1530	1520	1540
	Gravedad específica	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56
	Contenido de vacíos (%)	44	44	45	41	41	41

#### 4.4.5 MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA IMPUREZAS ORGÁNICAS EN EL AGREGADO FINO PARA CONCRETO (ASTM C-40)

##### *Definición*

Este método de ensayo cubre los procedimientos para una determinación aproximada de la presencia de impurezas orgánicas perjudiciales en el agregado fino que serán usados en morteros de cemento hidráulico o concreto.

Este método de ensayo se utiliza para hacer una determinación preliminar de la aceptabilidad del agregado fino con respecto a los requerimientos de la Especificación ASTM C 33 relativos a impurezas orgánicas.

El valor principal de este método de ensayo es suministrar una precaución sobre cantidades perjudiciales de impurezas orgánicas que pueden estar presentes en el agregado fino.

En la FIGURA No 4.31 se muestran los resultados obtenidos al realizar el ensayo de impurezas orgánicas a la arena utilizada en esta investigación.

Esta presenta un color ligeramente más claro que el color No 2 de la escala colorimétrica de Gardner.

**FIGURA No 4.31:** Resultados del ensayo de impurezas orgánicas.



En la TABLA No 4.15 se presenta un resumen de los resultados obtenidos de las propiedades físicas de los agregados.

**TABLA No 4.15:** Resumen de resultados de propiedades físicas de los agregados.

Ensayo	Resultados		
	Agregado grueso		Agregado fino
	Grava TMN 1 1/2"	Grava TMN 3/4"	Arena lavada
Granulometría del agregado	Grava No 4 Según ASTM C-33	Grava No 67 Según ASTM C-33	M.F. 2.63 Según ASTM C-33: 2.3 <M.F.< 3.1
Peso volumétrico	PVS: 1420 kg/m <sup>3</sup> PVV: 1510 kg/m <sup>3</sup>	PVS: 1320 kg/m <sup>3</sup> PVV: 1430 kg/m <sup>3</sup>	PVS: 1430 kg/m <sup>3</sup> PVV: 1510 kg/m <sup>3</sup>
Gravedad específica	Gs(SSS): 2.58	Gs(SSS): 2.59	Gs(SSS): 2.48
	Gs(SH): 2.56	Gs(SH): 2.57	Gs(SH): 2.40
	Gs aparente: 2.62	Gs aparente: 2.62	Gs aparente: 2.60
Absorción	1.00%	0.70%	3.30%
Impurezas orgánicas	*	*	Menor que 2

## **4.5 ELABORACION DE LAS COMBINACIONES DE LOS AGREGADOS**

Para el desarrollo de esta investigación se considerarán 5 diseños de mezclas, 3 de ellos empleando combinaciones de agregado grueso en diferentes proporciones y en los dos diseños restantes se utilizará 100% de cada tipo de agregado, con el fin de determinar las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido (definidas en la sección 4.3), y realizar un análisis comparativo que permita evaluar las ventajas y desventajas que presenta al combinar estos agregados en mezclas de concreto.

Para definir las combinaciones de agregados grueso a utilizar en las mezclas de concreto, en primer lugar, se realizarán combinaciones teóricas a partir de sus respectivas granulometrías, de las cuales se seleccionarán las que mejor se ajusten a las granulometrías de la especificación ASTM C-33, definidas para un TMN de 1 ½" (No 4 o No 467). Luego de esto, serán verificadas en laboratorio, mediante el ensayo granulométrico a cada una de ellas. Los resultados se presentan en el apartado 4.5.3.

### **4.5.1 COMBINACIONES GRANULOMETRICAS TEÓRICAS DE AGREGADO GRUESO**

Para el desarrollo de las combinaciones teóricas se tomarán de base los resultados obtenidos de la granulometría de la grava de 1 ½" y de la grava ¾". El procedimiento a seguir se hará de acuerdo a la metodología explicada en el apartado 3.5.4 "Combinación granulométrica teórica".

A continuación se proponen 5 posibles combinaciones teóricas, de las cuales se seleccionaran las 3 que mejor se ajusten a la especificación ASTM C-33 para granulometrías de TMN de 1 1/2" (No 4 y No 467):

Combinación: 75% grava 1 ½"- 25% grava ¾"

Combinación: 60% grava 1 ½"- 40% grava ¾"

Combinación: 50% grava 1 ½"- 50% grava ¾"

Combinación: 40% grava 1 ½"- 60% grava ¾"

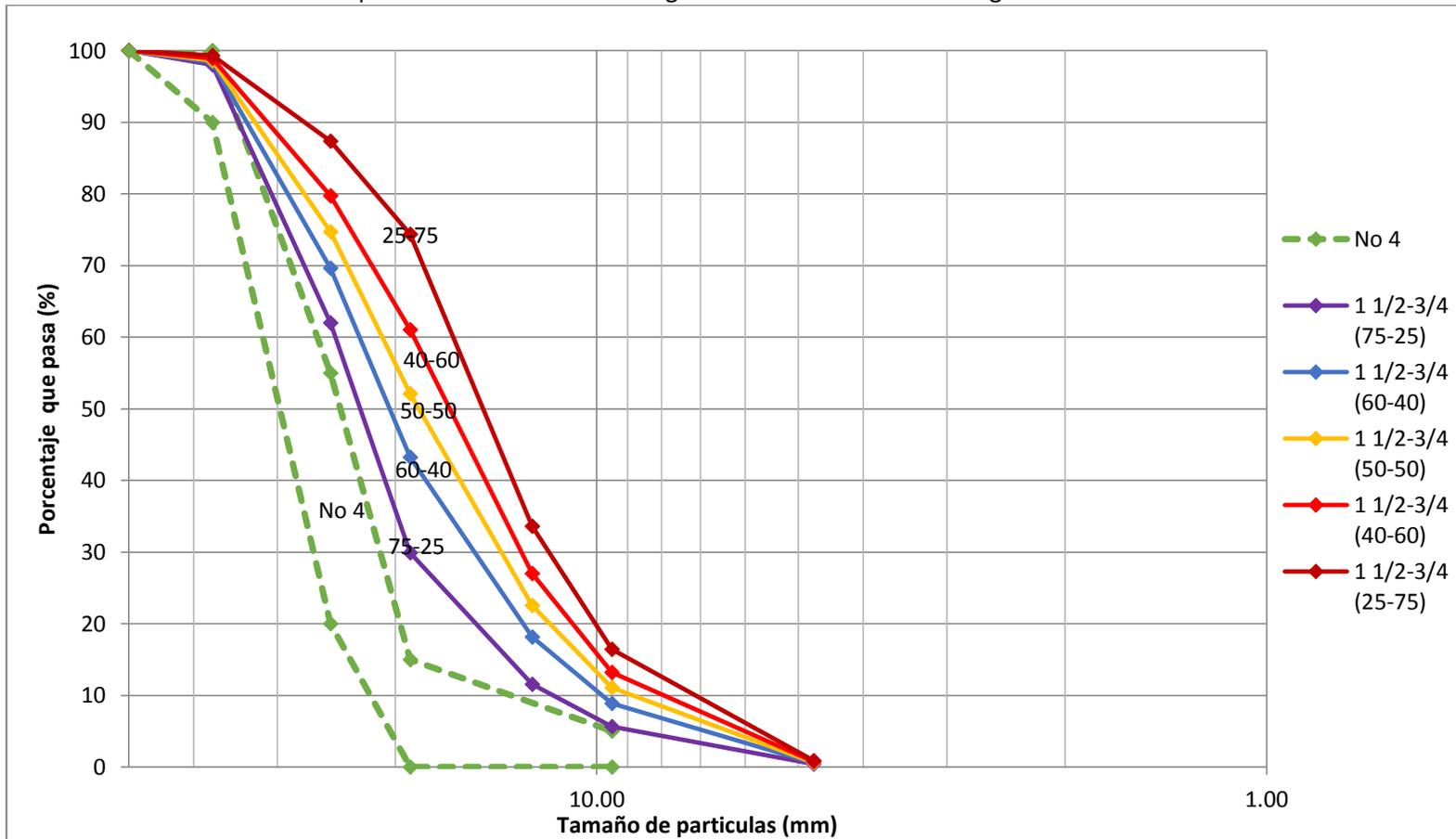
Combinación: 25% grava 1 1/2" - 75% grava 3/4"

La TABLA No 4.16 muestra los resultados de las combinaciones granulométricas teóricas y en las FIGURAS No 4.32 y 4.33 se presentan las curvas granulométricas de dichas combinaciones, comparadas con los límites establecidos para las granulometrías de tamaños No 4 y No 467.

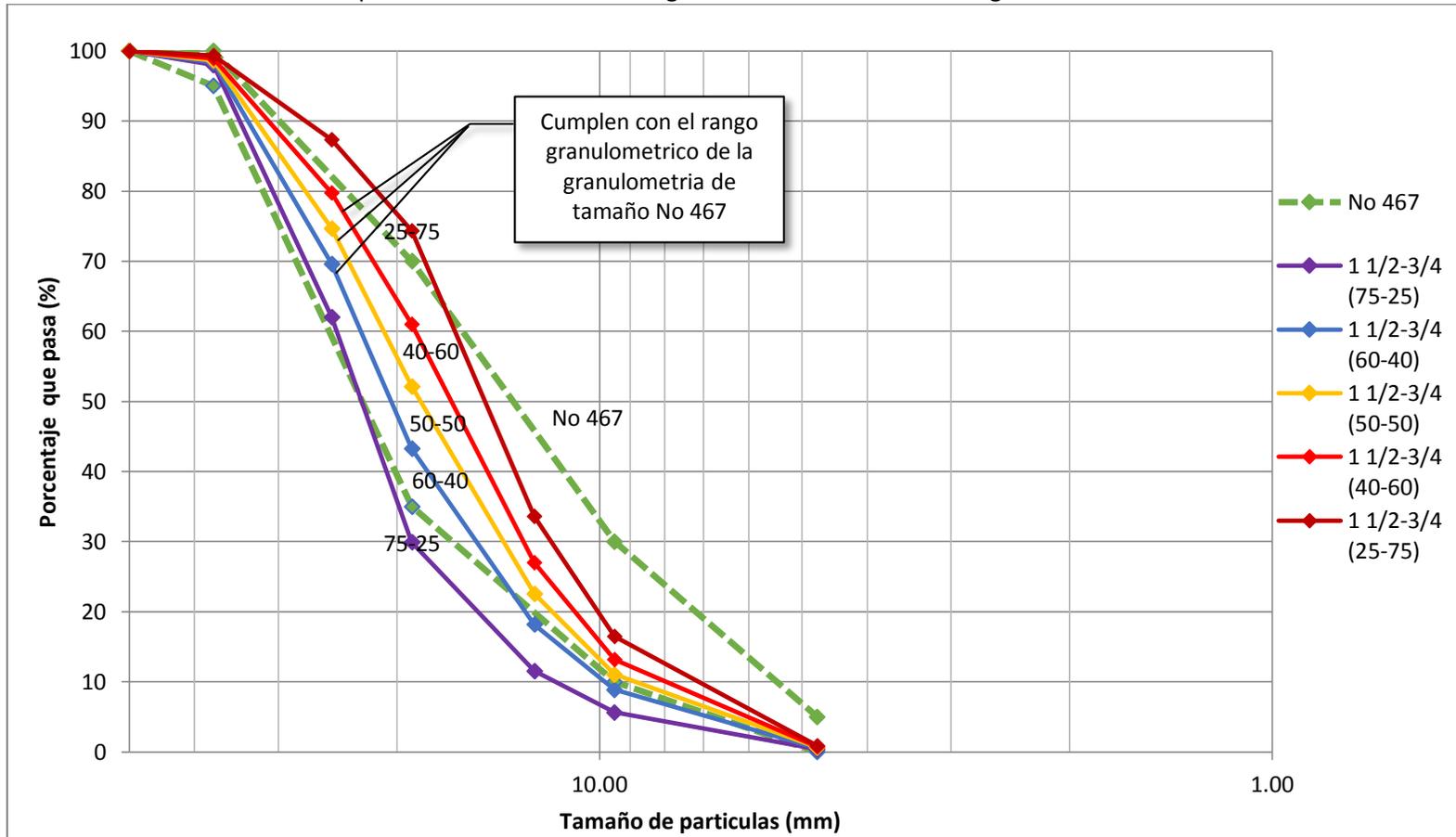
**TABLA No 4.16:** Resultados de combinaciones granulométricas teóricas

Malla	Porcentaje que pasa		Combinaciones (% de cada tamaño)				
	1 1/2"	3/4"	75-25	60-40	50-50	40-60	25-75
2"	100	100	100	100	100	100	100
1 1/2"	97	100	98	98	99	99	99
1"	49	100	62	70	75	80	87
3/4"	8	97	30	43	52	61	74
1/2"	1	45	12	18	23	27	34
3/8"	0	22	6	9	11	13	16
No 4	0	1	0	1	1	1	1
No 8	0	0	0	0	0	0	0

**FIGURA No 4.32:** Comparación de combinaciones granulométricas teóricas con granulometría No 4 de ASTM C-33



**FIGURA No 4.33:** Comparación de combinaciones granulométricas teóricas con granulometría No 467 de ASTM C-33



#### **4.5.2 SELECCIÓN DE LAS COMBINACIONES TEORICAS DE AGREGADO GRUESO A IMPLEMENTARSE EN LOS DISEÑOS DE MEZCLAS DE CONCRETO**

Analizando las gráficas de las combinaciones teóricas y comparándolas con los requisitos granulométricos de TMN 1 ½": No 4 y No 467 (Ver FIGURAS No 4.32 y 4.33) se puede decir:

1. Que tres combinaciones caen dentro del rango de las granulometrías de tamaño No 467. Combinaciones: 40-60, 50-50 y 60-40.
2. Que ninguna combinación cae dentro de los límites de la granulometría de tamaño No 4.

Por lo que, las combinaciones a utilizar serán las de 40-60, 50-50 y 60-40, y el parámetro de comparación granulométrico será el requisito de la Norma ASTM C-33, de Numero de tamaño 467. Siendo este, el que servirá de base para verificar las combinaciones en laboratorio.

#### **4.5.3 VERIFICACION DE COMBINACIONES TEORICAS DE AGREGADO GRUESO EN LABORATORIO**

Luego de seleccionadas las combinaciones teóricas se procedió a su correspondiente verificación en laboratorio.

En las TABLAS No 4.17 a 4.19, se presentan los resultados de los ensayos granulométricos de las diferentes combinaciones seleccionadas, y los rangos especificados en la granulometría No 467, también se presentan, sus correspondientes curvas granulométricas en las FIGURAS No 4.34 a 4.36

La FIGURA 4.37 muestra los valores promedio de los ensayos granulométricos realizados a cada una de las combinaciones seleccionadas, comparadas con los límites de la granulometría No. 467.

Como se puede observar en dicha figura, tal como se vio en la verificación teórica (ver TABLA 4.16.), se vuelve a cumplir que las combinaciones seleccionadas caen dentro del rango granulométrico de la granulometría de tamaño No 467 al

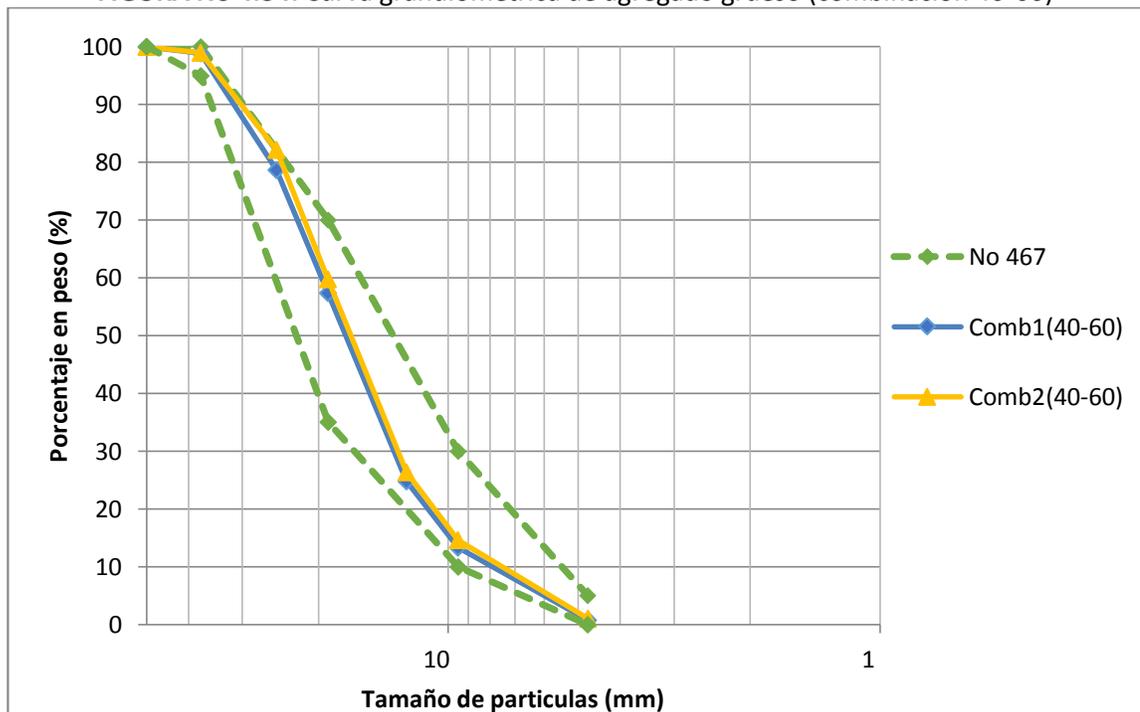
ser verificadas en laboratorio, presentado una granulometría similar correspondiente a cada tipo de combinación.

Por lo tanto se procederá a realizar los diseños de mezcla utilizando estas combinaciones.

**TABLA No 4.17:** Resultados de ensayo granulométrico de agregado grueso: Combinación 40-60

Malla	Ensayo No 1	Ensayo No 2	Promedio ensayo No 1 y No 2	Límites granulométricos agregado grueso No 467 (ASTM C-33)	
	Porcentaje que pasa (%)	Porcentaje que pasa (%)	Porcentaje que pasa (%)	Min-Max (%)	Promedio (%)
2"	100	100	100	100	100
1 1/2"	99	99	99	95-100	98
1"	79	82	81	90-100	95
3/4"	57	60	59	35-70	53
1/2"	25	26	26	-	-
3/8"	13	15	14	10-30	20
N° 4	1	1	1	0-5	3
Fondo	0	0	0	-	-

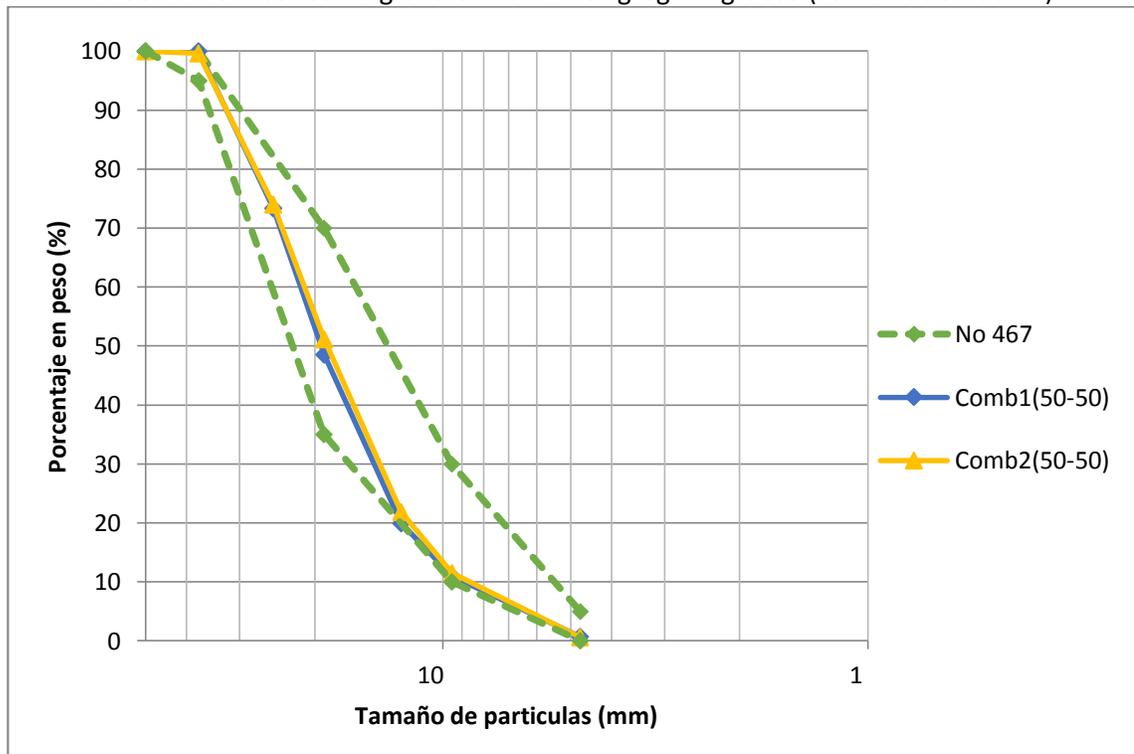
**FIGURA No 4.34:** Curva granulométrica de agregado grueso (combinación 40-60)



**TABLA No 4.18:** Resultados de ensayo granulométrico de agregado grueso: Combinación 50-50

Malla	Ensayo No 1	Ensayo No 2	Promedio ensayo No 1 y No 2	Límites granulométricos agregado grueso No 467 (ASTM C-33)	
	Porcentaje que pasa (%)	Porcentaje que pasa (%)	Porcentaje que pasa (%)	Min-Max (%)	Promedio (%)
2"	100	100	100	100	100
1 1/2"	100	100	100	95-100	98
1"	73	74	74	90-100	95
3/4"	49	51	50	35-70	53
1/2"	20	22	21	-	-
3/8"	11	12	12	10-30	20
N° 4	1	1	1	0-5	3
Fondo	0	0	0	-	-

**FIGURA No 4.35:** Curva granulométrica de agregado grueso (combinación 50-50)



**TABLA No 4.19:** Resultados de ensayo granulométrico de agregado grueso: Combinación 60-40

Malla	Ensayo No 1	Ensayo No 2	Promedio ensayo No 1 y No 2	Límites granulométricos agregado grueso No 467 (ASTM C-33)	
	Porcentaje que pasa (%)	Porcentaje que pasa (%)	Porcentaje que pasa (%)	Min-Max (%)	Promedio (%)
2"	100	100	100	100	100
1 1/2"	100	98	99	95-100	98
1"	72	70	71	90-100	95
3/4"	44	42	43	35-70	53
1/2"	19	16	18	-	-
3/8"	10	8	9	10-30	20
N° 4	1	1	1	0-5	3
Fondo	0	0	0	-	-

**FIGURA No 4.36:** Curva granulométrica de agregado grueso (combinación 60-40)

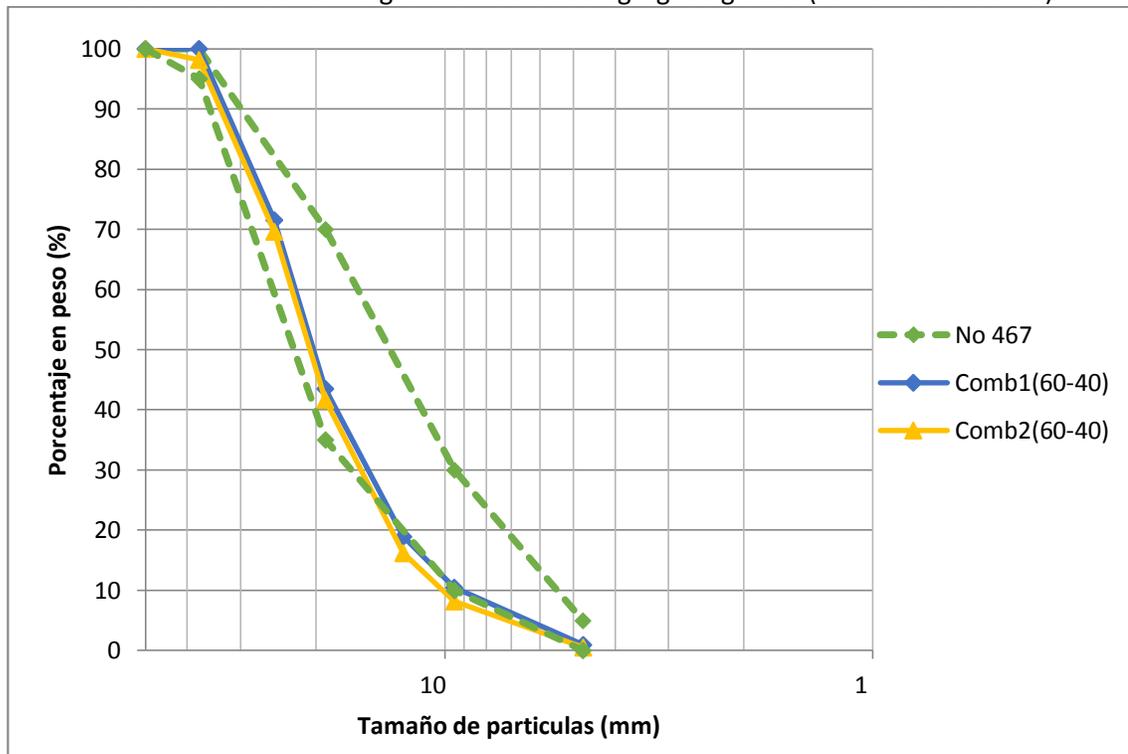
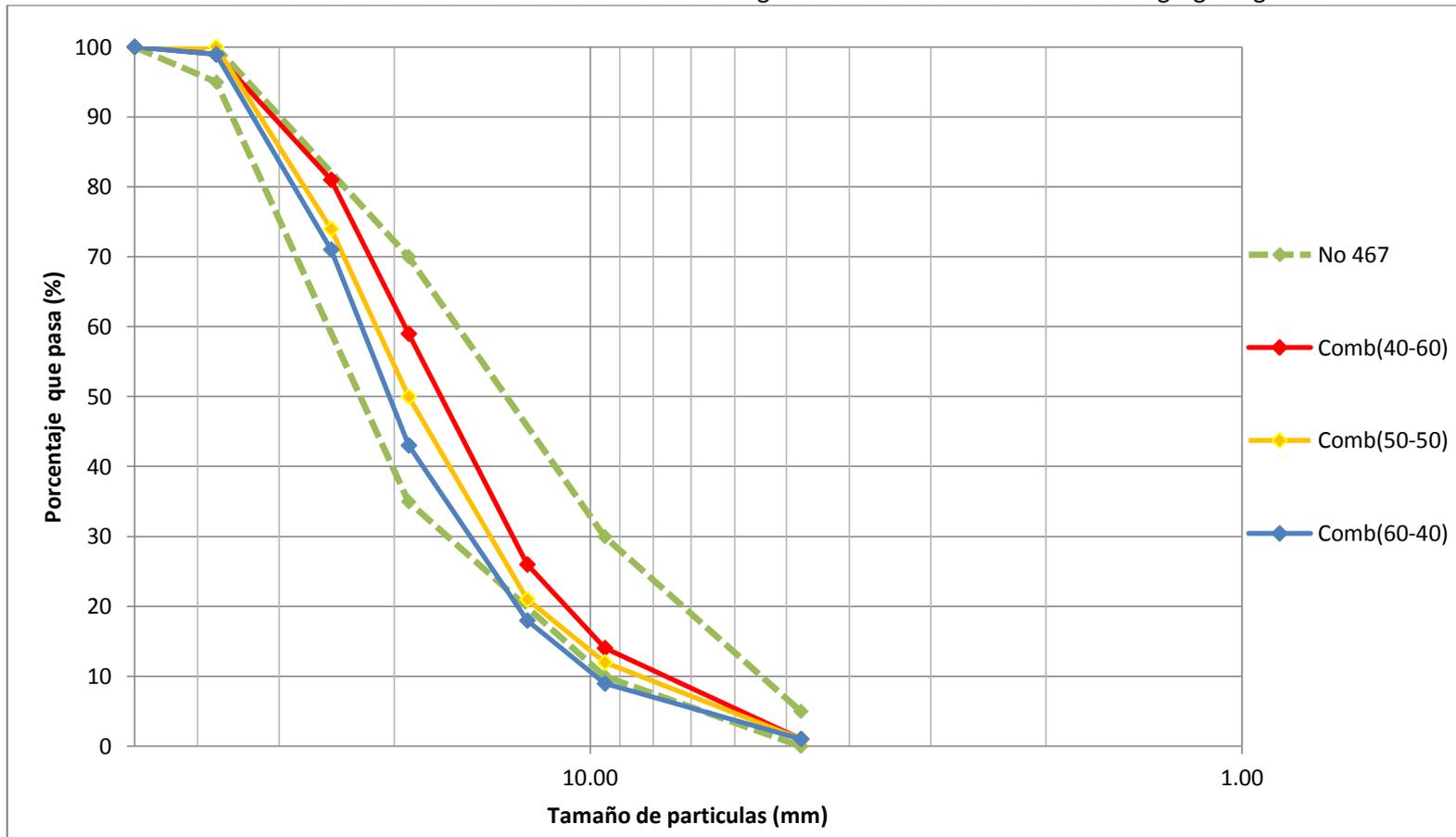


FIGURA No 4.37: Curvas resumen de combinaciones granulométricas de laboratorio del agregado grueso



#### 4.5.4 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE PESO VOLUMÉTRICO SUELTO Y VARILLADO DE LAS COMBINACIONES DE AGREGADO GRUESO

Además de realizar la verificación en laboratorio de la granulometría teórica de cada combinación se procedió a realizar el peso volumétrico suelto y varillado a cada una de ellas con el fin de elaborar un gráfico que permita determinar la combinación que proporcione la densidad máxima.

En las TABLAS No 4.20 a 4.22 se muestran los resultados de los ensayos de peso volumétrico suelto y varillado de las combinaciones de agregado grueso. En la FIGURA No. 4.38 se muestra la curva de densidad que se ha obtenido al graficar los pesos volumétricos varillados contra las diferentes combinaciones de agregados.

**TABLA No 4.20:** Peso volumétrico suelto y varillado del agregado grueso: Combinación 40-60

Combinación 40-60	Datos	Suelto			Varillado		
		Ensayo No 1	Ensayo No 2	Ensayo No 3	Ensayo No 1	Ensayo No 2	Ensayo No 3
	Densidad bulk (kg/m <sup>3</sup> )	1460	1460	1450	1530	1520	1530
	Promedio (kg/m <sup>3</sup> )	1460			1530		
	Porcentaje absorción (%)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Densidad bulk (SSS) (kg/m <sup>3</sup> )	1470	1470	1460	1550	1540	1540
	Gravedad específica	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56
	Contenido de vacíos (%)	43	43	43	40	41	40

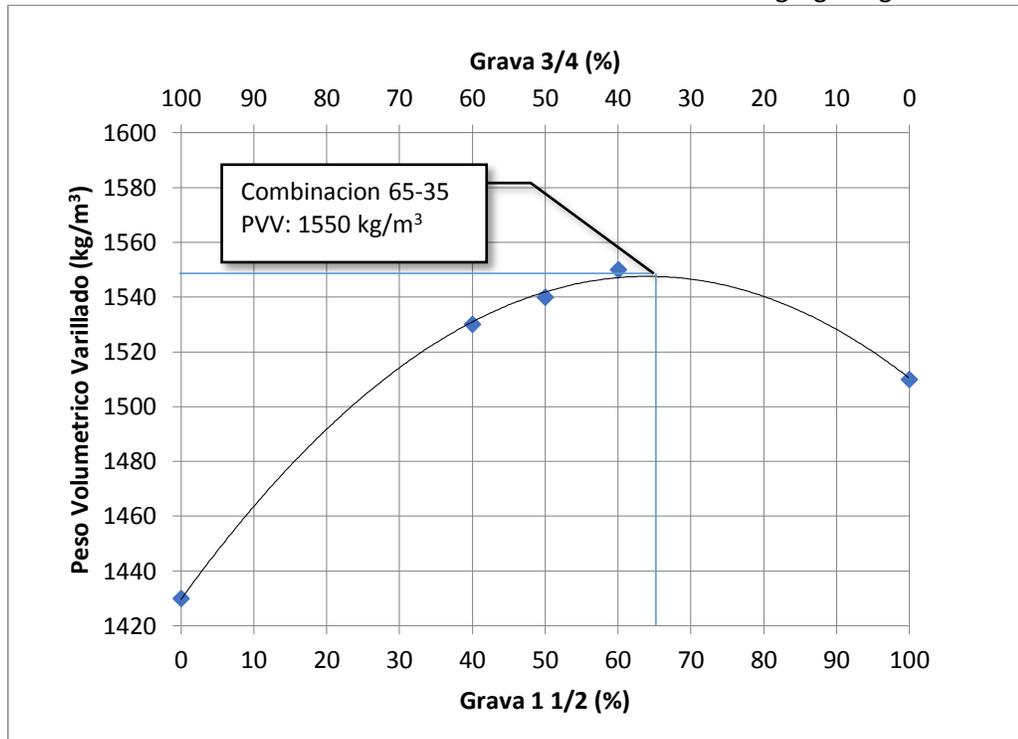
**TABLA No 4.21:** Peso volumétrico suelto y varillado del agregado grueso: Combinación 50-50

Combinación 50-50	Datos	Suelto			Varillado		
		Ensayo No 1	Ensayo No 2	Ensayo No 3	Ensayo No 1	Ensayo No 2	Ensayo No 3
	Densidad bulk (kg/m <sup>3</sup> )	1460	1460	1460	1530	1540	1550
	Promedio (kg/m <sup>3</sup> )	1460			1540		
	Porcentaje absorción (%)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Densidad bulk (SSS) (kg/m <sup>3</sup> )	1480	1470	1470	1550	1560	1560
	Gravedad específica	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56
	Contenido de vacíos (%)	43	43	43	40	40	39

**TABLA No 4.22:** Peso volumétrico suelto y varillado del agregado grueso: Combinación 60-40

Combinación 60-40	Datos	Suelto			Varillado		
		Ensayo No 1	Ensayo No 2	Ensayo No 3	Ensayo No 1	Ensayo No 2	Ensayo No 3
	Densidad bulk (kg/m <sup>3</sup> )	1480	1470	1480	1550	1550	1560
	Promedio (kg/m <sup>3</sup> )	1480			1550		
	Porcentaje absorción (%)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Densidad bulk (SSS) (kg/m <sup>3</sup> )	1490	1480	1500	1560	1560	1570
	Gravedad específica	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56
	Contenido de vacíos (%)	42	42	42	39	39	39

**FIGURA No 4.38:** Curva de densidad de combinaciones de agregado grueso.



De la figura No 4.38 se puede observar que:

1. Al combinar gravas de diferente tamaño se reduce la cantidad de vacíos, lo que ocasiona un aumento del peso volumétrico del material combinado, obteniendo un aumento de 100-120 kg/m<sup>3</sup> con respecto a la grava de TMN 3/4" y un aumento de 20-40 kg/m<sup>3</sup> con respecto a la grava de TMN 1 1/2".
2. La máxima densidad proyectada en la curva es de 1550 kg/m<sup>3</sup>, que correspondiente a una combinación teórica de 65-35.

## 4.6 DISEÑO DE MEZCLAS PRELIMINARES

En este apartado se muestran los proporcionamiento de las mezclas preliminares, así como la identificación de cada una de éstas. En cada diseño de mezcla se realizara el ensayo de revenimiento y se elaboraran especímenes para ensayar a compresión a 7 y 28 días Una vez seleccionado el diseño de mezcla que mejor se adapte a los requisitos de trabajabilidad y resistencia a compresión (ver secciones 3.2.6 y 3.2.7), este se volverá a reproducir realizando los siguientes ensayos al concreto en estado fresco: revenimiento, peso volumétrico, temperatura y contenido de aire. Y en estado endurecido se ensayaran seis especímenes a compresión, a las edades de 7 y 28 días.

### 4.6.1 IDENTIFICACION DE LAS MEZCLAS

A continuación en la TABLA No 4.23 se presenta la nomenclatura utilizada para cada uno de los diseños de mezclas preliminares.

**TABLA No 4.23:** Identificación de mezclas preliminares.

Mezcla	Descripción	Proporción
MP-1	Mezcla utilizando 100% grava 1 1/2"	100-0
MP-2	*Mezcla utilizando 100% grava 1 1/2"	100-0
MP-3	Mezcla utilizando grava 1 1/2" con una reducción del 10%	100-0
MP-4	Mezcla utilizando grava 1 1/2" con una reducción del 20%	100-0
MP-5	Mezcla utilizando 100% grava 3/4"	0-100
MP-6	Mezcla utilizando 50% grava 1 1/2, 50 % grava 3/4"	50-50
MP-7	Mezcla utilizando 100% grava 3/4"	0-100

*\*La mezcla MP-2 corresponde al diseño de la mezcla MP-1 con la variante que en esta mezcla no se añadió agua para ajustar el revenimiento*

### 4.6.2 DATOS DE DISEÑO

El objetivo en esta etapa de la investigación es diseñar un concreto de peso normal sujeto a condiciones normales de exposición. Se requiere que la resistencia a compresión del concreto a los 28 días sea de 280 kg/cm<sup>2</sup> como mínimo, con un revenimiento de 3 ± 1 pulgada (75 ± 25 mm), el cual será un concreto sin aire incluido. Los datos que se proporcionan a continuación, son

aquellos que se han considerado comunes para todos los diseños de mezclas preliminares:

- Revenimiento  $3 \pm 1$  pulgadas.
- Resistencia ( $f'c$ ):  $280 \text{ kg/cm}^2$
- Tamaño máximo nominal del agregado:  $1 \frac{1}{2}$ " plg.
- Características de los materiales (ver TABLA No 4.24).

**TABLA No 4.24:** Características Físicas de los materiales

Datos	Grava 1 ½"	Grava ¾"	Arena	Cemento
Gravedad especifica seca	2.56	2.57	2.40	3.0
Absorción (%)	1.0	0.7	3.3	*
Peso Volumétrico Varillado( $\text{kg/m}^3$ )	1510	1430	*	*
Peso Volumétrico Suelto( $\text{kg/m}^3$ )	1420	1320	1430	*
Módulo de Finura	*	*	2.63	*

- Sobrediseño:

$$f'_{cr} = f'c + 85 = 365 \text{ kg/cm}^2 \text{ (ver Tabla No 3.5)}$$

- Relación agua/cemento (ver Tabla No 3.7) :

$f'_{cr}$		A/C
350	—————→	0.48
365	—————→	A/C
400	—————→	0.43

$$\frac{365 - 350}{400 - 350} = \frac{0.48 - A/C}{0.48 - 0.43}$$

$$A/C = 0.465$$

A continuación se describen los diseños de mezclas preliminares enfatizando aquellos parámetros que variaron en cada uno de ellos y los resultados obtenidos.

### 4.6.3 DISEÑO DE MEZCLA MP-1

Este diseño corresponde a la primera mezcla de prueba realizada, en la cual se utilizó el proporcionamiento de mezclas descrito en el método ACI 211. Para dicha mezclas se utilizó únicamente el agregado de TMN 1 ½" plg. El proporcionamiento que resultó para dicha mezcla se detalla a continuación (ver resumen de resultados en TABLA No 4.25 y 4.26):

- Agua de mezclado:

Para revenimiento de 7.5 cm y TMN 1 ½" = 181 kg/m<sup>3</sup> (ver Tabla No 3.6)

- Aire atrapado:

Para concreto sin aire incluido y TMN 1 ½" = 1% (ve Tabla No 3.6)

- Relación agua/cemento: 0.465 (ver apartado 4.6.2)

- Contenido de cemento:

$$C = \frac{A}{A/C} = \frac{181}{0.465} = 389.25 \text{ kg/m}^3$$

$$C = 389 \text{ kg/m}^3$$

- Contenido de agregado grueso para TMN 1 ½" (ver Tabla No 3.8):

MF		Pag/PVV
2.6	—————→	0.73
2.63	—————→	PVV
2.8	—————→	0.71

$$\frac{2.63 - 2.6}{2.80 - 2.6} = \frac{0.73 - PVV}{0.73 - 0.71}$$

$$\text{Factor agregado} = \text{Pag/PVV} = 0.727$$

$$\text{Pag} = (\text{Pag/PVV})(\text{PVV}) = (0.727)(1510) = 1097.77 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Pag} = 1098 \text{ kg/m}^3$$

- Contenido de Agregado Fino:

**TABLA No 4.25:** Volúmenes para 1 m<sup>3</sup> (Prueba 1)

Material	Peso seco (kg/m <sup>3</sup> )	Gs (seca)	Volumen (m <sup>3</sup> )
Cemento	389	3.0	0.1297
Agua	181	1.0	0.1810
Aire	1%	---	0.0100
Grava (seca)	1098	2.56	0.4289
		Σ	0.7496

*Cantidad de agregado fino = 1 - 0.7496 = 0.2504*

*En peso = 0.2504 x 2.40 x 1000 = 601kg/m<sup>3</sup>*

**TABLA No 4.26:** Diseño Teórico para 1 m<sup>3</sup> (Prueba No 1).

Material	Para un m <sup>3</sup>
Cemento	389 kg
Agua	181 l
Grava (seca )	1098 kg
Arena lavada (seca)	601kg

➤ Ajuste por humedad y absorción.

Las cantidades de agregado que realmente deben pesarse deben ajustarse por humedad y absorción ya que regularmente los agregados están húmedos y a sus pesos secos deben de incrementárseles el porcentaje de agua tanto absorbida como superficial si ese es el caso.

Al determinar la humedad de los agregados se obtuvieron los siguientes resultados:

Humedad de la arena: 15.9 %

Humedad de la grava: 0.54 %

Al realizar el ajuste por humedad, la cantidad de materiales para elaborar un metro cubico de concreto se muestran en la TABLA No 4.27.

**TABLA No 4.27:** Diseño Teórico para 1 m<sup>3</sup> (Prueba No 1).

<b>Material</b>	<b>Para un m<sup>3</sup></b>
Cemento	389 kg
Agua corregida	110 l
Grava (húmeda)	1104 kg
Arena lavada (húmeda)	697 kg

➤ Mezcla de prueba

Para la mezcla de prueba en el laboratorio se considera conveniente reducir los pesos para producir los cilindros de prueba necesarios para la resistencia a compresión y revenimiento. Al realizar el cálculo se determinó que solo se necesitan 47 litros para realizar las pruebas antes mencionadas. La cantidad de materiales a pesar son los mostrados en la TABLA No 4.28.

**TABLA No 4.28:** Mezcla de Laboratorio para 47 litros

<b>Material</b>	<b>Para 47 l</b>
Cemento	18.30 kg
Agua corregida	5.20 l
Grava (húmeda)	51.90 kg
Arena lavada (húmeda)	32.80 kg

➤ Comportamiento de la mezcla en estado fresco.

Al realizar la mezcla se pudo apreciar que esta tenía mucha presencia de agregado grueso y poco mortero, lo cual se evidenció en la prueba de revenimiento (FIGURA No 4.39); que proporcione un resultado de revenimiento “cero”, teniendo que agregar más agua para tratar de alcanzar la trabajabilidad requiriendo una cantidad total de 1.5 litros, Desafortunadamente el revenimiento requerido no se pudo alcanzar por falta de cohesividad en la mezcla, causándole un desplome (FIGURA No 4.40); el máximo revenimiento que se obtuvo antes de que ésta colapsara fue de 1”.

➤ Ajuste por agua agregada

Agua extra adicionada: 1.50 l  
Relacion A/C real

Arena      —————> Agua que aporta: 3.57 l  
Grava      —————> Agua que extrae: 0.24 l

$$\text{Agua real} = 5.20 + 1.50 + 3.57 - 0.24 = 10.03$$

$$\text{A/C real} = \frac{10.03}{18.30} = 0.548$$

**FIGURA No 4.39:** Revenimiento cero (Prueba No 1).



**FIGURA No 4.40:** Revenimiento en mezcla no cohesiva luego de adicionarle 1.5 litros de agua (Prueba 1).



- Comportamiento de la mezcla en estado endurecido.

Dado que esta mezcla no cumplió con las características requeridas en estado fresco, se consideró fallida, por lo cual se elaboraron solamente 3 especímenes para ser ensayados a compresión a la edad de 7 días (ver TABLA No 4.29).

Los resultados de resistencia a la compresión promediaron un valor de 157 kg/cm<sup>2</sup>, la cual está por debajo del 60% de la resistencia esperada a 28 días. Considerando que el cemento utilizado es un cemento tipo HE de resistencias altas a edades tempranas, se puede decir que este valor es mucho menor al que se esperaba, ya que se diseñó para alcanzar 280 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días.

**TABLA No 4.29:** Resultados de resistencia a compresión (Prueba No 1).

Concreto Fresco			Concreto Endurecido			
Mezcla No.	Relación A/C	Revenimiento (plg)	Espécimen No.	Edad (días)	Peso volumétrico (kg/m <sup>3</sup> )	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
MP-1	0.548	-	1	7	2340	152
			2	7	2340	161
			3	7	2330	157
PROMEDIO				2340	157	

#### 4.6.4 DISEÑO DE MEZCLA MP-2

Para la segunda mezcla de prueba se optó por realizar el mismo diseño con la única variante que se utilizara únicamente el agua de diseño sin importar el resultado de la prueba de revenimiento. A continuación se muestran en la TABLA No 4.30 los resultados de dicha mezcla:

**TABLA No 4.30:** Diseño Teórico para 1 m<sup>3</sup> (Prueba 2).

Material	Para un m <sup>3</sup>
Cemento	389 kg
Agua	181 l
Grava (seca)	1098 kg
Arena lavada (seca)	601 kg

- Humedad de los agregados

Humedad de la arena: 9.55 %

Humedad de la grava: 1.36 %

Al realizar el ajuste por humedad, la cantidad de materiales para elaborar un metro cubico de concreto se muestran en la TABLA No 4.31.

**TABLA No 4.31:** Diseño Teórico para 1 m<sup>3</sup> (Prueba 2).

<b>Material</b>	<b>Para un m<sup>3</sup></b>
Cemento	389 kg
Agua	139 l
Grava (húmeda)	1113 kg
Arena lavada (húmeda)	658 kg

➤ Mezcla de prueba

Para esta mezcla de prueba se volvió a trabajar con la cantidad de 47 litros. Las cantidades de materiales se muestran en la TABLA No 4.32.

**TABLA No 4.32:** Mezcla de Laboratorio para 47 litros

<b>Material</b>	<b>Para 47 l</b>
Cemento	18.30 kg
Agua	6.60 l
Grava (húmeda)	52.30 kg
Arena lavada (húmeda)	31.00 kg

➤ Comportamiento de la mezcla en estado fresco.

En los resultados se observa una mezcla rica en pasta (con exceso de cemento), pero falta de mortero y abundante agregado grueso, lo que genera poca trabajabilidad.

Al realizar el ensayo de revenimiento se obtuvo un resultado de 1 1/4" (FIGURA No 4.41), pero no se agregó totalmente el agua calculada; ya que faltó agregar 0.5 litros. Esta cantidad no se agregó debido a la falta de cohesividad que comenzaba a presentar la mezcla, corriendo el riesgo de desplomarse.

**FIGURA No 4.41:** Ensayo de Revenimiento (Prueba 2).



- Ajuste de la mezcla por agua agregada

Agua no adicionada: 0.5 l  
Relación A/C real

Arena —————> Agua que aporta: 1.77 l  
Grava —————> Agua que aporta: 0.19 l

$$\text{Agua real} = 6.6 - 0.5 + 1.77 + 0.19 = 8.05$$

$$\text{A/C real} = \frac{8.05}{18.3} = 0.440$$

- Comportamiento de la mezcla en estado endurecido.

Para esta mezcla se elaboraron 5 especímenes, de los cuales se ensayaron 2 a 7 días y los 3 restantes a 28 días.

Los resultados de dicha mezcla promediaron una resistencia a la compresión de 199 kg/cm<sup>2</sup> y 277 kg/cm<sup>2</sup> a 7 y a 28 días respectivamente (ver TABLA No 4.33).

A pesar del aumento de la resistencia a compresión de los especímenes, la mezcla no cumplió con la resistencia requerida del diseño; por lo cual se consideró fallida.

**TABLA No 4.33:** Resultados de resistencia a compresión (Prueba 2).

Concreto fresco			Concreto endurecido			
Mezcla No.	Relación A/C	Revenimiento (plg)	Espécimen No.	Edad (días)	Peso volumétrico (kg/m <sup>3</sup> )	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
MP-2	0.440	1 1/4	1	7	2340	189
			2	7	2350	209
	PROMEDIO				2350	199
	0.440	1 1/4	3	28	2340	298
			4	28	2350	249
			5	28	2330	286
	PROMEDIO				2340	277

#### 4.6.5 DISEÑO DE MEZCLA MP-3

Debido a los resultados de las pruebas anteriores, en las cuales no se pudo alcanzar el revenimiento deseado y resistencia requerida, se consideró realizar otro diseño reduciendo la cantidad del agregado grueso en un 10%. Tomando en cuenta esto, se realizó un nuevo diseño (ver TABLA No 4.34) considerando lo siguiente:

$$Pag/PVV = 0.727$$

$$Pag = (Pag/PVV)(PVV) = (0.727)(1510) = 1097.77 \text{ kg/m}^3$$

$$Pag = 1098 \text{ kg/m}^3$$

Considerando una disminución del 10% del peso de la grava tendríamos:

$$Pag = 1098(1 - 0.1) = 988 \text{ kg/m}^3$$

El nuevo factor de agregado sería:

$$(Pag/PVV)(PVV) = \frac{988}{1510} = 0.654$$

**TABLA No 4.34:** Diseño Teórico para 1 m<sup>3</sup> (Prueba No 3).

Material	Para un m <sup>3</sup>
Cemento	389 kg
Agua	181 l
Grava (seca )	988 kg
Arena lavada (seca)	704 kg

➤ Humedad de los agregados

Humedad de la arena: 14.96 %

Humedad de la grava: 1.38 %

La cantidad de materiales para elaborar un metro cubico de concreto considerando el ajuste por humedad se muestran en la TABLA No 4.35:

**TABLA No 4.35:** Diseño Teórico para 1 m<sup>3</sup> (Prueba 2).

Material	Para un m <sup>3</sup>
Cemento	389 kg
Agua	95 l
Grava (húmeda )	1002 kg
Arena lavada (húmeda)	809 kg

➤ Mezcla de prueba

Para esta mezcla de prueba, se decidió reducir el volumen de concreto a 20 litros, ya que solo se realizará el ensayo de revenimiento y se elaboraran dos cilindros de concreto para verificar su resistencia a la compresión a 7 días. Las cantidades de materiales se muestran en la TABLA No 4.36

**TABLA No 4.36:** Mezcla de Laboratorio para un volumen de 20 litros

Material	Para 20 l
Cemento	7.80 kg
Agua	1.90 l
Grava (húmeda)	20.00 kg
Arena lavada (húmeda)	16.20 kg

➤ Comportamiento de la mezcla en estado fresco.

Al realizar la mezcla de prueba fue necesario agregar 0.5 litros de agua para mejorar la trabajabilidad, con la que se logró un revenimiento de 2". No se continuó agregando agua, ya que la mezcla podía desplomarse al realizar el ensayo de revenimiento, debido al comportamiento poco cohesivo que comenzaba a mostrar. Sin embargo, cabe mencionar que el comportamiento y la consistencia del concreto mejoró en relación a las pruebas anteriores, de modo que no se observó una alta cantidad de vacíos (ver FIGURA No 4.42).

**FIGURA No 4.42:** Ensayo de Revenimiento (Prueba 3).



➤ Ajuste de la mezcla por agua agregada

Agua adicionada: 0.5 l  
Relación A/C real

Arena —————> Agua que aporta: 1.64 l  
Grava —————> Agua que aporta: 0.06 l

$$\text{Agua real} = 1.9 + 0.5 + 1.64 + 0.06 = 4.11$$

$$\text{A/C real} = \frac{4.11}{7.8} = 0.527$$

➤ Comportamiento de la mezcla en estado endurecido.

Para esta mezcla se consideró elaborar únicamente 2 especímenes para ser ensayados a compresión a los 7 días, con el objeto de optimizar los recursos en las mezclas de prueba y tener resultados en un plazo más corto. Esta consideración se aplicara a los diseños posteriores hasta la selección del diseño definitivo.

La resistencia promedio de dicha mezcla fue de 351 kg/cm<sup>2</sup>, lo cual supera ampliamente la resistencia requerida.

A continuación se presenta en la TABLA No 4.37 los resultados de resistencia a la compresión de dichos cilindros.

**TABLA No 4.37:** Resultados de resistencia a compresión (Prueba No 3).

Concreto fresco			Concreto endurecido			
Mezcla No.	Relación A/C	Revenimiento (plg)	Especimen No.	Edad (días)	Peso volumétrico (kg/m <sup>3</sup> )	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
MP-3	0.527	2	1	7	2330	352
			2	7	2340	350
PROMEDIO					2340	351

#### 4.6.6 DISEÑO DE MEZCLA MP-4

Después de observar los resultados de la prueba anterior y notar la mejora en la consistencia del concreto, se decidió realizar nuevamente el diseño, pero esta

vez considerando una reducción en el peso de los agregados gruesos de 20%, ya que aún no se obtuvo el revenimiento requerido en la mezcla. Por lo que se realizó el ajuste en el diseño con el nuevo factor de agregado.

En la tabla No 4.38 se presentan las cantidades de materiales derivadas de esta corrección.

$$Pag/PVV = 0.727$$

$$Pag = (Pag/PVV)(PVV) = (0.727)(1510) = 1097.77 \text{ kg/m}^3$$

$$Pag = 1098 \text{ kg/m}^3$$

Considerando una disminución del 20% en el peso de la grava tendríamos:

$$Pag = 1098(1 - 0.2) = 878 \text{ kg/m}^3$$

El nuevo factor de agregado sería:

$$(Pag/PVV)(PVV) = \frac{878}{1510} = 0.581$$

**TABLA No 4.38:** Diseño Teórico para 1 m<sup>3</sup> (Prueba 4).

Material	Para un m <sup>3</sup>
Cemento	389 kg
Agua	181 l
Grava (seca)	878 kg
Arena lavada (seca)	807 kg

➤ Humedad de los agregados

Humedad de la arena: 9.61 %

Humedad de la grava: 1.38 %

La cantidad de materiales para elaborar un metro cubico de concreto considerando el ajuste por humedad se muestran en la TABLA No 4.39:

**TABLA No 4.39:** Diseño Teórico para 1 m<sup>3</sup> (Prueba 2).

<b>Material</b>	<b>Para un m<sup>3</sup></b>
Cemento	389 kg
Agua	127 l
Grava (húmeda )	890 kg
Arena lavada (húmeda)	885 kg

➤ Mezcla de prueba

Para esta mezcla también se elaboró un volumen de concreto de 20 litros. Las cantidades de materiales se muestran en la TABLA No 4.40.

**TABLA No 4.40:** Mezcla de Laboratorio para un volumen de 20 litros

<b>Material</b>	<b>Para 20 l</b>
Cemento	7.80 kg
Agua	2.50 l
Grava (húmeda)	17.80 kg
Arena lavada (húmeda)	17.70 kg

➤ Comportamiento de la mezcla en estado fresco.

Al realizar la mezcla de prueba utilizando las cantidades de materiales calculadas, solamente se logró conseguir un revenimiento de 1". Para no alterar la relación agua/cemento de la mezcla, se consideró agregar agua y cemento simultáneamente en una proporción que garantizara la misma relación agua/cemento especificada en el diseño.

Se agregó 0.5 litros de agua en total, y para mantener la relación agua/cemento de 0.465 se agregó una cantidad de 1075 g de cemento; sin embargo, el revenimiento se mantuvo en 1".

Ya que este proceso resultaba repetitivo sin observar aumento en el revenimiento se decidió agregar 0.25 litros de agua, modificando la relación agua/cemento a 0.492. El ensayo de revenimiento esta vez fue de 1 ½" (ver FIGURA No 4.43), y se decidió no agregar más agua para no alterar el diseño original de forma significativa.

**FIGURA No 4.43:** Ensayo de Revenimiento (Prueba No 4).



- Ajuste de la mezcla por agua agregada

Agua adicionada: 0.25 l  
Relación A/C real

Arena —————> Agua que aporta: 1.02 l  
Grava —————> Agua que aporta: 0.07 l

$$\text{Agua real} = 2.5 + 0.25 + 1.02 + 0.07 = 3.84$$

$$\text{A/C real} = \frac{3.84}{7.8} = 0.492$$

- Comportamiento de la mezcla en estado endurecido.

Como se justificó en el diseño MP-3 solamente se realizaron 2 especímenes para ensayar a 7 días. Los resultados de resistencia a compresión de esta mezcla promediaron 411 kg/cm<sup>2</sup> (ver TABLA No 4.41).

**TABLA No 4.41:** Resultados de resistencia a compresión (Prueba 4).

Concreto fresco			Concreto endurecido			
Mezcla No.	Relación A/C	Revenimiento (plg)	Especimen No.	Edad (días)	Peso volumétrico (kg/m <sup>3</sup> )	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
MP-4	0.492	1	1	7	2290	413
			2	7	2310	408
PROMEDIO					2300	411

Analizando los resultados de las mezclas MP-1 a MP-4 se puede observar que utilizando 100% agregado grueso de TMN 1 1/2" en el diseño de la mezcla se obtienen mezclas poco trabajables, por lo cual no fue posible alcanzar la trabajabilidad deseada. Por lo tanto, se optó por realizar un diseño utilizando 100% agregado grueso de TMN de 3/4".

#### 4.6.7 DISEÑO DE MEZCLA MP-5

Al no obtener los resultados deseados en la consistencia, trabajabilidad y resistencia de las mezclas de prueba anteriores se decidió hacer un diseño preliminar utilizando únicamente agregado de TMN 3/4". Este diseño daría un parámetro del comportamiento del concreto en el otro extremo de gradación de tamaños, de modo que podrá sacarse conclusiones acerca del diseño definitivo que deberá seleccionarse. Para este diseño se siguió la metodología de ACI-211 con los datos siguientes (ver TABLA No 4.42 y 4.43):

- Revenimiento 3 ± 1 pulgadas.
- Tamaño máximo nominal del agregado: 3/4" plg.
- Agua de mezclado:

Para revenimiento de 7.5 cm y TMN 3/4" = 205 kg/m<sup>3</sup> (ver Tabla No 3.6)

➤ Aire atrapado:

Para concreto sin aire incluido y TMN 3/4" = 2% (ver Tabla No 3.6)

➤ Relación agua/cemento: 0.465 (ver apartado 4.6.2):

➤ Contenido de cemento:

$$C = \frac{A}{A/C} = \frac{205}{0.465} = 439.9 \text{ kg/m}^3$$

$$C = 440 \text{ kg/m}^3$$

➤ Contenido de agregado grueso para TMN 3/4" (ver Tabla No 3.8):

MF	→	Pag/PVV
2.6	→	0.64
2.63	→	PVV
2.8	→	0.62

$$\text{Pag/PVV} = 0.637 \approx 0.637$$

$$\text{Pag} = (\text{Pag/PVV})(\text{PVV}) = (0.637)(1430) = 910.91 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Pag} = 911 \text{ kg/m}^3$$

➤ Contenido de Agregado Fino:

**TABLA No 4.42:** Volúmenes para 1 m<sup>3</sup> (Prueba 5)

Material	Peso seco (kg/m <sup>3</sup> )	Gs (seca)	Volumen (m <sup>3</sup> )
Cemento	440	3.0	0.1467
Agua	205	1.0	0.2050
Aire	2%	---	0.0200
Grava (seca)	911	2.57	0.3545
		Σ	0.7262

$$\text{Cantidad de agregado fino} = 1 - 0.7262 = 0.2738$$

$$\text{En peso} = 0.2738 \times 2.40 \times 1000 = 657 \text{ kg/m}^3$$

**TABLA No 4.43:** Diseño Teórico para 1 m<sup>3</sup> (Prueba No 5).

<b>Material</b>	<b>Para un m<sup>3</sup></b>
Cemento	440 kg
Agua	205 l
Grava (seca )	911 kg
Arena lavada (seca)	657 kg

- Humedad de los agregados

Humedad de la arena: 13.61 %

Humedad de la grava: 3.16 %

Las cantidades de materiales para elaborar un metro cúbico de concreto, considerando el ajuste por la humedad de los agregados, serán las mostradas en la TABLA No 4.44.

**TABLA No 4.44:** Diseño Teórico para 1 m<sup>3</sup> (Prueba 5).

<b>Material</b>	<b>Para un m<sup>3</sup></b>
Cemento	440 kg
Agua	115 l
Grava (húmeda)	940 kg
Arena lavada (húmeda)	746 kg

- Mezcla de prueba

Para esta mezcla también se elaboró un volumen de concreto de 20 litros. Las cantidades de materiales se muestran en la TABLA No 4.45.

**TABLA No 4.45:** Mezcla de Laboratorio para 20 litros

<b>Material</b>	<b>Para 20 l</b>
Cemento	8.80 kg
Agua	2.30 l
Grava (húmeda)	18.80 kg
Arena lavada (húmeda)	14.90 kg

- Comportamiento de la mezcla en estado fresco.

Al realizar la mezcla de prueba se observó poca trabajabilidad (bajo revenimiento), por lo que se le adiciono 0.25 litros de agua; con la cual, se logró un revenimiento de 2.5”.

- Ajuste de la mezcla por agua agregada

Agua adicionada: 0.25 l

Relación A/C real

Arena —————> Agua que aporta: 1.35 l  
 Grava —————> Agua que aporta: 0.45 l

$$\text{Agua real} = 2.3 + 0.25 + 1.35 + 0.45 = 4.35$$

$$\text{A/C real} = \frac{4.35}{8.8} = 0.495$$

Rendimiento:

$$\frac{\sum \text{elementos de la mezcla de laboratorio}}{\text{PV concreto fresco}}$$

Al realizar el ensayo de peso volumétrico este dio un volumen de 2240 kg/m<sup>3</sup>

$$R = \frac{8.8 + 2.55 + 18.8 + 14.9}{2240}$$

$$R = 0.02011160714$$

$$\text{Cantidad de agua en un } m^3 = \frac{\text{agua de mezclado}}{\text{rendimiento}}$$

$$\text{Cantidad de agua en un } m^3 = \frac{4.35}{0.02011160714} = 216 \text{ kg}$$

- Comportamiento de la mezcla en estado endurecido.

A continuación se presenta en la TABLA No 4.46 los resultados de los cilindros ensayados a compresión a la edad de 7 días.

**TABLA No 4.46:** Resultados de resistencia a la compresión (Prueba 5).

Concreto fresco			Concreto endurecido			
Mezcla No.	Relación A/C	Revenimiento (plg)	Espécimen No.	Edad (días)	Peso volumétrico (kg/m <sup>3</sup> )	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
MP-5	0.495	2 1/2	1	7	2300	368
			2	7	2290	365
PROMEDIO					2300	367

#### 4.6.8 DISEÑO DE MEZCLA MP-6

De acuerdo a los resultados de la mezcla MP-5, se puede decir, que este diseño se adecua más a los requerimientos deseados de trabajabilidad y resistencia en el concreto. Por lo tanto, este diseño se tomará de base para plantear el diseño definitivo. Sin embargo, dicho diseño no incluyó agregado de TMN de 1 ½", lo cual genera incertidumbre acerca de cómo se comportaran las mezclas definitivas, recordando que 4 de las 5 mezclas incluirán este tamaño de agregado en su proporcionamiento.

Por lo tanto, antes de llevar a cabo el diseño definitivo es preciso realizar un diseño de mezclas considerando una combinación de agregados gruesos. Para este caso, se trabajó con una proporción de 50-50 (50% grava de 1 ½" y 50 % grava de 3/4"), con el objeto de observar el comportamiento del concreto que incluya el TMN de 1 ½". Este diseño se realizó con el mismo proporcionamiento del diseño MP-5, establecido en el apartado 4.6.7. Es decir, se tomó un factor de agregado 0.637 y una cantidad de agua de 205 kg/m<sup>3</sup>. Esta decisión se tomó partiendo de los resultados de la mezcla preliminar MP-3, en la que se tuvo que reducir un 10% de grava y se agregó más agua para mejorar la trabajabilidad. Al hacer las correcciones se observó que el proporcionamiento era similar al de una mezcla de TMN 3/4". La diferencia de este diseño radicaba en que esta vez, la granulometría del agregado se modificaría de modo que no hubiera ausencia de tamaños intermedios.

El proporcionamiento para este diseño se presenta en la TABLA No.4.47.

**TABLA No 4.47:** Diseño Teórico para 1 m<sup>3</sup> (Prueba No 6).

<b>Material</b>	<b>Para un m<sup>3</sup></b>
Cemento	440 kg
Agua	205 l
Grava (seca )	911 kg
Arena lavada (seca)	657 kg

➤ Mezcla de prueba

Para esta mezcla se elaboró un volumen de concreto de 20 litros. Las cantidades de materiales para dicho volumen se muestran en la TABLA No 4.48.

**TABLA No 4.48:** Mezcla de Laboratorio para 20 litros

<b>Material</b>	<b>Para 20 l</b>
Cemento	8.80 kg
Agua	2.30 l
Grava ¾" (húmeda)	9.40 kg
Grava 1 ½" (húmeda)	9.40 kg
Arena lavada (húmeda)	14.90 kg

➤ Comportamiento de la mezcla en estado fresco.

Como era de esperarse la consistencia de esta mezcla mejoro considerablemente al modificar la granulometría del agregado llegando a un revenimiento de 2" (ver FIGURA No 4.44) al agregar 0.25 litros de agua. Para no alterar significativamente la relación agua/cemento no se agregó más agua; sin embargo, la mezcla mostro un comportamiento cohesivo sin riesgo de desplomarse en el ensayo de revenimiento.

➤ Ajuste de la mezcla por agua agregada

Agua adicionada: 0.25 l  
Relación A/C real

Arena —————> Agua que aporta: 1.35 l  
 Grava —————> Agua que aporta: 0.45 l

$$\text{Agua real} = 2.3 + 0.25 + 1.35 + 0.45 = 4.35$$

$$A/C \text{ real} = \frac{4.35}{8.8} = 0.495$$

**FIGURA No 4.44:** Ensayo de Revenimiento (Prueba 6).



- Comportamiento de la mezcla en estado endurecido.

Los resultados de resistencia a la compresión a 7 días de esta mezcla promediaron 376 kg/cm<sup>2</sup>, tal y como se muestra en la TABLA No 4.49.

**TABLA No 4.49:** Resultados de resistencia a compresión (Prueba No 6).

Concreto fresco			Concreto endurecido			
Mezcla No.	Relación A/C	Revenimiento (plg)	Espécimen No.	Edad (días)	Peso volumétrico (kg/m <sup>3</sup> )	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
MP-6	0.495	2	1	7	2290	376
			2	7	2310	376
PROMEDIO					2300	376

Como se pudo observar, en la mezcla MP-6, los resultados al combinar los agregados se consideran satisfactorios; debido a que cumplen los requisitos de resistencia y trabajabilidad.

#### 4.6.9 DISEÑO DE MEZCLA MP-7

En este diseño se ha considerado aumentar la relación A/C, debido a que las resistencias a compresión en las mezclas MP-5 y MP-6 presentaron valores más altos a la resistencia de diseño en tan solo 7 días (ver TABLA No 4.47 y No 4.50). La relación A/C que se utilizara en este diseño será de 0.527. Esta relación A/C se consideró tomando como referencia la mezcla MP-3 debido a que de todas las mezclas preliminares que se elaboraron con un Tamaño Máximo Nominal de 1 ½", esta fue la que presento una mejor trabajabilidad, cumpliendo además con la resistencia de diseño.

De acuerdo a la corrección realizada a la mezcla MP-5 el agua de diseño resulto en un valor de 216 kg para un metro cubico de concreto.

Tomando como referencia dicha cantidad de agua y la relación A/C el nuevo contenido de cemento sera:

$$C = \frac{A}{A/C} = \frac{216}{0.527} = 410 \text{ kg/m}^3$$

El peso de agregado grueso seria el mismo:

$$P_{ag} = 911 \text{ kg/m}^3$$

**TABLA No 4.50:** Volúmenes para 1 m<sup>3</sup> (Prueba No 7)

Material	Peso seco (kg/m <sup>3</sup> )	Gs (seca)	Volumen (m <sup>3</sup> )
Cemento	410	3.0	0.1367
Agua	216	1.0	0.2160
Aire	2%	---	0.0200
Grava (seca)	911	2.57	0.3545
		Σ	0.7272

- Contenido de Agregado Fino (ver TABLA No 4.51):

$Cantidad\ de\ agregado\ fino = 1 - 0.7272 = 0.2728$

$En\ peso = 0.2728 \times 2.40 \times 1000 = 655\ kg/m^3$

**TABLA No 4.51:** Diseño Teórico para 1 m<sup>3</sup> (Prueba No 7).

Material	Para un m <sup>3</sup>
Cemento	410 kg
Agua	216 l
Grava (seca)	911 kg
Arena lavada (seca)	655 kg

➤ Humedad de los agregados

Humedad de la arena: 9.5 %

Humedad de la grava: 1.6 %

Las cantidades de materiales para elaborar un metro cubico, considerando el ajuste por la humedad de los agregados, serán las mostradas en la TABLA No 4.52:

**TABLA No 4.52:** Diseño Teórico para 1 m<sup>3</sup> (Prueba 7).

Material	Para un m <sup>3</sup>
Cemento	410 kg
Agua	167 l
Grava (húmeda)	926 kg
Arena lavada (húmeda)	717 kg

➤ Mezcla de prueba

Para esta mezcla también se elaboraron 20 l. Las cantidades de materiales se muestran en la tabla No 4.53

**TABLA No 4.53:** Mezcla de Laboratorio para 20 l

Material	Para 20 l
Cemento	8.2 kg
Agua	3.3 l
Grava (húmeda)	18.5 kg
Arena lavada (húmeda)	14.3 kg

Agua adicionada: 0.10 l

Relacion A/C real

Arena  $\longrightarrow$  Agua que aporta: 0.81 l  
 Grava  $\longrightarrow$  Agua que aporta: 0.16 l

Agua real = 3.3 + 0.10 + 0.81 + 0.16 = 4.37

$$A/C \text{ real} = \frac{4.37}{8.2} = 0.533$$

➤ Comportamiento de la mezcla en estado endurecido.

Los resultados de resistencia a compresión marcaron un promedio de 296 kg/cm<sup>2</sup> a 7 días (ver TABLA 4.54), por lo que este diseño se realizara nuevamente, y se establecerá como diseño definitivo.

**TABLA No 4.54:** Resultados de resistencia a compresión (Prueba No 7).

Concreto fresco			Concreto endurecido			
Mezcla No.	Relación A/C	Revenimiento (pulg.)	Espécimen No.	Edad (días)	Peso volumétrico (kg/m <sup>3</sup> )	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
MP-7	0.533	3 3/4	1	7	2310	291
			2	7	2310	301
PROMEDIO					2310	296

La TABLA No. 4.55 muestra el resumen de los resultados de las mezclas preliminares en estado fresco y endurecido.

**TABLA No 4.55:** Resumen de Resultados de mezclas preliminares.

Concreto fresco			Concreto endurecido				
Mezcla No.	Relación A/C	Revenimiento (pulg.)	Espécimen No.	Edad (días)	Peso volumétrico (kg/m <sup>3</sup> )	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	
MP-1	0.548	-	1	7	2340	152	
			2	7	2340	161	
			3	7	2330	157	
PROMEDIO					2340	157	
MP-2	0.440	1 1/4	1	7	2340	189	
			2	7	2350	209	
	PROMEDIO					2350	199
	0.440	1 1/4	3	28	2340	298	
			4	28	2350	249	
5	28	2330	286				
PROMEDIO					2340	277	
MP-3	0.527	2	1	7	2330	352	
			2	7	2340	350	
PROMEDIO					2340	351	
MP-4	0.492	1	1	7	2290	413	
			2	7	2310	408	
PROMEDIO					2300	411	
MP-5	0.495	2 1/2	1	7	2300	368	
			2	7	2290	365	
PROMEDIO					2300	367	
MP-6	0.495	2	1	7	2290	376	
			2	7	2310	376	
PROMEDIO					2300	376	
MP-7	0.533	3 3/4	1	7	2310	291	
			2	7	2310	301	
PROMEDIO					2310	296	

#### 4.7 SELECCIÓN DE DISEÑO DEFINITIVO

Después de haber realizado varias mezclas de prueba, se estableció el diseño patrón con el cual se reproducirán las mezclas definitivas del presente trabajo de investigación.

En la mezcla MP-7 se utilizó inicialmente una  $a/c = 0.527$ , cuyo proporcionamiento en la mezcla de prueba fue el mostrado en la TABLA No 4.56.

Al realizarse la mezcla de prueba se vio la necesidad de agregar una pequeña cantidad de agua de 0.1 litros, lo que incremento la relación a/c a 0.533, con lo que se consiguió un revenimiento de 3 ¾", cercano al límite superior del revenimiento de diseño.

La resistencia alcanzada a 7 días resulto de 296 kg/cm<sup>2</sup>, que es mayor a la resistencia de diseño a 28 días.

Al revisar el comportamiento de esta se tomo la decisión de:

1. No alterar la relación a/c inicial (0.527, no corregir la cantidad de agua a agregar).
2. Usar el proporcionamiento correspondiente a la mezcla MP-7 de los demás componentes.

Las cantidades de materiales del diseño definitivo se presentan a continuación en la TABLA No 4.56:

**TABLA No 4.56:** Proporcionamiento de Diseño Definitivo.

Material	para 1 m <sup>3</sup>
Cemento	410 kg
Agua	216 l
Aire	2%
Grava (seca)	911 kg
Arena (seca)	655 kg

En la TABLA No 4.57 y 4.58 se muestra un resumen de los resultados de los ensayos realizados en estado fresco y endurecido en la mezcla de prueba del diseño definitivo y en la FIGURA No 4.45 se muestra el ensayo de revenimiento de dicha mezcla.

**TABLA No 4.57:** Resultados de ensayos en estado fresco del Diseño Definitivo.

Ensayo	Resultado
Revenimiento (pulg.)	3 1/2"
Temperatura(°C)	23.5
Peso volumétrico (kg/m <sup>3</sup> )	2270
Contenido de aire (%)	1

**TABLA No 4.58:** Resultados de ensayos en estado endurecido del Diseño Definitivo.

Mezcla No.	Relación A/C	Espécimen No.	Edad (días)	Peso volumétrico (kg/m <sup>3</sup> )	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
DD	0.527	1	7	2300	368
		2	7	2300	352
		3	7	2270	349
	PROMEDIO			2290	356
	0.527	4	28	2300	459
		5	28	2320	464
		6	28	2310	448
	PROMEDIO			2310	457

**FIGURA No 4.45:** Revenimiento obtenido en la mezcla MP-7 (diseño definitivo)



#### **4.8 REPRODUCCION DE MEZCLAS DEFINITIVAS**

Con el diseño definitivo seleccionado en el apartado 4.7 se procederá a la reproducción de las mezclas definitivas; el número de especímenes a realizar por cada mezcla será de acuerdo a la TABLA No 3.9 del apartado 3.5.7.

La elaboración de especímenes se hará siguiendo la normativa ASTM C-192 “Practica estándar para elaboración y curado en el laboratorio de especímenes de concreto para ensayo”.

A continuación se presenta en la TABLA No 4.59 la nomenclatura utilizada para cada una de las mezclas analizadas en esta investigación.

**TABLA No 4.59:** Identificación de las mezclas definitivas

Mezcla	Descripción	A/C
GC0-100	Mezcla utilizando 100% grava 3/4"	0.527
GC40-60	Mezcla utilizando 40% grava 1 1/2", 60 % grava 3/4"	0.527
GC50-50	Mezcla utilizando 50% grava 1 1/2", 50 % grava 3/4"	0.527
GC60-40	Mezcla utilizando 60% grava 1 1/2", 40 % grava 3/4"	0.527
GC100-0	Mezcla utilizando 100% grava 1 1/2"	0.527

#### 4.8.1 PROPORCIONAMIENTO DE LOS DISEÑOS PRELIMINARES

A continuación se presenta el proporcionamiento de cada uno de los diseños definitivos que serán reproducidos para llevar a cabo el análisis de esta investigación.

Para el proporcionamiento de las diferentes combinaciones se utilizaron los pesos volumétricos presentados en la sección 4.5.4.

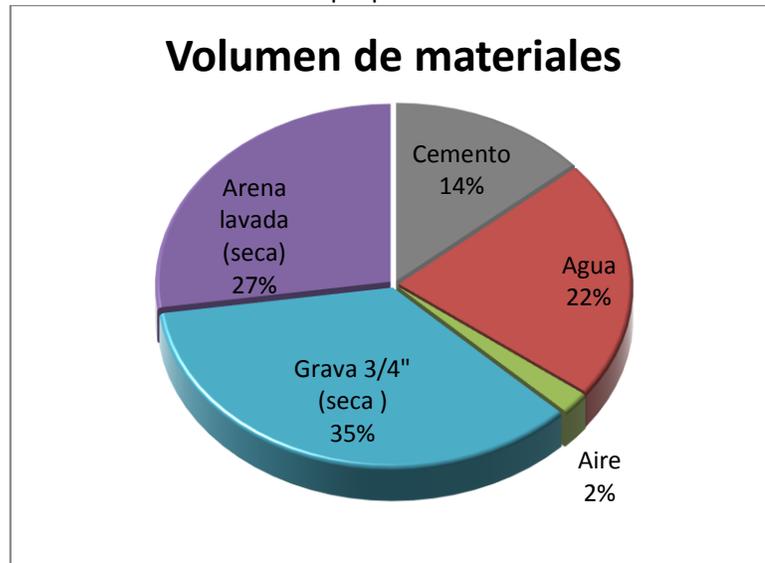
#### DISEÑO GC0-100

A continuación se presenta en la TABLA No 4.60 y en la FIGURA No 4.46 el proporcionamiento para el diseño GC0-100 en la cual solo se utilizó grava de ¾".

**TABLA No 4.60:** Proporcionamiento definitivo para 1 m<sup>3</sup> del diseño GC0-100

Material	Peso seco (kg/m <sup>3</sup> )	Gs (seca)	Volumen (m <sup>3</sup> )
Cemento	410	3	0.1367
Agua	216	1	0.2160
Aire	2%	---	0.0200
Grava ¾" (seca): 100 %	911	2.56	0.3545
Arena (seca)	655	2.4	0.2728

**FIGURA No 4.46:** Grafico de proporcionamiento del diseño GC0-100



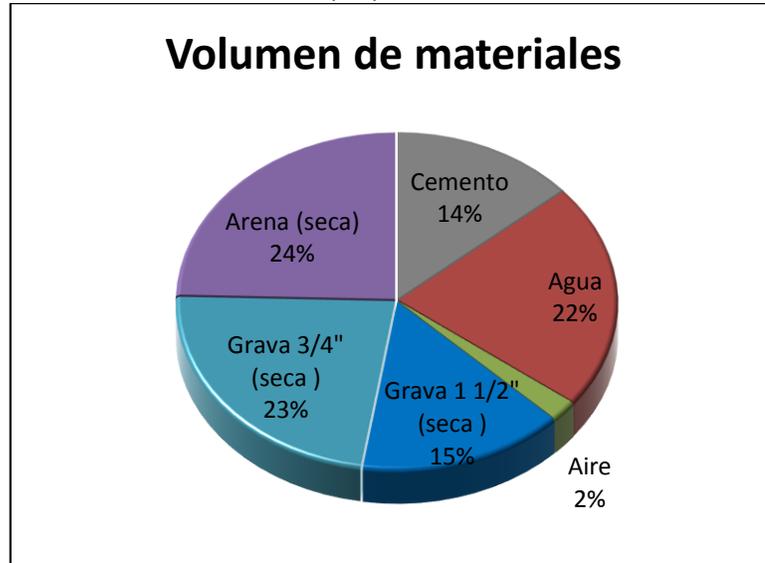
### DISEÑO GC40-60

A continuación se presenta en la TABLA No 4.61 y en la FIGURA No 4.47 el proporcionamiento para el diseño GC40-60 en la cual se utilizó 40% de grava 1 ½" y 60 % de grava ¾".

**TABLA No 4.61:** Proporcionamiento definitivo para 1 m<sup>3</sup> del diseño GC40-60

Material	Peso seco (kg/m <sup>3</sup> )	Gs (seca)	Volumen (m <sup>3</sup> )
Cemento	410	3	0.1367
Agua	216	1	0.2160
Aire	2%	---	0.0200
Grava 1 ½" (seca): 40 %	390	2.56	0.1523
Grava ¾" (seca): 60 %	585	2.56	0.2285
Arena (seca)	592	2.4	0.2465

**FIGURA No 4.47:** Grafico de proporcionamiento del diseño GC40-60



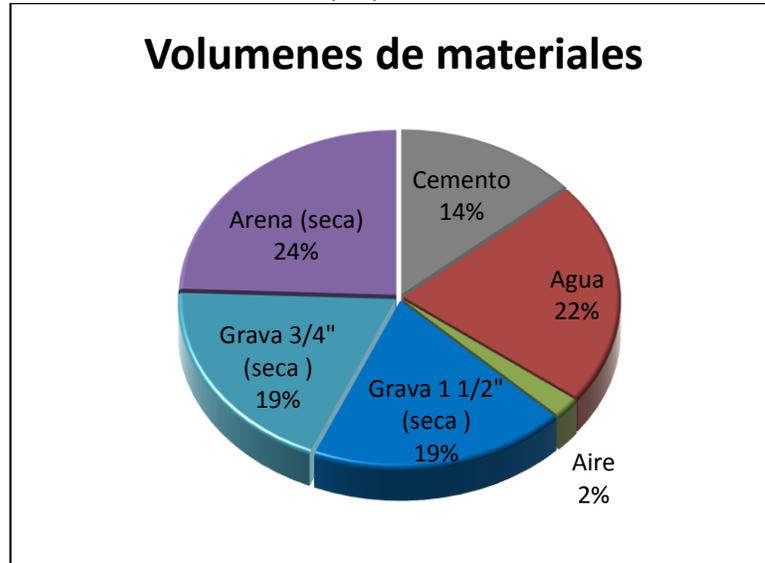
### DISEÑO GC50-50

A continuación se presenta en la TABLA No 4.62 y en la FIGURA No 4.48 el proporcionamiento para el diseño GC50-50 en la cual se utilizó 50% de grava 1 1/2" y 50 % de grava 3/4".

**TABLA No 4.62:** Proporcionamiento definitivo para 1 m<sup>3</sup> del diseño GC50-50

Material	Peso seco (kg/m <sup>3</sup> )	Gs (seca)	Volumen (m <sup>3</sup> )
Cemento	410	3	0.1367
Agua	216	1	0.2160
Aire	2%	---	0.0200
Grava 1 1/2 (seca): 50 %	490.5	2.56	0.1915
Grava 3/4 (seca): 50 %	490.5	2.56	0.1915
Arena (seca)	586	2.4	0.2443

**FIGURA No 4.48:** Grafico de proporcionamiento del diseño GC50-50



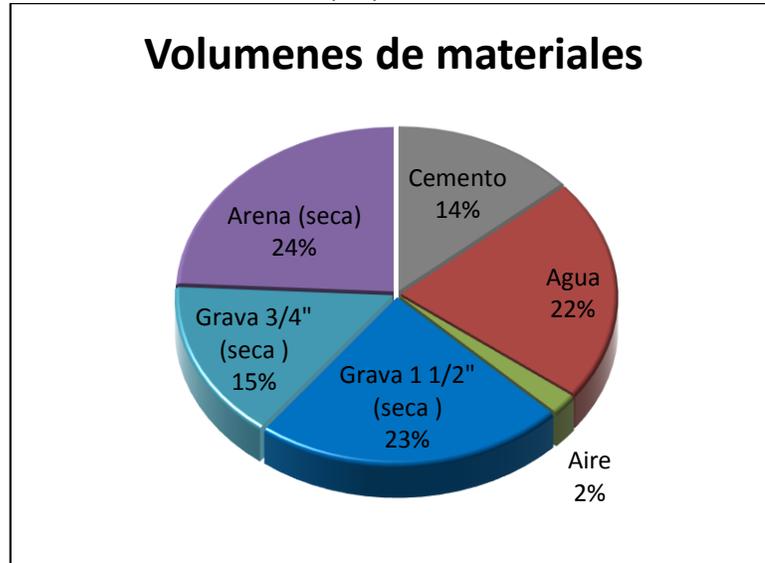
### DISEÑO GC60-40

A continuación se presenta en la TABLA No 4.63 y en la FIGURA No 4.49 el proporcionamiento para el diseño GC60-40 en la cual se utilizó 60% de grava 1 1/2" y 40 % de grava 3/4".

**TABLA No 4.63:** Proporcionamiento definitivo para 1 m<sup>3</sup> del diseño GC60-40

Material	Peso seco (kg/m <sup>3</sup> )	Gs (seca)	Volumen (m <sup>3</sup> )
Cemento	410	3	0.1367
Agua	216	1	0.2160
Aire	2%	---	0.0200
Grava 1 1/2 (seca): 60 %	592	2.56	0.2312
Grava 3/4 (seca): 40 %	395	2.56	0.1543
Arena (seca)	580	2.4	0.2418

**FIGURA No 4.49:** Grafico de proporcionamiento del diseño GC60-40



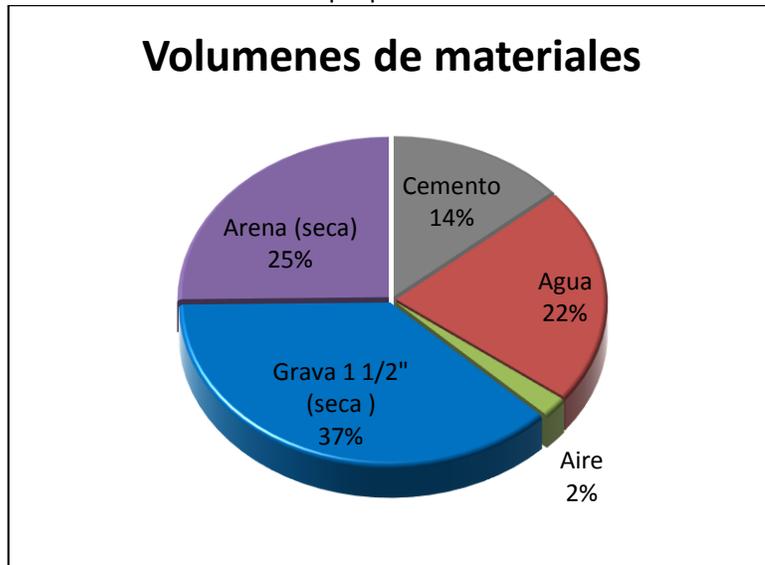
### DISEÑO GC100-0

A continuación se presenta en la TABLA No 4.64 y en la FIGURA No 4.50 el proporcionamiento para el diseño GC100-0, en el cual solo se utilizó grava de 1 1/2". La relación A/C se mantuvo constante en todas las mezclas.

**TABLA No 4.64:** Proporcionamiento definitivo para 1 m<sup>3</sup> del diseño GC100-0

Material	Peso seco (kg/m <sup>3</sup> )	Gs (seca)	Volumen (m <sup>3</sup> )
Cemento	410	3	0.1367
Agua	216	1	0.2160
Aire	2%	---	0.0200
Grava 1 1/2" (seca): 100 %	961	2.56	0.3754
Arena (seca)	604	2.4	0.2519

**FIGURA No 4.50:** Grafico de proporcionamiento del diseño GC100-0



# CAPITULO V

## ANALISIS DE RESULTADOS

## 5.1 GENERALIDADES

En este capítulo se presentan todos los resultados experimentales que se obtuvieron en las pruebas de laboratorio al concreto en estado fresco y en estado endurecido, realizados a las 5 mezclas definitivas (GC0-100, GC40-60, GC50-50, GC60-40, GC100-0) con el objeto de analizar el comportamiento del concreto cuando se emplean combinaciones de agregados gruesos de TMN 3/4" y TMN 1 1/2".

Para evaluar el comportamiento en estado fresco se analizarán los resultados de los ensayos de revenimiento, temperatura, peso volumétrico y contenido de aire. La determinación de estos parámetros permite determinar la trabajabilidad, consistencia y apariencia del concreto para cada uno de los diseños reproducidos; es decir, para los diseños elaborados utilizando un solo tipo de agregado grueso, como para los diseños en los que se empleó agregados combinados.

En cuanto al comportamiento en estado endurecido, se analizarán los resultados de los ensayos de resistencia a compresión, módulo de ruptura, tensión por partitura, módulo de elasticidad estático y dinámico para cada una de las mezclas.

Se debe recalcar que para las mezclas se mantuvieron constantes las siguientes variables:

Cemento: 410 kg/m<sup>3</sup>

Agua: 216 kg/m<sup>3</sup>

Aire: 2%

En las combinaciones y en las mezclas individuales, el proporcionamiento del agregado grueso, se obtuvo utilizando el mismo factor de agregado multiplicado por el PVV, determinado para cada tipo de grava. En los casos donde se combinaron las gravas se realizó el mismo procedimiento, aplicando nada más, un factor adicional que corresponde al porcentaje de cada tipo de grava presente.

La suma de ambos corresponde a la cantidad presente de este material. Debido a esto, el contenido de grava y arena, varían ligeramente. (Ver sección 4.5.4) Además de esto, se realizara un análisis comparativo de cada una de las mezclas, tomando como referencia el diseño patrón (GC0-100 mezcla utilizando 100% agregado 3/4"), para determinar el efecto que tiene el utilizar granulometrías combinadas en las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido.

## 5.2 ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

En esta sección, se presentan los resultados de los ensayos realizados al concreto en estado fresco, y se realiza un análisis comparativo de cada una de las mezclas.

En la TABLA No 5.1 se presenta un resumen de los proporcionamientos de cada una de las mezclas para tener una mayor comprensión del comportamiento de ellas.

**TABLA No 5.1:** Proporcionamiento en volumen de las mezclas para 1 m<sup>3</sup>

Material (%) \ Mezcla	GC0-100	GC40-60	GC50-50	GC60-40	GC100-0
Cemento	14	14	14	14	14
Agua	22	22	22	22	22
Aire	2	2	2	2	2
Grava 3/4" (seca)	35	23	19	15	0
Grava 1 1/2" (seca)	0	15	19	23	37
Arena (seca)	27	24	24	24	25

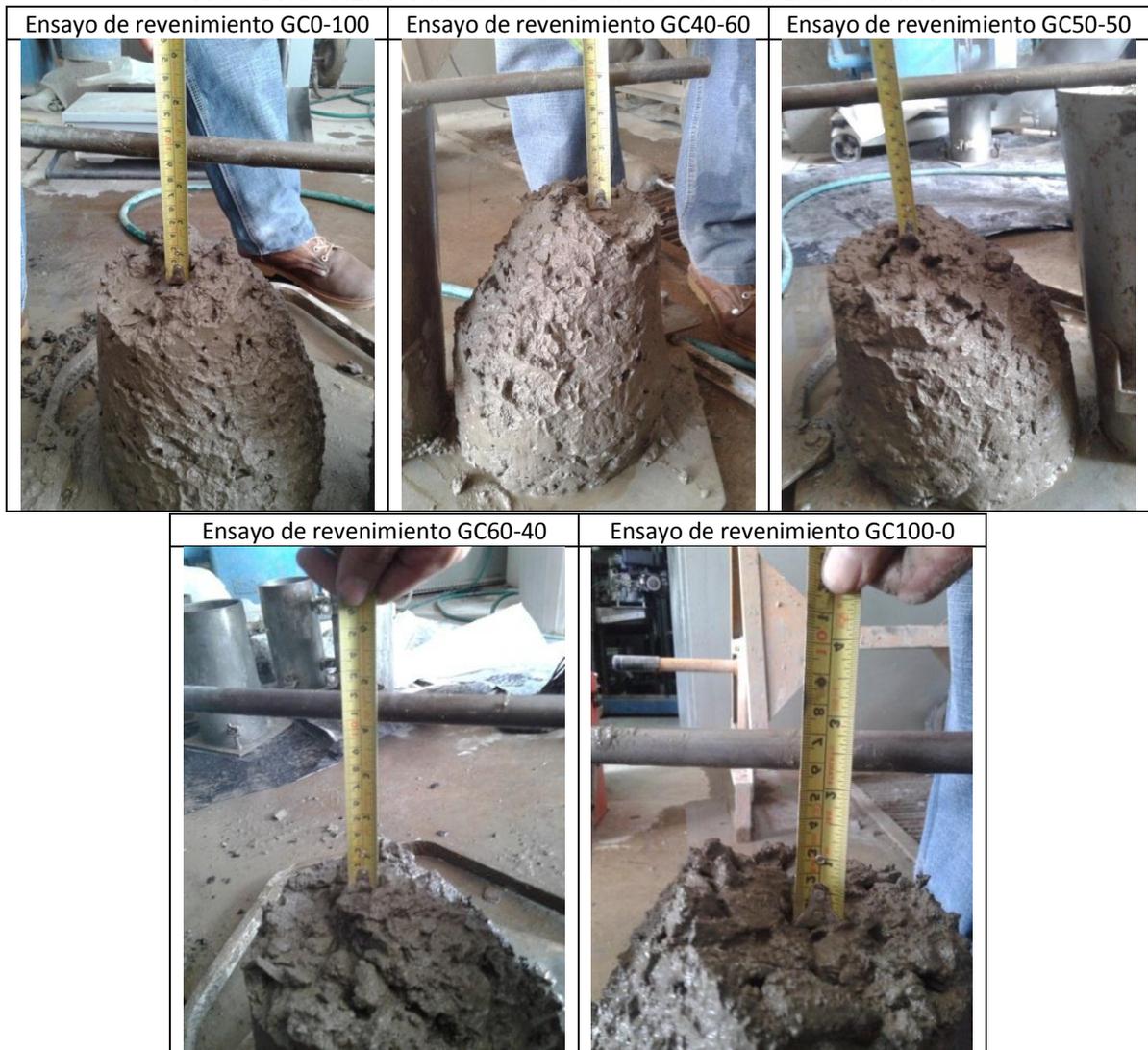
A continuación, se presenta en la TABLA No 5.2 un resumen de los resultados de los ensayos realizados al concreto en estado fresco, y en la FIGURA No 5.1 se muestran fotografías de los ensayos de revenimiento, realizados a cada una de las mezclas, donde se observa la apariencia y consistencia del concreto.

**TABLA No 5.2:** Resultados de los ensayos al concreto en estado fresco

Mezcla	No de bachada	Revenimiento 3 plg ± 1 plg	Temperatur a (°C)	Peso volumétrico (kg/m <sup>3</sup> )	Contenido de aire (%)
GC0-100	1	4	23.5	2270	1
	2	3 1/2	25	2280	1.1
	3	3 1/2	24	2280	1.2
	4	4	24	2280	0.9
	5	2 1/2	23	2290	1
	PROMEDIO	3 1/2	24	2280	1
GC40-60	1	4	24	2280	1.5
	2	3 1/2	24	2290	1.5
	3	4	26	2290	1.4
	4	4	25	2300	1.5
	5	4 3/4	25	2310	1.5
	PROMEDIO	4	25	2290	1.5
GC50-50	1	4	24	2280	1.4
	2	4	26	2290	1.5
	3	3 1/2	24	2300	1.6
	4	4 1/4	25	2300	1.5
	5	4 1/2	25	2310	1.5
	PROMEDIO	4	25	2300	1.5
GC60-40	1	4	27	2300	1.4
	2	4 1/2	27	2300	1.5
	3	3 3/4	26	2310	1.5
	4	4 3/4	26	2310	1.4
	5	4	27	2320	1.5
	PROMEDIO	4 1/4	26.5	2310	1.5
GC100-0	1	*	25	2270	0.75
	2	*	24	2280	0.9
	3	*	25	2290	0.7
	4	3	24	2310	0.9
	5	2 1/4	24	2310	1
	PROMEDIO	2 1/2	24.5	2290	0.85

\*: Mezclas en las que no se pudo medir el revenimiento debido al desplome al levantar le cono de Abrams

**FIGURA No 5.1:** Revenimientos obtenidos en las mezclas definitivas



### **5.2.1 ANALISIS COMPARATIVO DE LOS ENSAYOS AL CONCRETO EN ESTADO FRESCO**

En este apartado se analizará los resultados obtenidos de cada uno de los ensayos realizados a las mezclas definitivas, comparados con la mezcla patrón, con el fin de determinar el efecto en las propiedades del concreto en estado fresco al emplear agregados combinados. Además se verificará si se cumplieron con los requisitos de diseño establecidos.

#### **REVENIMIENTO**

En la TABLA No 5.3 se presenta un resumen con los valores promedios de los ensayos de revenimiento realizados a las 5 mezclas definitivas.

En la FIGURA No 5.2 se muestra un gráfico con los valores de revenimiento obtenidos en cada una de las mezclas, observando esta figura y tomando como referencia el valor de revenimiento de 3 ½" de la mezcla patrón, es decir, en la que se utilizó 100% de grava de TMN ¾"(GC0-100), se puede afirmar que al emplear agregado combinado, se mejorará la trabajabilidad, tal como se pudo evidenciar en las tres mezclas en que los agregados se combinaron, mostrando buena consistencia, estabilidad y cohesividad, siendo así, que en ningún caso se presentó un desplome o segregación de los agregados al momento de levantar el cono de revenimiento. Estas mezclas presentaron un revenimiento de 4", en el caso de la mezcla GC40-60 y GC50-50, y de 4 ¼" para la mezcla GC60-40, siendo esta la que presentó la mejor trabajabilidad y un aumento en el revenimiento de ¾" en comparación con la mezcla patrón.

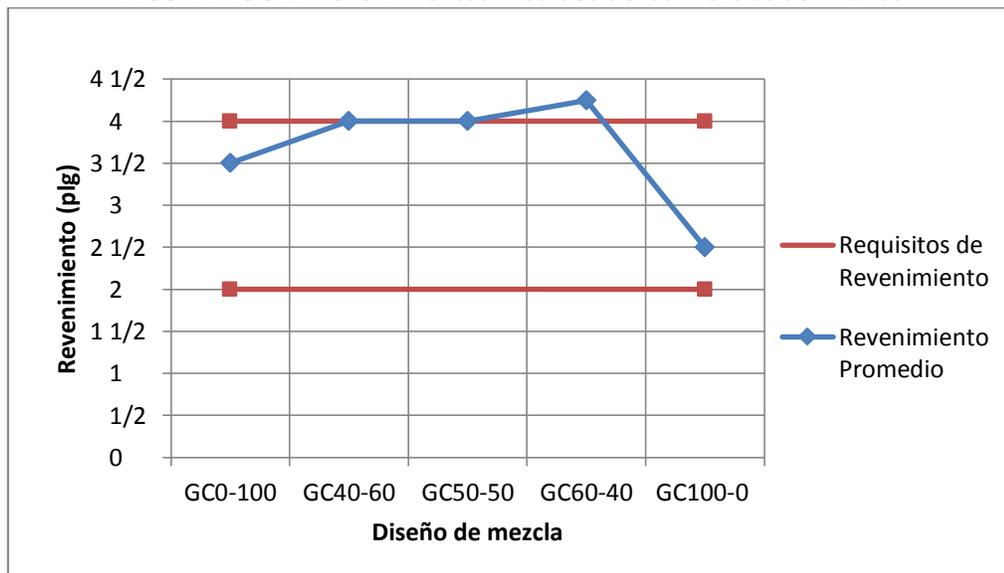
En cuanto a la mezcla en la que se utilizó 100 % de grava de TMN 1 ½"(GC-100-0), esta presentó un revenimiento promedio 2 ½", es decir una diferencia en el revenimiento de 1" por debajo del obtenido en la mezcla patrón, reafirmando que al emplear agregados de TMN de 1 ½", se afecta notablemente la trabajabilidad, lo cual se pudo observar a la hora de realizar el ensayo de revenimiento, ya que

las mezclas eran bastante inestables y con poca cohesividad, a tal grado, que en algunas mezclas no se pudo medir el revenimiento debido al desplome de esta. Comparando cada una de las mezclas se puede decir que la presencia de diferentes tamaños en la granulometría del agregado tiene más influencia en la trabajabilidad que el TMN de este. Lo que se constata, al combinar los agregados en las mezclas, estas se vuelven más trabajables, debido a que se logra una mejor distribución de tamaños de las partículas. Ejemplo de ello, es que en las mezclas con presencia de combinación de agregados, el valor de revenimiento presento un aumento hasta  $\frac{3}{4}$ " en relación de la mezcla patrón.

**TABLA No 5.3:** Revenimientos medidos de las mezclas definitivas

Mezcla	Revenimiento de diseño	Revenimiento medido
GC0-100	3" ± 1" (75 mm ± 25 mm)	3 ½" (87.5 mm)
GC40-60	3" ± 1" (75 mm ± 25 mm)	4" ( 100 mm)
GC50-50	3" ± 1" (75 mm ± 25 mm)	4" ( 100 mm)
GC60-40	3" ± 1" (75 mm ± 25 mm)	4 ¼" (106.25 mm)
GC100-0	3" ± 1" (75 mm ± 25 mm)	2 ½" (62.5 mm)

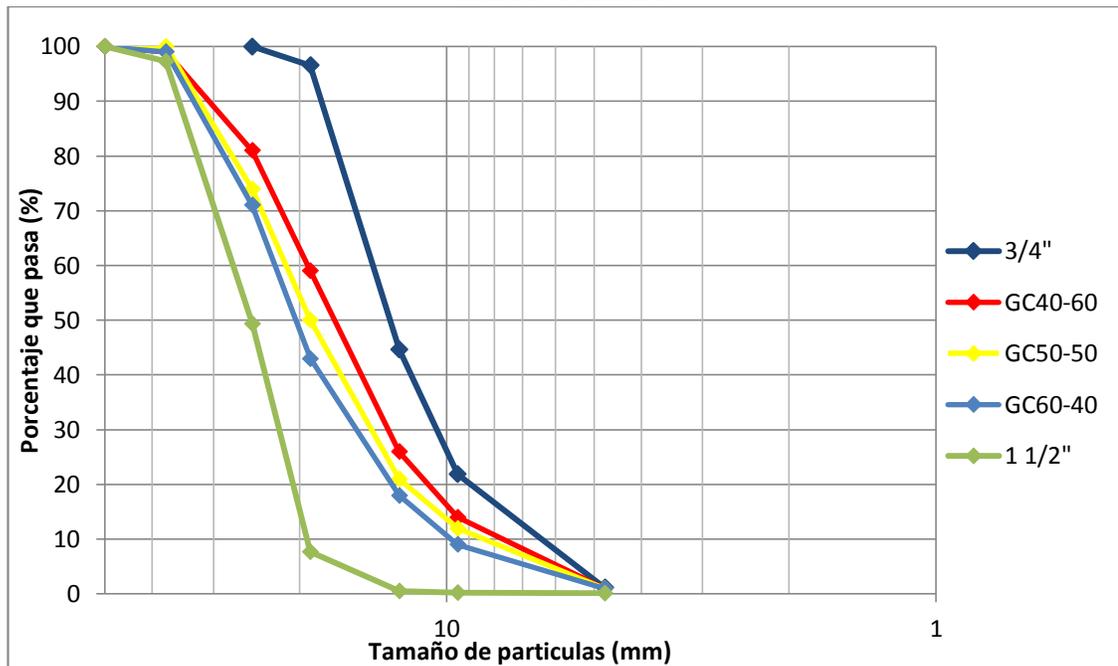
**FIGURA No 5.2:** Revenimientos medidos de las mezclas definitivas



La FIGURA No 5.3 muestra las curvas granulométricas del agregado grueso de cada una de las mezclas definitivas; en la cual se puede observar que las

granulometrías de las tres combinaciones presentan una curva más suave en comparación a las que se utilizó un solo tipo de agregado, esto confirma que los agregados que presentan una curva granulométrica suave producirán mejores resultados de trabajabilidad en el concreto.

**FIGURA No 5.3:** Comparación de curvas granulométricas de agregado grueso de las diferentes mezclas definitivas



Con respecto a los requisitos de diseño, las mezclas se diseñaron considerando un revenimiento de  $3 \pm 1$  plg. El cual se alcanzó en todas las mezclas, a excepción de la mezcla GC60-40, en la que se obtuvo un revenimiento ligeramente arriba del valor requerido, pero como ya se mencionó anteriormente estas mezclas presentaron buena trabajabilidad y consistencia plástica.

### TEMPERATURA

La temperatura del concreto es un factor que influye directamente en el fenómeno de contracción lineal y además puede causar disminución o aumento en el

revenimiento de la mezcla, y debido a ello es importante tener un control sobre este efecto en el concreto.

Para cada una de las mezclas elaboradas de cada diseño definitivo, se determinó la temperatura. Las temperaturas promedio de cada una de las mezclas definitivas se presentan a continuación en la TABLA No 5.4.

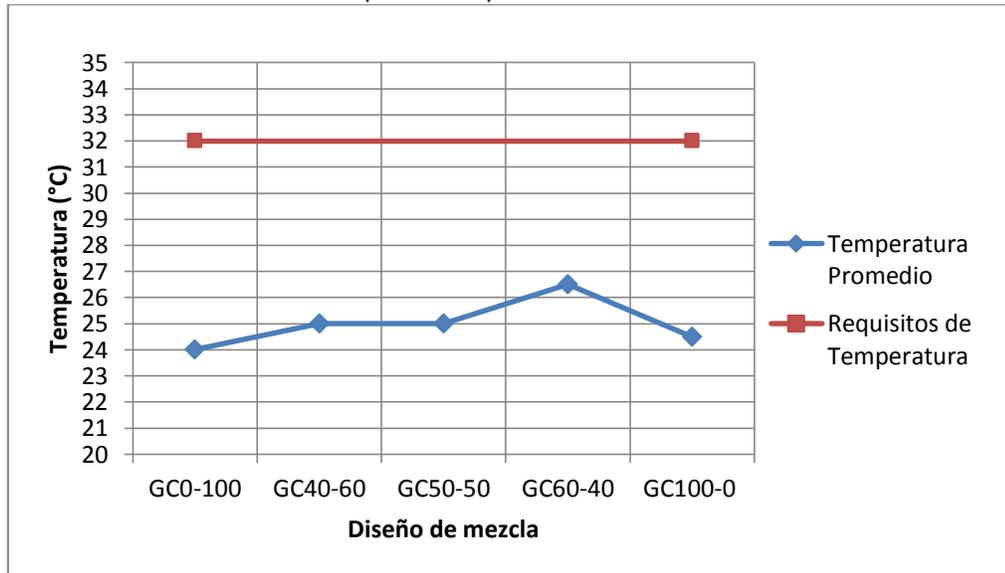
Analizando el gráfico de la FIGURA No 5.4 en la que se muestran los resultados obtenidos de temperatura promedio, comparando estos resultados con la mezcla patrón en la cual se midió una temperatura promedio de 24°C. Se puede observar que en todas las mezclas se obtuvieron valores por arriba de este, aunque bastantes cercanos. Obteniéndose el valor más cercano en la mezcla GC100-0, en la cual se midió un valor de temperatura de 24.5°C, es decir una variación apenas de 0.5°C. En cuanto a la mezcla GC40-60 y GC50-50 presentaron un valor de temperatura de 25°C, una variación de 1°C, y un valor de 26.5°C para la mezcla GC60-40, es decir una variación de 2.5°C con respecto a la mezcla patrón, que se justifica por el cambio de temperatura ambiente y en mayor parte a la temperatura de los agregados debido a que estos se encontraban a la intemperie. La máxima variación registrada fue de 2.5°C, la cual no representa una diferencia significativa de temperatura entre los distintos diseños de mezclas, por lo tanto se puede afirmar que las condiciones en las que se elaboraron cada una de mezclas fueron poco variables, ya que todas las mezclas se elaboraron en laboratorio donde la temperatura sufre poca variación, Esto garantiza que los efectos ocasionados por la temperatura en el concreto sean mínimos y similares para cada uno de los diseños reproducidos.

Además todas las mezclas cumplieron con los requisitos establecido en la especificación ASTM C-94, en la cual se recomienda que el concreto no sobrepase una temperatura 32°C. De acuerdo a lo mencionado anteriormente, se puede decir que la temperatura y su variación no representan un problema significativo en las propiedades del concreto, ya sea en estado fresco o en estado endurecido.

**TABLA No 5.4:** Temperaturas promedio de las mezclas definitivas

Mezcla	Temperatura máxima (°C)	Temperatura determinada (°C)
GC0-100	32	24
GC40-60	32	25
GC50-50	32	25
GC60-40	32	26.5
GC100-0	32	24.5

**FIGURA No 5.4:** Temperaturas promedio de las mezclas definitivas



## PESO VOLUMETRICO

En la TABLA No 5.5 se muestran los valores promedios de peso volumétrico obtenidos para cada una de las mezclas definitivas.

Observando el grafico de la FIGURA No 5.5, se puede ver que el peso volumétrico de la mezcla patrón resulto en un valor de 2280 kg/m<sup>3</sup>, al comparar este valor con las demás mezclas se observa que la densidad del concreto aumenta al combinar agregados, aumentando casi linealmente al incrementar la proporción de agregado de TMN de 1 ½” en relación al agregado de TMN de 3/4”, ya que los valores determinados fueron de 2290 kg/m<sup>3</sup> para la mezcla GC40-60, 2300 kg/m<sup>3</sup> para la mezcla GC50-50, y de 2310 kg/m<sup>3</sup> para la mezcla GC60-40, siendo esta la que obtuvo la mayor densidad, lo que representa un aumento de

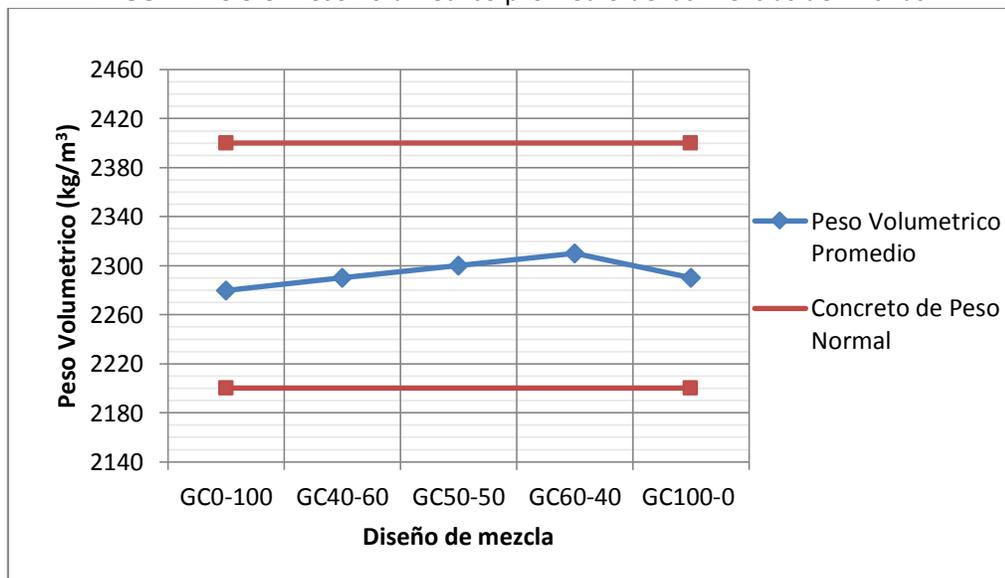
30 kg/m<sup>3</sup> en relación a la mezcla patrón. También se puede decir que al aumentar el Tamaño Máximo Nominal del agregado aumenta la densidad de este, ya que en la mezcla GC100-0 en la que se utilizó 100 % de agregado de 1 ½” se obtuvo una densidad de 2290 kg/m<sup>3</sup>, es decir 10 kg/m<sup>3</sup> por arriba de la mezcla patrón en la que se utilizó solamente agregado de TMN ¾”. De acuerdo a estos resultados se puede afirmar que al combinar diferentes tamaños de agregado, se obtiene una reducción en el volumen total de vacíos, lo cual produce un aumento en la densidad del concreto.

Con respecto a las características de diseño, se puede decir que todas las mezclas cumplieron con la densidad de un concreto de peso normal.

**TABLA No 5.5:** Peso volumétrico promedio de las mezclas definitivas

Mezcla	Peso volumétrico de concreto de peso normal (kg/m <sup>3</sup> )	Peso volumétrico determinado (kg/m <sup>3</sup> )
GC0-100	2200-2400	2280
GC40-60	2200-2400	2290
GC50-50	2200-2400	2300
GC60-40	2200-2400	2310
GC100-0	2200-2400	2290

**FIGURA No 5.5:** Peso volumétrico promedio de las mezclas definitivas



## CONTENIDO DE AIRE

En la TABLA No 5.6 se presentan los resultados promedios del ensayo de contenido de aire realizado a las mezclas definitivas.

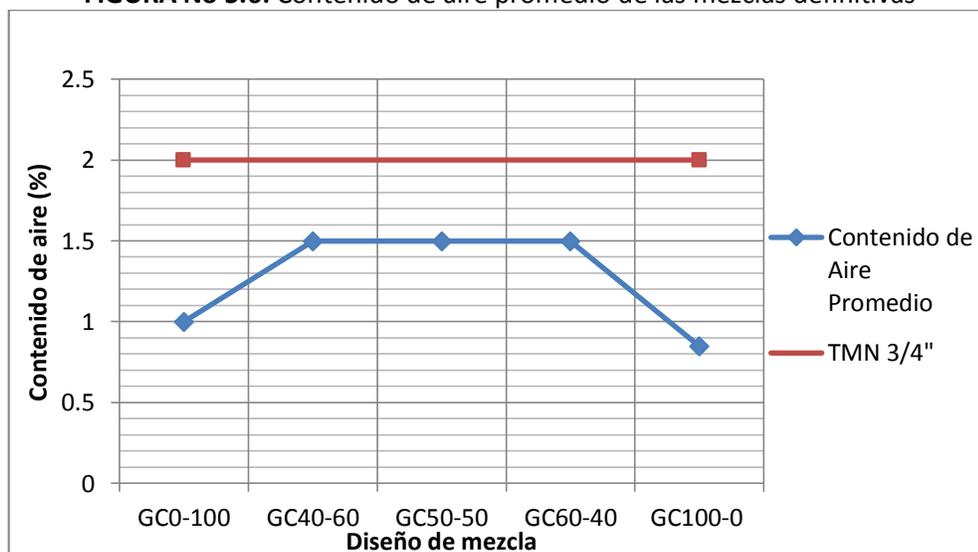
Analizando la FIGURA No 5.6, se puede ver que el contenido de aire de las mezclas en donde se utilizó agregado combinado, sufrieron un aumento de 0.5% en relación al obtenido en la mezcla patrón. Además se observó que la mezcla en donde solo se utilizó agregado de TMN 1 ½" (GC100-0) presentó el valor de contenido de aire más cercano a la mezcla patrón, el cual fue de 0.9%.

Otra característica notable es la relación que hay entre revenimiento y contenido de aire, los cuales indican que a un aumento del contenido de aire corresponde un aumento en el revenimiento, tal y como se muestra en la FIGURA No. 5.7

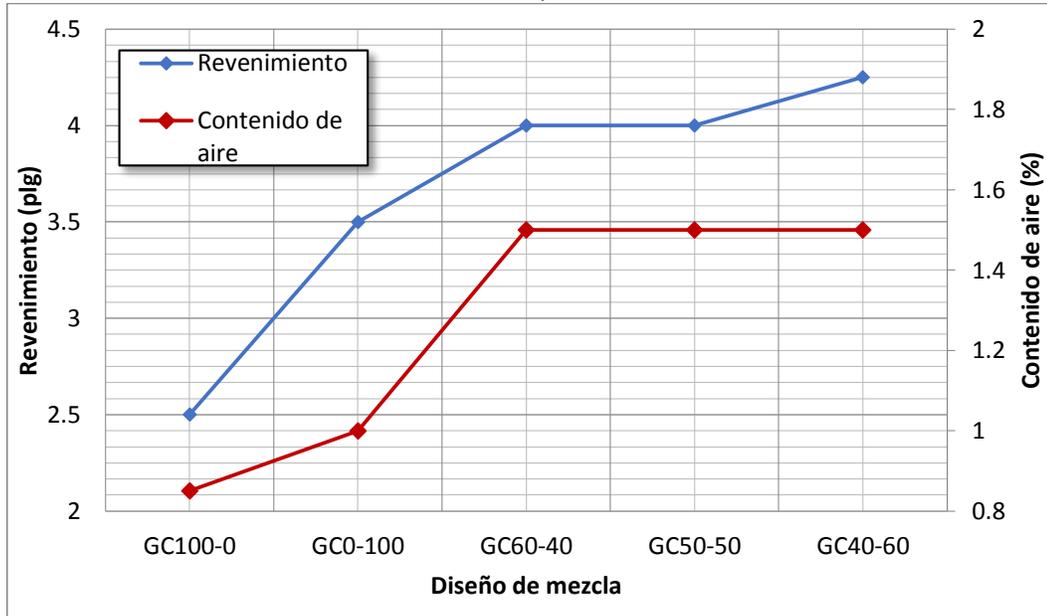
**TABLA No 5.6:** Contenido de aire promedio de las mezclas definitivas

Mezcla	Contenido de aire de diseño (%)	Contenido de aire medido (%)
GC0-100	2	1.0
GC40-60	2	1.5
GC50-50	2	1.5
GC60-40	2	1.5
GC100-0	2	0.9

**FIGURA No 5.6:** Contenido de aire promedio de las mezclas definitivas



**FIGURA No. 5.7:** Relación entre revenimiento y contenido de aire de las mezclas definitivas



También se puede ver que los valores de contenido de aire de las mezclas, presentan valores más bajos del considerado en el diseño patrón, el cual fue 2% (recomendado por ACI 211.1 para un agregado de  $\frac{3}{4}$ " y revenimiento de 3" en concretos sin aire incluido). Sin embargo, en los resultados de las combinaciones se puede observar que los valores se acercan un poco más al contenido de aire de diseño, ya que en todas las combinaciones se obtuvo un promedio de 1.5%.

### 5.3 ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

En este apartado, se presentan los resultados de todos los ensayos realizados al concreto en estado endurecido; así como su respectivo análisis.

El análisis de resultados, se hará mediante la elaboración de gráficos de comportamiento entre las 5 mezclas de concreto realizadas, tomando como referencia el diseño patrón. Estas mezclas se establecieron en el Capítulo IV: "Proporcionamiento de mezclas para concreto".

Se analizarán los resultados obtenidos en los ensayos de: resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, tensión por partidura, módulo de elasticidad estático y dinámico.

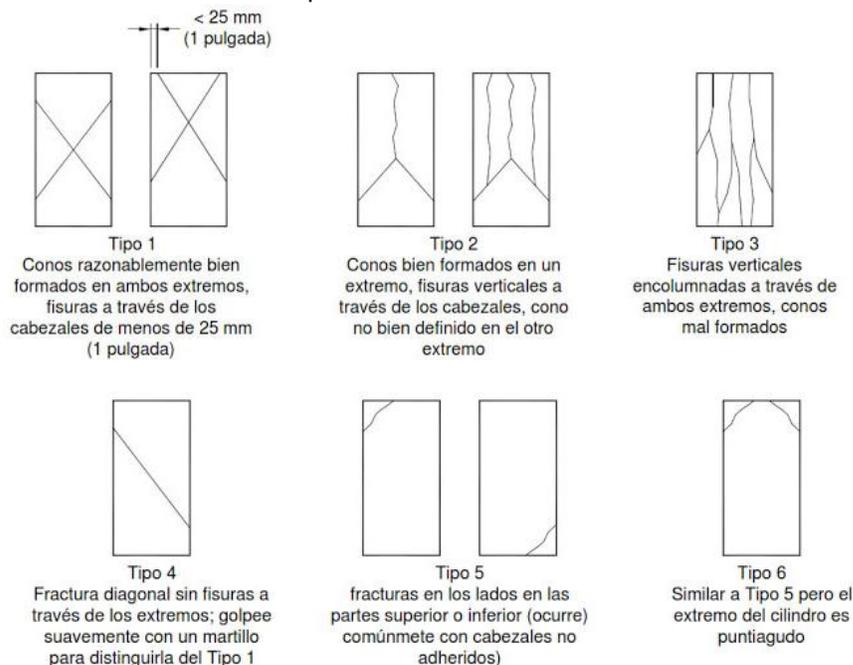
### 5.3.1 RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION

A continuación, se presentan los resultados del ensayo de resistencia a la compresión, el cual se realizó siguiendo los procedimientos de la normativa ASTM C-39 “Método de ensayo estándar para esfuerzo de compresión en especímenes cilíndricos de concreto”.

De la TABLA No 5.7 a 5.11 se muestran los resultados de los especímenes elaborados para cada una de las 5 mezclas realizadas, con diferentes combinaciones de agregado grueso; a las edades de 3, 7 y 28 días. También se muestra los porcentajes de ganancia adquirido, con respecto a la resistencia de diseño ( $280 \text{ kg/cm}^2$  a 28 días) y a la resistencia obtenida de la mezcla patrón ( $430 \text{ kg/cm}^2$  a 28 días).

En la FIGURA No 5.8 se muestra un esquema de los diferentes tipos de falla que puede presentar un espécimen durante el ensayo de resistencia a compresión

**FIGURA No 5.8:** Diferentes tipos de falla que pueden ocurrir en el ensayo a la compresión de especímenes de concreto



Fuente: ASTM C-39 “Método de ensayo estándar para resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto”.

**TABLA No 5.7:** Resistencia a la compresión diseño GC0-100

Espécimen No.	Edad (días)	Peso volumétrico (kg/m <sup>3</sup> )	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje ganado con respecto a la resistencia de diseño (%)	Porcentaje ganado con respectó a mezcla patrón a 28 días (%)	Tipo de falla
1	3	2290	239	85	56	5
2	3	2260	286	102	67	5
3	3	2280	272	97	63	5
4	3	2280	267	95	62	5
5	3	2290	268	96	62	5
6	3	2270	260	93	60	5
<b>PROMEDIO</b>		<b>2280</b>	<b>265</b>	<b>95</b>	<b>62</b>	
7	7	2290	370	132	86	5
8	7	2280	376	134	87	5
9	7	2290	367	131	85	5
10	7	2300	373	133	87	5
11	7	2310	382	136	89	5
12	7	2290	374	134	87	5
<b>PROMEDIO</b>		<b>2290</b>	<b>374</b>	<b>134</b>	<b>87</b>	
13	28	2300	442	158	103	5
14	28	2310	447	160	104	5
15	28	2310	420	150	98	5
16	28	2290	416	149	97	5
17	28	2300	446	159	104	5
18	28	2280	438	156	102	5
19	28	2290	433	155	101	5
20	28	2280	428	153	100	5
21	28	2280	428	153	100	5
22	28	2290	411	147	96	5
23	28	2290	424	151	99	5
24	28	2290	432	154	100	5
<b>PROMEDIO</b>		<b>2290</b>	<b>430</b>	<b>154</b>	<b>100</b>	

**TABLA No 5.8:** Resistencia a la compresión diseño GC40-60

Espécimen No.	Edad (días)	Peso volumétrico (kg/m <sup>3</sup> )	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje ganado con respecto a la resistencia de diseño (%)	Porcentaje ganado con respectó a mezcla patrón a 28 días (%)	Tipo de falla
1	3	2280	244	87	57	5
2	3	2280	259	93	60	5
3	3	2290	264	94	61	5
<b>PROMEDIO</b>		<b>2280</b>	<b>256</b>	<b>91</b>	<b>60</b>	
4	7	2280	356	127	83	5
5	7	2300	355	127	83	5
6	7	2300	355	127	83	6
7	7	2300	353	126	82	5
8	7	2310	366	131	85	3
9	7	2300	358	128	83	6
<b>PROMEDIO</b>		<b>2300</b>	<b>357</b>	<b>128</b>	<b>83</b>	
10	28	2290	421	150	98	5
11	28	2290	438	156	102	2
12	28	2300	419	150	97	5
13	28	2300	418	149	97	5
14	28	2300	422	151	98	5
15	28	2300	423	151	98	5
16	28	2290	417	149	97	5
17	28	2300	403	144	94	5
18	28	2300	426	152	99	5
19	28	2300	416	149	97	5
20	28	2290	417	149	97	5
<b>PROMEDIO</b>		<b>2300</b>	<b>420</b>	<b>150</b>	<b>98</b>	

**TABLA No 5.9:** Resistencia a la compresión diseño GC50-50

Espécimen No.	Edad (días)	Peso volumétrico (kg/m <sup>3</sup> )	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje ganado con respecto a la resistencia de diseño (%)	Porcentaje ganado con respectó a mezcla patrón a 28 días (%)	Tipo de falla
1	3	2290	250	89	58	5
2	3	2290	253	90	59	5
3	3	2300	240	86	56	5
<b>PROMEDIO</b>		<b>2290</b>	<b>248</b>	<b>89</b>	<b>58</b>	
4	7	2300	370	132	86	5
5	7	2310	346	124	80	5
6	7	2320	354	126	82	5
7	7	2300	345	123	80	2
8	7	2280	348	124	81	2
9	7	2310	346	124	80	5
<b>PROMEDIO</b>		<b>2300</b>	<b>352</b>	<b>126</b>	<b>82</b>	
10	28	2300	423	151	98	5
11	28	2320	407	145	95	5
12	28	2300	426	152	99	2
13	28	2310	415	148	97	5
14	28	2290	437	156	102	2
15	28	2320	426	152	99	5
16	28	2310	374	134	87	5
17	28	2310	372	133	87	5
18	28	2300	409	146	95	5
19	28	2310	402	144	93	5
20	28	2300	404	144	94	5
21	28	2300	408	146	95	5
<b>PROMEDIO</b>		<b>2310</b>	<b>409</b>	<b>146</b>	<b>95</b>	

**TABLA No 5.10:** Resistencia a la compresión diseño GC60-40

Espécimen No.	Edad (días)	Peso volumétrico (kg/m <sup>3</sup> )	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje ganado con respecto a la resistencia de diseño (%)	Porcentaje ganado con respecto a mezcla patrón a 28 días (%)	Tipo de falla
1	3	2300	236	84	55	5
2	3	2300	241	86	56	5
3	3	2310	234	84	54	5
<b>PROMEDIO</b>		<b>2300</b>	<b>237</b>	<b>85</b>	<b>55</b>	
4	7	2300	307	110	71	5
5	7	2300	328	117	76	5
6	7	2300	323	115	75	6
7	7	2300	334	119	78	5
8	7	2310	338	121	79	5
9	7	2310	325	116	76	6
<b>PROMEDIO</b>		<b>2300</b>	<b>326</b>	<b>116</b>	<b>76</b>	
10	28	2270	404	144	94	5
11	28	2300	425	152	99	5
12	28	2310	392	140	91	5
13	28	2300	383	137	89	5
14	28	2300	411	147	96	2
15	28	2290	401	143	93	5
16	28	2300	413	148	96	5
17	28	2310	380	136	88	5
18	28	2300	402	144	93	5
19	28	2300	354	126	82	5
20	28	2300	408	146	95	5
21	28	2300	404	144	94	5
<b>PROMEDIO</b>		<b>2300</b>	<b>398</b>	<b>142</b>	<b>93</b>	

**TABLA No 5.11:** Resistencia a la compresión diseño GC100-0

Espécimen No.	Edad (días)	Peso volumétrico (kg/m <sup>3</sup> )	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje ganado con respecto a la resistencia de diseño (%)	Porcentaje ganado con respecto a mezcla patrón a 28 días (%)	Tipo de falla
1	3	2310	200	71	47	5
2	3	2320	207	74	48	5
3	3	2310	223	80	52	5
<b>PROMEDIO</b>		<b>2310</b>	<b>210</b>	<b>75</b>	<b>49</b>	
4	7	2320	274	98	64	5
5	7	2310	327	117	76	2
6	7	2310	321	115	75	6
7	7	2300	278	99	65	6
8	7	2300	291	104	68	5
9	7	2310	269	96	63	6
<b>PROMEDIO</b>		<b>2310</b>	<b>293</b>	<b>105</b>	<b>68</b>	
10	28	2310	417	149	97	5
11	28	2300	394	141	92	5
12	28	2310	368	131	86	5
13	28	2310	357	128	83	5
14	28	2300	409	146	95	5
15	28	2310	346	124	80	5
16	28	2330	377	135	88	5
17	28	2310	431	154	100	6
18	28	2330	401	143	93	3
19	28	2300	430	154	100	3
20	28	2330	371	133	86	5
21	28	2330	368	131	86	5
<b>PROMEDIO</b>		<b>2310</b>	<b>389</b>	<b>139</b>	<b>90</b>	

### 5.3.2 CARTAS DE CONTROL DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION

Las cartas de control muestran la variación de la resistencia a compresión, que presentan los especímenes de concreto a las diferentes edades de ensayo, estas han sido realizadas con el objeto de descartar aquellos cilindros que más se alejan del valor promedio. Para la selección de estos valores, se utilizara el coeficiente de variación de la población de datos de cada edad de ensayo, como lo especifica la norma ASTM C-39 en el apartado 10.1.1 (ver TABLA No 5.12). De dicha tabla se tomara de referencia el coeficiente de variación de 2.4% que

corresponde a la máxima variación permitida de los datos de mezclas elaboradas en condiciones de laboratorio, a excepción de las edades de ensayo que presentan una población de datos de 3 especímenes, para la cual se tomara de referencia el valor de 7.8%.

**TABLA No 5.12:** Precisión de un operador simple en ensayos de cilindros individuales

Dimensión de los especímenes/condiciones de elaboración	Coeficiente de variación	Rango aceptable de	
		2 Cilindros	3 Cilindros
6-12 plg			
condiciones de laboratorio	2.4%	6.6%	7.8%
Condiciones de campo	2.9%	8.0%	9.5%
4-8 plg			
condiciones de laboratorio	3.2%	9.0%	10.6%

La TABLA No 5.13 contiene los valores de coeficiente de variación calculados para cada edad de ensayo, en las diferentes mezclas con su respectiva población de datos.

Como se puede observar los valores marcados en cada mezcla sobrepasan el coeficiente de variación de referencia (2.4%), por lo que se procedió a discriminar datos en cada una de estas edades.

**TABLA No 5.13:** Coeficientes de variación de las 5 mezclas definitivas para las diferentes edades de ensayo

Mezcla	Edad	No. Datos	Coeficiente de variación (%)
0-100	3	6	5.4
	7	6	1.3
	28	12	2.6
40-60	3	3	3.3
	7	6	1.2
	28	11	1.9
50-50	3	3	2.3
	7	6	2.5
	28	12	4.6
60-40	3	3	1.2
	7	6	3.0
	28	12	4.5
100-0	3	3	4.6
	7	6	7.8
	28	12	7.0

Las FIGURAS No 5.9 a No 5.13 muestran la variación de la resistencia a la compresión en todos los especímenes de cada mezcla a las edades de 3, 7 y 28 días. Estas figuras se tomaran de base para descartar los especímenes más alejados del promedio.

En la mezcla GC0-100 los coeficientes de variación de las edades de 3 y 28 días son mayores a 2.4% (ver TABLA No 5.13). Como se puede observar en la FIGURA No 5.9 los especímenes No. 1 y No. 2 ensayados a 3 días se alejan notablemente de la media, por lo tanto se procede a descartarlos, teniendo como resultado para la nueva población de datos un coeficiente de variación de 1.6%. También se observa que el espécimen No 22 ensayado a la edad de 28 días es el que más se aleja de la media. Al eliminarlo de la población de datos se obtiene un coeficiente de variación de 2.3% (ver TABLA No 5.14).

Para la edad de 7 días se ha considerado que la variación de la resistencia es aceptable ya que el coeficiente de variación de la población de datos es de 1.3%, de modo que el promedio no se verá afectado.

En la mezcla GC40-60 los coeficientes de variación para las edades de 3, 7 y 28 días están por debajo de los tomados como referencia (7.8% para una población de datos de 3 especímenes y 2.4% para una mayor población, ver TABLA No 5.12), por lo que no se discriminara ningún espécimen.

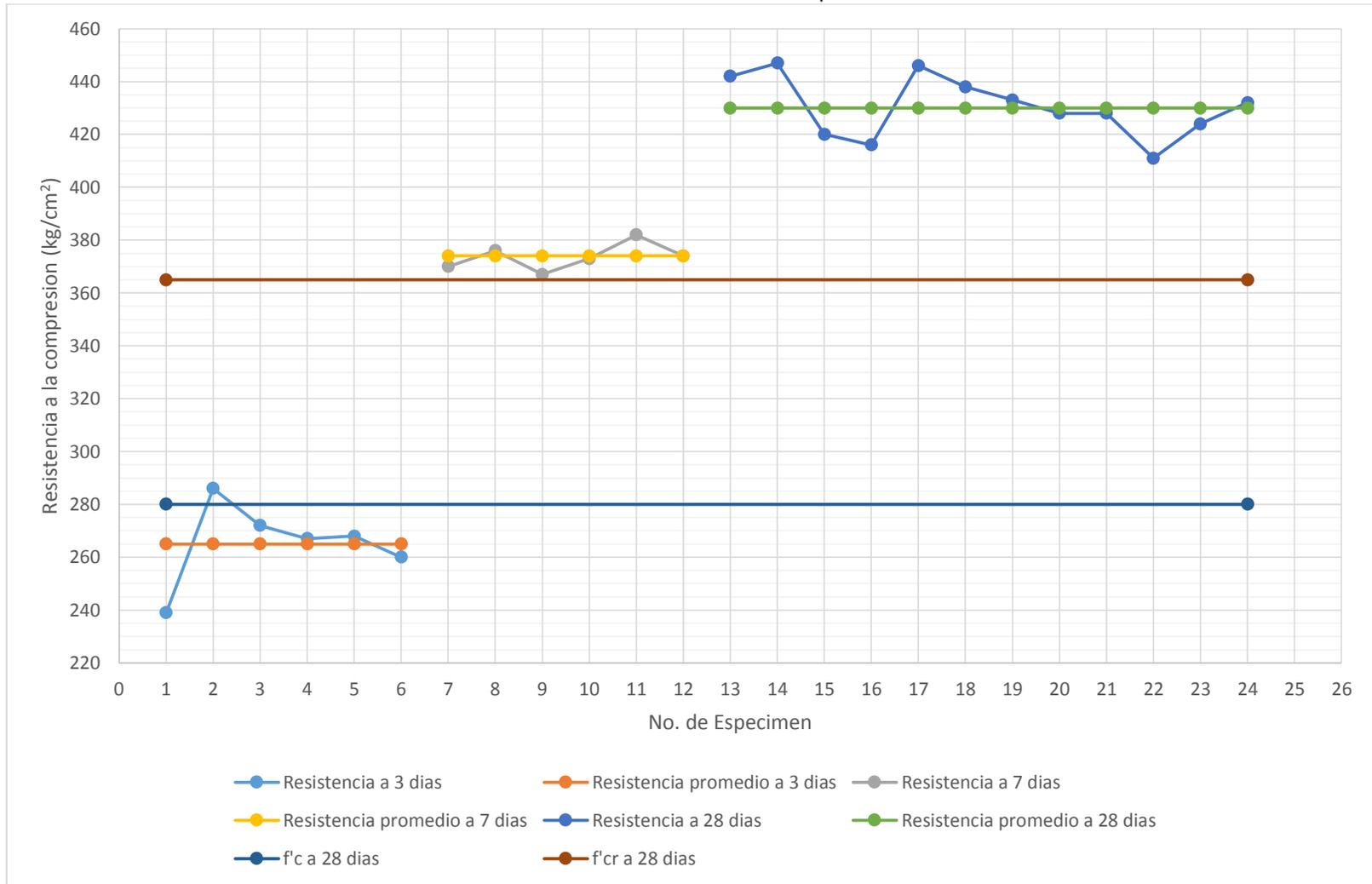
En la mezcla GC50-50 el coeficiente de variación para la edad de 3 días se considera aceptable, ya que está muy por debajo del coeficiente tomado como referencia (7.8%). Sin embargo, los coeficientes de variación para las edades de 7 y 28 días sobrepasan el 2.4%. Observando la FIGURA No 5.11 se puede ver que el espécimen No. 4, ensayado a la edad de 7 días, es el más alejado del valor promedio, y eliminándolo se obtiene para la nueva población de datos un coeficiente de variación de 0.9%, también se observa que los especímenes No. 14, No. 16 y No. 17 ensayados a la edad de 28 días se alejan más del valor promedio, por lo tanto, son descartados de la población de datos, obteniendo un nuevo coeficiente de variación de 2.2% (ver TABLA No 5.14).

En la mezcla GC60-40 se observa en la TABLA No 5.13 que los coeficientes de variación para las edades de 7 y 28 días exceden el valor máximo permitido. En la FIGURA No 5.12 se puede notar que la variación de la resistencia a 7 y 28 días son considerablemente altas, por lo tanto, para la edad de 7 días se descarta el espécimen No. 4, obteniendo para la nueva población de datos un coeficiente de variación de 1.7%. Para la edad de 28 días se han descartado los especímenes No. 11, No. 17 y No. 19; los cuales se alejan más del promedio, obteniendo así, un nuevo coeficiente de variación de 2.2% (ver TABLA No 5.14).

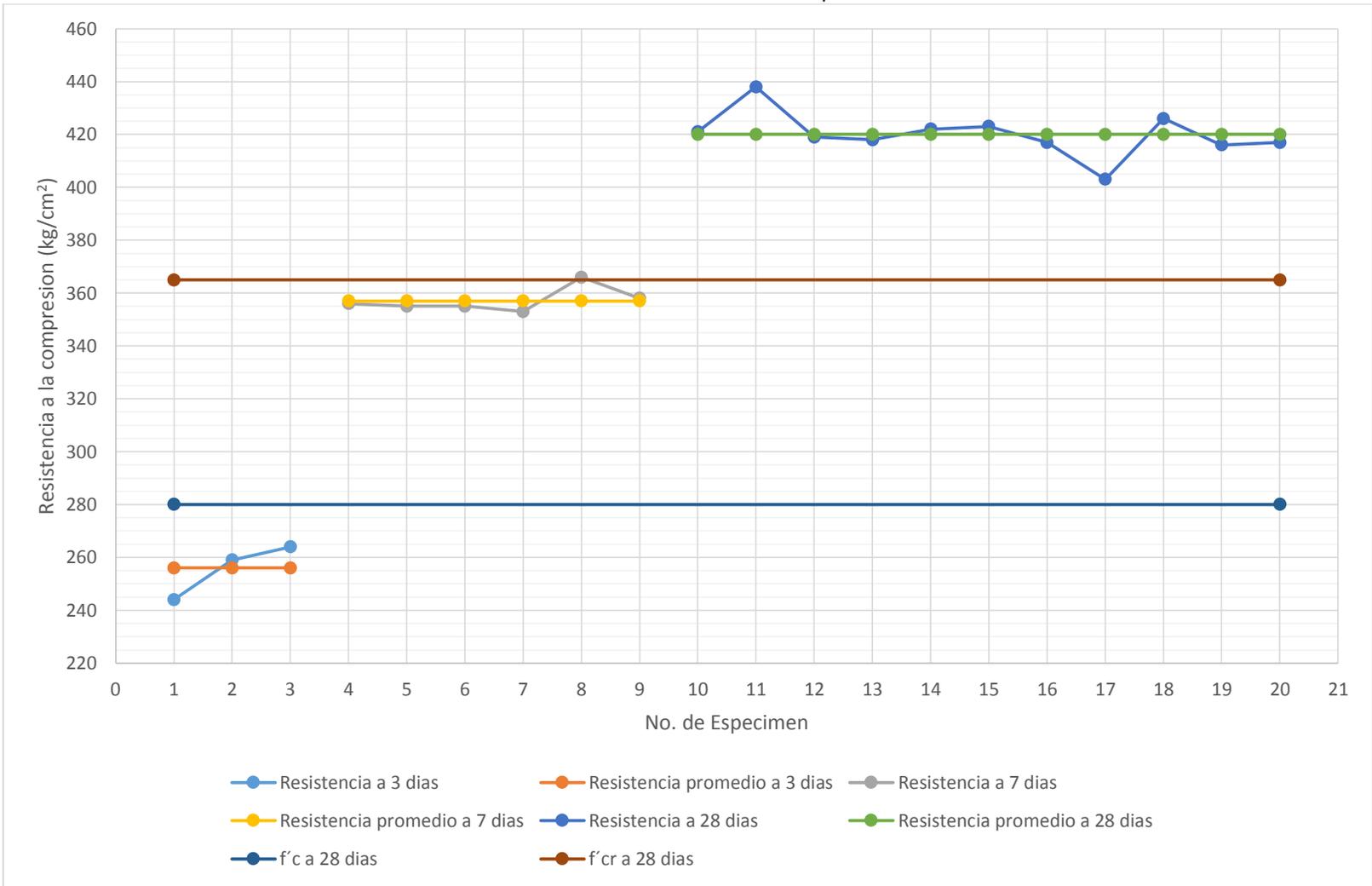
Para la mezcla GC100-0, se observa en la TABLA No 5.13 y en la FIGURA No 5.13 que la variación de resistencia para las edades de 7 y 28 días es considerablemente alta (coeficientes de variación de 7.8% y 7.0% respectivamente); por lo tanto se procederá a descartar resultados de especímenes atípicos. Para la edad de 7 días se descarta los especímenes No. 5, No. 6 y No 8, obteniendo un coeficiente de variación para la nueva población de datos de 1.4%; y para la edad de 28 días se excluirán del promedio los especímenes No. 10, No 11, No 14, No. 15, No. 17, No 18 y No. 19, resultando un nuevo coeficiente de variación de 1.8% (ver TABLA No 5.14).

En La TABLA No 5.14 se muestran todos los cambios realizados en las diferentes combinaciones, el nuevo coeficiente de variación y la nueva resistencia promedio para cada edad de ensayo en las diferentes mezclas. También se muestra los porcentajes de ganancia adquirido con respecto a la resistencia de diseño (280 kg/cm<sup>2</sup> a 28 días), y a la resistencia obtenida de la mezcla patrón (432 kg/cm<sup>2</sup> a 28 días).

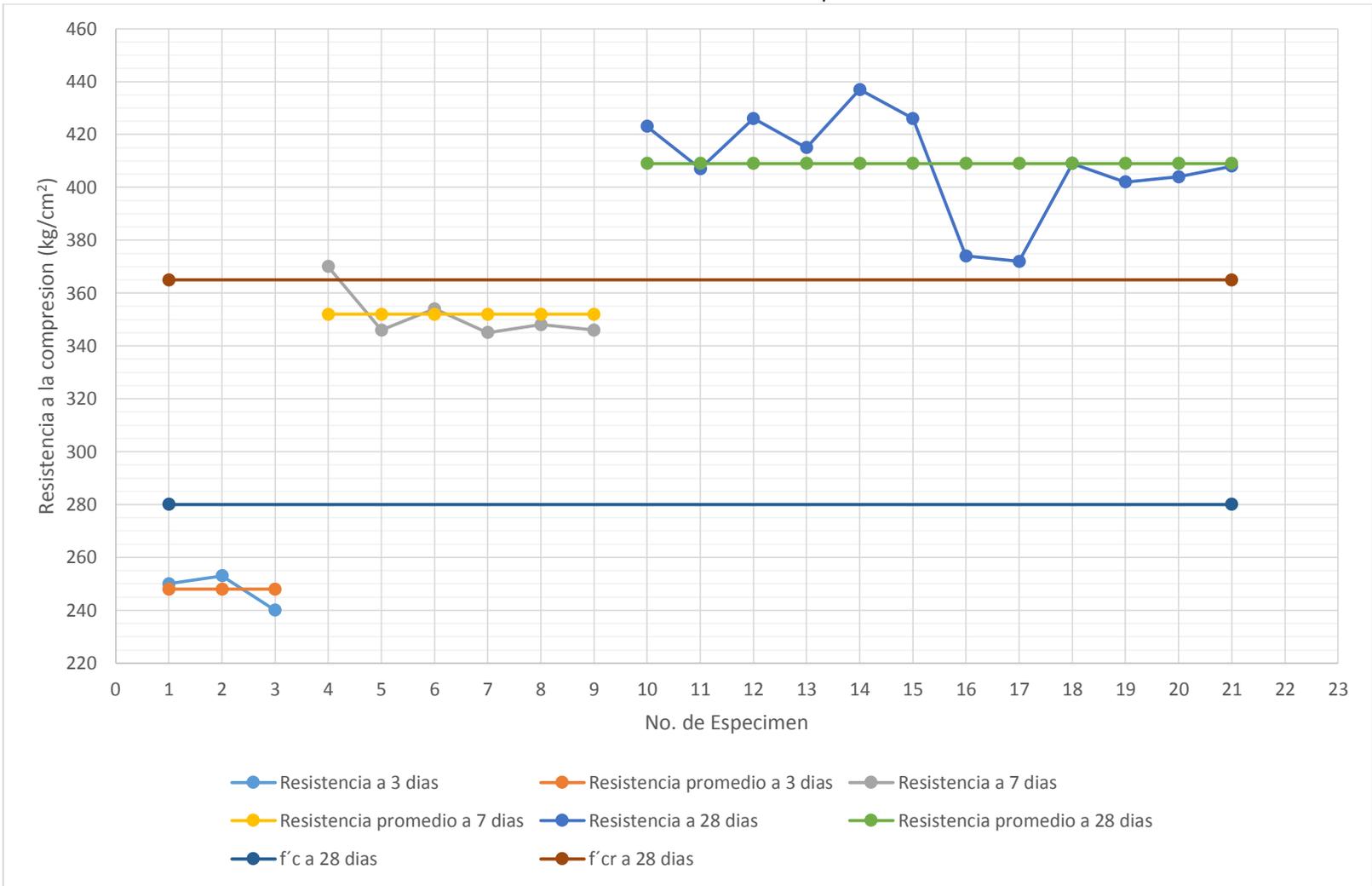
**FIGURA No 5.9:** Variación de la resistencia a compresión diseño GC0-100



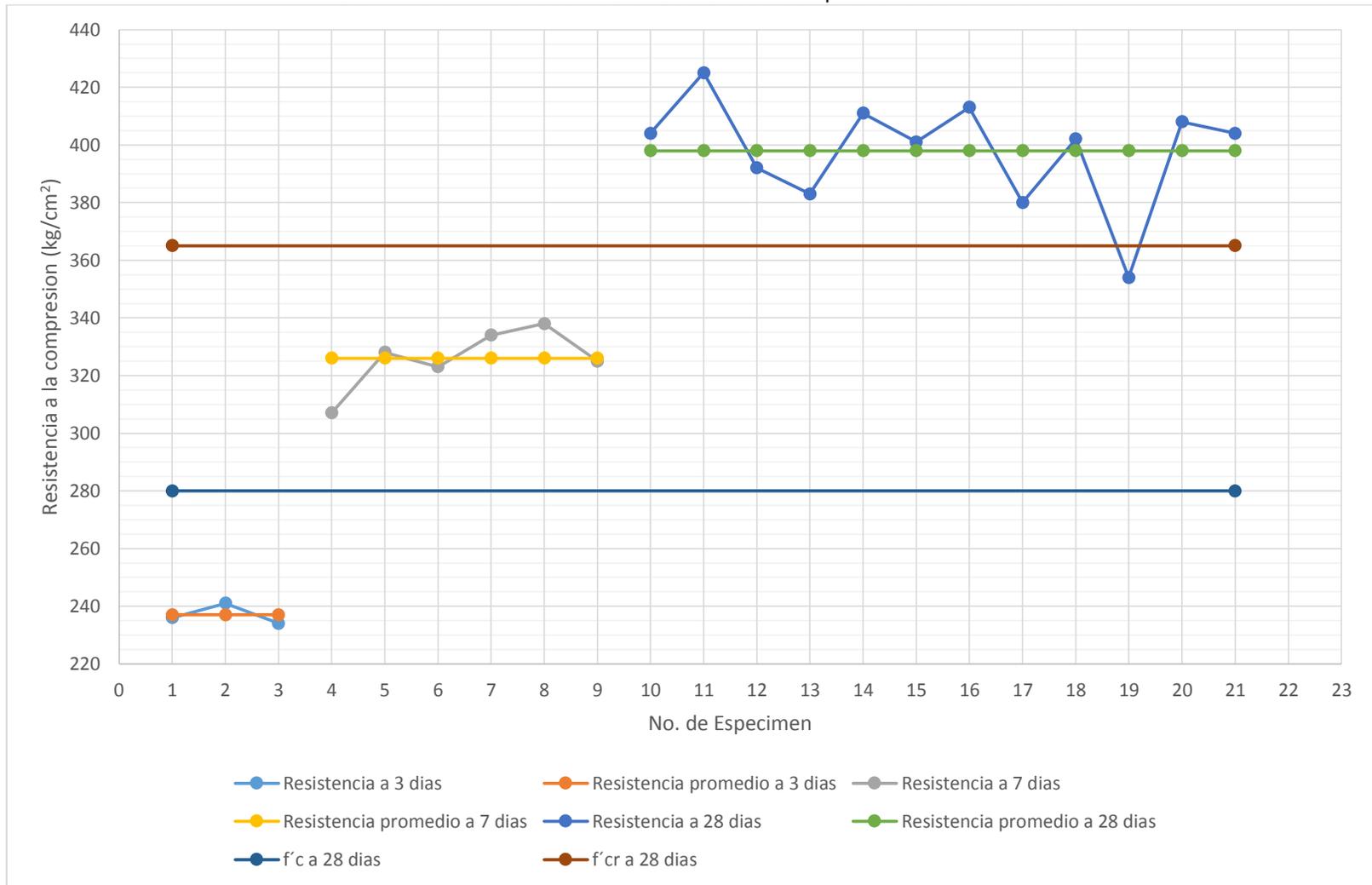
**FIGURA No 5.10:** Variación de la resistencia a compresión diseño GC40-60



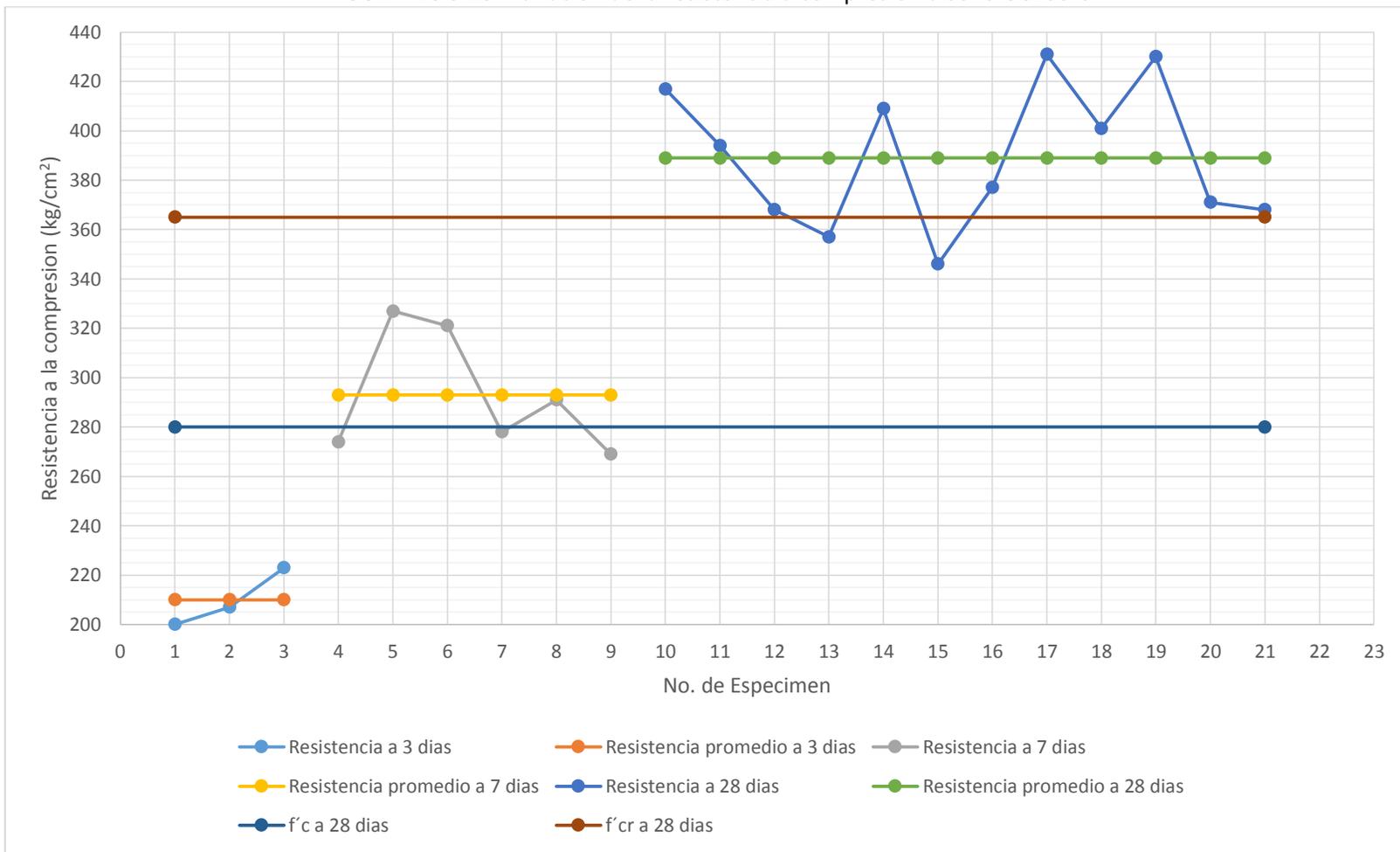
**FIGURA No 5.11:** Variación de la resistencia a compresión diseño GC50-50



**FIGURA No 5.12:** Variación de la resistencia a compresión diseño GC60-40



**FIGURA No 5.13:** Variación de la resistencia a compresión diseño GC100-0



**TABLA No 5.14:** Resistencia a la compresión promedio corregidas

Mezcla	Coficiente de variación (%)	Espécimen No.	Edad (días)	Peso volumétrico (kg/m <sup>3</sup> )	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Ganancia de resistencia con respecto a f'c (%)	Ganancia de resistencia con respecto a MP* (%)	
0-100	1.6	3	3	2280	272	97	63	
		4	3	2280	267	95	62	
		5	3	2290	268	96	62	
		6	3	2270	260	93	60	
	<b>PROMEDIO</b>				<b>2280</b>	<b>267</b>	<b>95</b>	<b>62</b>
	1.3	7	7	2290	370	132	86	
		8	7	2280	376	134	87	
		9	7	2290	367	131	85	
		10	7	2300	373	133	86	
		11	7	2310	382	136	88	
		12	7	2290	374	134	87	
	<b>PROMEDIO</b>				<b>2290</b>	<b>374</b>	<b>134</b>	<b>87</b>
	2.3	13	28	2300	442	158	102	
		14	28	2310	447	160	103	
		15	28	2310	420	150	97	
		16	28	2290	416	149	96	
		17	28	2300	446	159	103	
		18	28	2280	438	156	101	
		19	28	2290	433	155	100	
		20	28	2280	428	153	99	
		21	28	2280	428	153	99	
		23	28	2290	424	151	98	
		24	28	2290	432	154	100	
	<b>PROMEDIO</b>				<b>2290</b>	<b>432</b>	<b>154</b>	<b>100</b>
40-60	3.3	1	3	2280	244	87	56	
		2	3	2280	259	93	60	
		3	3	2290	264	94	61	
	<b>PROMEDIO</b>				<b>2280</b>	<b>256</b>	<b>91</b>	<b>59</b>
	1.2	4	7	2280	356	127	82	
		5	7	2300	355	127	82	
		6	7	2300	355	127	82	
		7	7	2300	353	126	82	
		8	7	2310	366	131	85	
		9	7	2300	358	128	83	
	<b>PROMEDIO</b>				<b>2300</b>	<b>357</b>	<b>128</b>	<b>83</b>

	1.9	10	28	2290	421	150	97	
		11	28	2290	438	156	101	
		12	28	2300	419	150	97	
		13	28	2300	418	149	97	
		14	28	2300	422	151	98	
		15	28	2300	423	151	98	
		16	28	2290	417	149	97	
		17	28	2300	403	144	93	
		18	28	2300	426	152	99	
		19	28	2300	416	149	96	
		20	28	2290	417	149	97	
<b>PROMEDIO</b>				<b>2300</b>	<b>420</b>	<b>150</b>	<b>97</b>	
50-50	2.3	1	3	2290	250	89	58	
		2	3	2290	253	90	59	
		3	3	2300	240	86	56	
	<b>PROMEDIO</b>				<b>2290</b>	<b>248</b>	<b>89</b>	<b>57</b>
	0.9	5	7	2310	346	124	80	
		6	7	2320	354	126	82	
		7	7	2300	345	123	80	
		8	7	2280	348	124	81	
		9	7	2310	346	124	80	
	<b>PROMEDIO</b>				<b>2300</b>	<b>348</b>	<b>124</b>	<b>81</b>
	2.2	10	28	2300	423	151	98	
		11	28	2320	407	145	94	
		12	28	2300	426	152	99	
		13	28	2310	415	148	96	
		15	28	2320	426	152	99	
		18	28	2300	409	146	95	
		19	28	2310	402	144	93	
		20	28	2300	404	144	94	
		21	28	2300	408	146	94	
<b>PROMEDIO</b>				<b>2310</b>	<b>413</b>	<b>148</b>	<b>96</b>	
60-40	1.2	1	3	2300	236	84	55	
		2	3	2300	241	86	56	
		3	3	2310	234	84	54	
	<b>PROMEDIO</b>				<b>2300</b>	<b>237</b>	<b>85</b>	<b>55</b>
	1.7	5	7	2300	328	117	76	
		6	7	2300	323	115	75	
		7	7	2300	334	119	77	

		8	7	2310	338	121	78
		9	7	2310	325	116	75
	<b>PROMEDIO</b>			<b>2300</b>	<b>330</b>	<b>118</b>	<b>76</b>
	2.2	10	28	2270	404	144	94
		12	28	2310	392	140	91
		13	28	2300	383	137	89
		14	28	2300	411	147	95
		15	28	2290	401	143	93
		16	28	2300	413	148	96
		18	28	2300	402	144	93
20		28	2300	408	146	94	
21	28	2300	404	144	94		
<b>PROMEDIO</b>			<b>2300</b>	<b>402</b>	<b>144</b>	<b>93</b>	
100-0	4.6	1	3	2310	200	71	46
		2	3	2320	207	74	48
		3	3	2310	223	80	52
	<b>PROMEDIO</b>			<b>2310</b>	<b>210</b>	<b>75</b>	<b>49</b>
	1.4	4	7	2320	274	98	63
		7	7	2300	278	99	64
		9	7	2310	269	96	62
	<b>PROMEDIO</b>			<b>2310</b>	<b>274</b>	<b>98</b>	<b>63</b>
	1.8	12	28	2310	368	131	85
		13	28	2310	357	128	83
		16	28	2330	377	135	87
		20	28	2330	371	133	86
		21	28	2330	368	131	85
<b>PROMEDIO</b>			<b>2320</b>	<b>368</b>	<b>131</b>	<b>85</b>	

\* MP: Resistencia de mezcla patrón a 28 días

### 5.3.3 ANALISIS COMPARATIVO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION

En la TABLA No 5.15 se presenta el resumen de los resultados promedios del ensayo de resistencia a la compresión a las edades de 3, 7 y 28 días.

Además, en la FIGURA No 5.14 se muestra el comportamiento del concreto a compresión para las distintas mezclas realizadas.

Como se puede observar en la figura, todas las mezclas tienen una resistencia a 28 días muy por encima de la resistencia de diseño; la cual se fijó de 280 kg/cm<sup>2</sup>. La mezcla GC0-100 presento un porcentaje de ganancia de resistencia de 95%

a la edad de 3 días, 134% a la edad de 7 días y 154% a la edad de 28 días; mientras que la mezcla GC100-0 presento porcentajes de ganancia de 75% a 3 días, 98% a 7 días y 131% a 28 días. En cuanto a las combinaciones, se observa que la mezcla GC40-60 presento un porcentaje de ganancia de resistencia de 91% a la edad de 3 días, 128% a la edad de 7 días y 150% a la edad de 28 días; siendo esta, la que tuvo las mayores resistencias en las diferentes edades, alcanzando una resistencia promedio de 420 kg/cm<sup>2</sup> a la edad de 28 días. La mezcla GC50-50 presento un porcentaje de ganancia de 89% a la edad de 3 días, 124% a la edad de 7 días y 148% a la edad de 28 días; mientras que la mezcla GC60-40 presento un porcentaje de ganancia de 85% a la edad de 3 días, 118% a la edad de 7 días y 144% a la edad de 28 días, con respecto a la resistencia de diseño.

En la FIGURA No 5.14 se observa que de todas las mezclas, la que obtuvo los mayores resultados de resistencia fue la mezcla GC0-100, alcanzando una resistencia de 432 kg/cm<sup>2</sup> a 28 días, que implica un aumento de 54% con respecto a la resistencia de diseño. Y la que presento la menor resistencia fue la mezcla GC100-0 con un promedio de 368 kg/cm<sup>2</sup> a 28 días, con un aumento de 31% con respecto a la resistencia de diseño.

Además de esto, se puede observar que las resistencias a 28 días superan de 4 kg/cm<sup>2</sup> a 68 kg/cm<sup>2</sup> la resistencia considerada en el sobrediseño de las mezclas (364 kg/cm<sup>2</sup>).

Estas elevadas resistencias se deben al proporcionamiento hecho en la mezcla definitiva, ya que la proporción de agregado grueso sufrió cambios a lo largo de la etapa de diseño de mezclas preliminares. Inicialmente se tomó un factor de agregado de 0.73, el cual propone el comité ACI 211.1 para mezclas de TMN de 1 ½"; sin embargo, el factor de agregado utilizado en el diseño definitivo de la presente investigación fue de 0.637. Esta disminución en la proporción de agregado grueso y el aumento del contenido de cemento en el diseño definitivo provocaron un aumento en las resistencias.

Otro factor que pudo afectar dichos resultados fue la utilización de cemento ASTM C-1157 HE, el cual proporciona altas resistencias a edades tempranas; tal y como se muestra en la figura, ya que a los 7 días las mezclas superan los 280 kg/cm<sup>2</sup> a excepción de la mezcla GC100-0, en la cual se obtuvo una resistencia de 274 kg/cm<sup>2</sup> a dicha edad.

Por otro parte, los valores de resistencia presentaron un porcentaje entre 89 y 98 por ciento de la resistencia obtenida a 28 días en la mezcla patrón. En las combinaciones, se observa que la mezcla GC40-60 presentó un porcentaje de ganancia de resistencia de 59% a la edad de 3 días, 83% a la edad de 7 días y 97% a la edad de 28 días, siendo esta la que presentó el valor más cercano, con una resistencia promedio de 420 kg/cm<sup>2</sup>, es decir, una variación del 3% con respecto a la mezcla patrón. La mezcla GC50-50 presentó un porcentaje de ganancia de resistencia de 57% a la edad de 3 días, 81% a la edad de 7 días y 96% a la edad de 28 días; mientras que la mezcla GC60-40 presentó un porcentaje de ganancia de resistencia de 55% a la edad de 3 días, 76% a la edad de 7 días y 93% a la edad de 28 días. La mezcla GC100-0 es la que obtuvo menor ganancia de resistencia, obteniendo un 49% a la edad de 3 días, 63% a la edad de 7 días y 85% a la edad de 28 días, presentando un valor promedio de 368 kg/cm<sup>2</sup> a dicha edad, es decir, una variación de 11% con respecto a la mezcla patrón.

Además de esto, referente al análisis comparativo de las mezclas, se puede observar una relación proporcional en función de la proporción de agregado de TMN de 3/4" con respecto al aumento de resistencia. En la FIGURA No 5.14 se observa claramente que las combinaciones con mayor proporción de agregado grueso de TMN de 3/4", son las que mayor resistencia presentan para todas las edades de ensayo; siendo la mezcla GC0-100 la que presentó la mayor resistencia, con un promedio de 432 kg/cm<sup>2</sup>; y la mezcla GC100-0 la que presentó la menor resistencia, con un promedio de 368 kg/cm<sup>2</sup> a la edad de 28 días. En cuanto a las combinaciones, la mezcla GC40-60 presentó una resistencia de 420

kg/cm<sup>2</sup>, la mezcla GC50-50 una resistencia de 413 kg/cm<sup>2</sup>, y la mezcla GC60-40 una resistencia de 402 kg/cm<sup>2</sup> a la edad de 28 días, observando que a medida aumenta la proporción de agregado de TMN de 3/4" aumenta la resistencia (ver TABLA No 5.15).

Una de las razones por la cual ocurre esto, se debe a la distribución de tamaños de las partículas, ya que las mezclas con menor resistencia son las que poseen una ausencia de tamaños intermedios, tal y como se observa en la mezcla GC100-0, cuya granulometría no presenta un amplio rango de partículas de diferentes tamaños, lo cual generó menor resistencia que las otras mezclas.

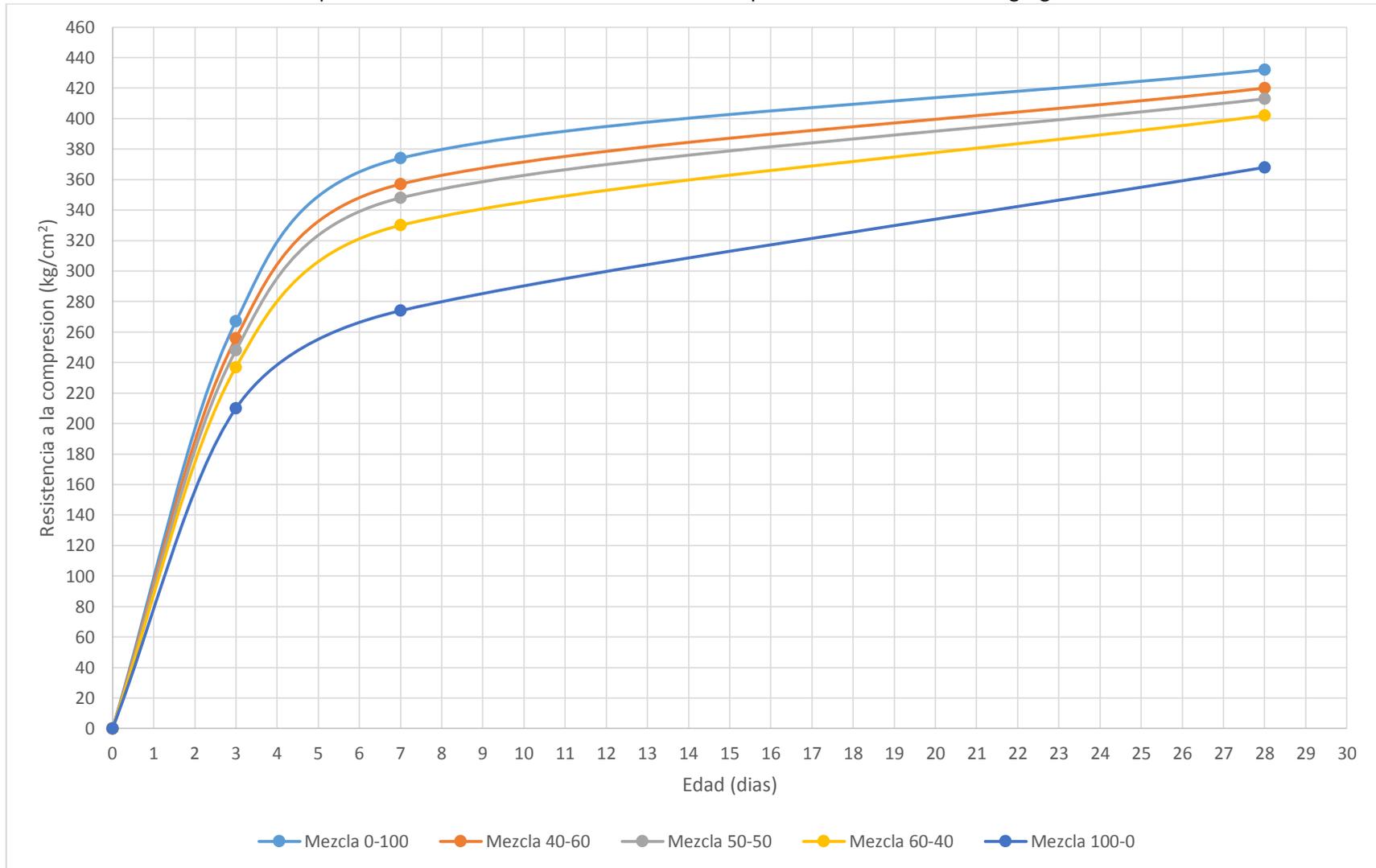
Además de la granulometría se puede mencionar que la superficie específica de las partículas tiene influencia sobre la resistencia del concreto, ya que al utilizar agregados de menor tamaño ésta aumenta; mejorando así la adherencia entre la pasta y el agregado. Para este caso, el agregado de 3/4" tiene mayor superficie específica entre las partículas que el agregado de 1 1/2", lo cual produce mayor adherencia en la mezcla de concreto, y por ende una mayor resistencia.

**TABLA No. 5.15:** Resumen de resultados promedios de ensayo de resistencia a compresión

Mezcla	Edad (días)	Peso volumétrico (kg/m <sup>3</sup> )	Resistencia promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Ganancia de resistencia con respecto a f'c (%)	Ganancia de resistencia con respecto a MP* (%)
0-100	3	2280	267	95	62
	7	2290	374	134	87
	<b>28</b>	<b>2290</b>	<b>432</b>	<b>154</b>	<b>100</b>
40-60	3	2280	256	91	59
	7	2300	357	128	83
	<b>28</b>	<b>2300</b>	<b>420</b>	<b>150</b>	<b>97</b>
50-50	3	2290	248	89	57
	7	2300	348	124	81
	<b>28</b>	<b>2310</b>	<b>413</b>	<b>148</b>	<b>96</b>
60-40	3	2300	237	85	55
	7	2300	330	118	76
	<b>28</b>	<b>2300</b>	<b>402</b>	<b>144</b>	<b>93</b>
100-0	3	2310	210	75	49
	7	2310	274	98	63
	<b>28</b>	<b>2320</b>	<b>368</b>	<b>131</b>	<b>85</b>

\* MP: Resistencia de mezcla patrón a 28 días

**FIGURA No 5.14:** Comparación de la evolución de resistencia a compresión en las mezclas de agregado combinado



### 5.3.4 RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA FLEXION

A continuación se presentan los resultados del ensayo de resistencia a la flexión, el cual se realizó siguiendo los procedimientos de la normativa ASTM C-78.

De la TABLA No 5.16 a No 5.20 se muestran los resultados de módulo de ruptura y el porcentaje de resistencia ganado con respecto a la mezcla patrón, de las vigas elaboradas para cada una de las 5 mezclas realizadas con diferentes combinaciones de agregado grueso; a las edades de 3, 7 y 28 días.

**TABLA No 5.16:** Resistencia a la flexión diseño GC0-100

Viga No	Mezcla	Edad (días)	Carga (kg)	MR (kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje de MR de mezcla patrón (%)
1	0-100	3	2780	35.5	70
2	0-100	3	3000	38.5	75
3	0-100	3	2720	35.0	69
PROMEDIO				36.5	72
4	0-100	7	3290	41.0	80
5	0-100	7	3020	37.5	74
6	0-100	7	3180	40.0	78
PROMEDIO				39.5	77
7	0-100	28	4200	52.5	103
8	0-100	28	3850	49.0	96
PROMEDIO				51.0	100

**TABLA No 5.17:** Resistencia a la flexión diseño GC40-60

Viga No	Mezcla	Edad (días)	Carga (kg)	MR (kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje de MR de mezcla patrón (%)
1	40-60	3	2770	35.5	70
2	40-60	3	2850	36.0	71
PROMEDIO				36.0	71
3	40-60	7	3210	40.5	79
4	40-60	7	2990	38.5	75
5	40-60	7	3140	40.0	78
PROMEDIO				39.5	77
6	40-60	28	4030	50.5	99
7	40-60	28	3800	47.0	92
8	40-60	28	3690	47.5	93
PROMEDIO				48.5	95

**TABLA No 5.18:** Resistencia a la flexión diseño GC50-50

Viga No	Mezcla	Edad (días)	Carga (kg)	MR (kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje de MR de mezcla patrón (%)
1	50-50	3	2830	36.0	71
2	50-50	3	2830	35.5	70
PROMEDIO				36.0	71
3	50-50	7	3160	40.0	78
4	50-50	7	3300	41.5	81
5	50-50	7	2970	37.5	74
PROMEDIO				39.5	77
6	50-50	28	3700	48.0	94
7	50-50	28	3810	48.0	94
8	50-50	28	3890	49.5	97
PROMEDIO				48.5	95

**TABLA No 5.19:** Resistencia a la flexión diseño GC60-40

Viga No	Mezcla	Edad (días)	Carga (kg)	MR (kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje de MR de mezcla patrón (%)
1	60-40	3	2800	36.0	71
2	60-40	3	2610	33.5	66
PROMEDIO				35.0	69
3	60-40	7	2890	36.0	71
4	60-40	7	3240	41.0	80
5	60-40	7	3120	40.0	78
PROMEDIO				39.0	76
6	60-40	28	3680	47.0	92
7	60-40	28	3690	47.5	93
8	60-40	28	3690	47.5	93
PROMEDIO				47.5	93

**TABLA No 5.20:** Resistencia a la flexión diseño GC100-0

Viga No	Mezcla	Edad (días)	Carga (kg)	MR (kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje de MR de mezcla patrón (%)
1	100-0	7	2530	32.5	64
2	100-0	7	2890	36.5	72
3	100-0	7	2990	38.0	75
PROMEDIO				35.5	70
4	100-0	28	3650	45.5	89
5	100-0	28	3380	43.0	84
6	100-0	28	3770	48.0	94
PROMEDIO				45.5	89

### 5.3.5 ANALISIS COMPARATIVO DE RESISTENCIA A LA FLEXION

A continuación se muestran en la FIGURA No 5.15 los resultados de resistencia a la flexión mediante un gráfico comparativo de las diferentes mezclas realizadas a las edades de 3, 7 y 28 días.

En la gráfica se puede observar que los resultados de resistencia a 3 días fueron bastante similares, obteniéndose un MR de 36.5 kg/cm<sup>2</sup> para la mezcla patrón, 36 kg/cm<sup>2</sup> para la mezcla GC40-60 y GC50-50 y 35 kg/cm<sup>2</sup> para la mezcla GC60-40, no mostrando una variación significativa con respecto a la mezcla patrón.

En el caso de la mezcla GC100-0 no se realizaron especímenes a la edad de 3 días, debido a que cemento restante no era suficiente para elaborar al menos 1 viga.

Para las vigas ensayadas a la edad de 7 días, los MR presentaron valores de 39.5 kg/cm<sup>2</sup> para las mezclas GC0-100, GC40-60 y GC50-50, 39 kg/cm<sup>2</sup> para la mezcla GC60-40 y 35.5 kg/cm<sup>2</sup> para la mezcla GC100-0. Analizando estos resultados se puede ver que las combinaciones no mostraron una variación significativa con respecto a la mezcla patrón. Por el contrario, la mezcla GC100-0 mostro una variación de 4 kg/cm<sup>2</sup>.

En cuanto a los módulos de ruptura obtenidos a la edad de 28 días se puede observar que todas las mezclas presentaron valores relativamente altos (mayor a 45 kg/cm<sup>2</sup>). Siendo la mezcla GC0-100 la que presento la resistencia más alta

con un valor promedio de 51 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que la mezcla GC100-0 obtuvo la menor resistencia con un promedio de 45.5 kg/cm<sup>2</sup>. Para las combinaciones se obtuvieron valores promedio de 48.5 kg/cm<sup>2</sup> para la mezcla GC40-60 y GC50-50 y 47.5 kg/cm<sup>2</sup> para la mezcla GC60-40 (ver TABLAS No 5.16 a No 5.20).

Otra característica notoria en el comportamiento del Módulo de Ruptura, es el aumento de la resistencia en relación a la proporción del agregado.

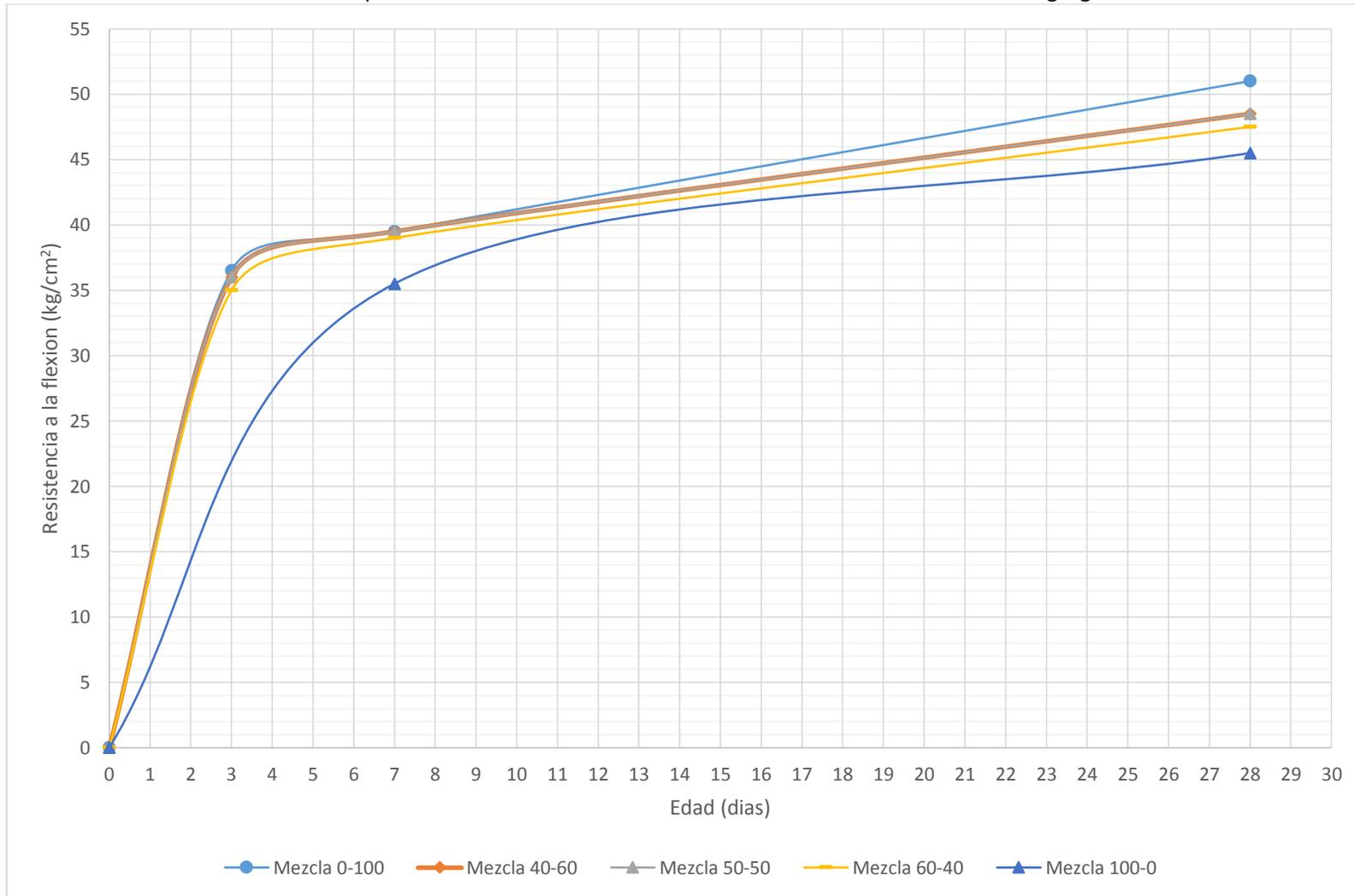
Tal y como se mencionó en el análisis comparativo de la resistencia a la compresión en el apartado 5.3.3, el comportamiento de resistencia a flexión es muy similar, ya que a mayor porcentaje de agregado de ¾” en la combinación se obtiene un mayor módulo de ruptura.

Con respecto a la mezcla de referencia (GC0-100) se observa que las demás mezclas presentaron una disminución en los módulos de ruptura entre el 5% y el 11%. La mezcla GC100-0 presentó los valores más alejados con un promedio de 45.5 kg/cm<sup>2</sup>, y una disminución de 11% respecto a la mezcla de referencia. Para las combinaciones GC40-60 y GC50-50 se obtuvieron disminuciones de 5% y para la combinación GC60-40 una disminución de 7%, con respecto a la resistencia de la mezcla patrón a 28 días. Las mezclas GC40-60 y GC50-50 presentaron el mejor comportamiento de las 3 combinaciones, ya que dichas mezclas se acercaron más a la resistencia de referencia (51 kg/cm<sup>2</sup>), ambas con un valor promedio de 48.5 kg/cm<sup>2</sup>.

En el caso del ensayo de resistencia a la flexión, el concreto falla debido a los esfuerzos de tensión producidos en la fibra inferior de la viga. Esto quiere decir que en el concreto trabaja más el esfuerzo de adherencia entre la pasta y el agregado. Como se explicó en el apartado 5.3.3, lo que provoca una mayor resistencia a los esfuerzos de adherencia es el aumento de la superficie específica de las partículas. Un agregado de menor tamaño producirá una mayor superficie de contacto entre la pasta y el agregado, y por lo tanto una mayor resistencia. Esto es predominante para concretos de alta resistencia (MR mayor a 45 kg/cm<sup>2</sup>).

Las mezclas de concreto elaboradas superaron un MR de 45 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días, por lo cual se puede decir que para dichas mezclas influyo la adherencia pasta-agregado, debido a que a medida se aumentó la proporción de agregado de 3/4" también aumento la superficie especifica de estos, provocando un aumentando en el MR.

**FIGURA No 5.15:** Comparación de la evolución de resistencia a flexión en las mezclas de agregado combinado



### 5.3.6 RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA TENSION POR PARTIDURA

A continuación se presentan los resultados del ensayo de tensión por partidura, el cual se realizó siguiendo los procedimientos de la normativa ASTM C-496.

De la TABLA No 5.21 a No 5.25 se muestran los resultados y el porcentaje de resistencia ganado con respecto a la mezcla patrón de los especímenes elaborados para cada una de las 5 mezclas realizadas con diferentes combinaciones de agregado grueso; a las edades de 3, 7 y 28 días.

**TABLA No 5.21:** Resistencia a la tensión por partidura diseño GC0-100

Espécimen No.	Edad (días)	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje de TP* con respecto a mezcla patrón (%)
1	3	180.74	21210	29.00	75
2	3	180.74	22290	30.50	79
PROMEDIO				30.00	78
3	7	180.5	27190	37.50	97
4	7	180.5	26040	36.00	94
PROMEDIO				37.00	96
5	28	180.98	28510	39.00	101
6	28	181.22	27220	37.50	97
PROMEDIO				38.50	100

\* TP: Tensión por partidura

**TABLA No 5.22:** Resistencia a la tensión por partidura diseño GC40-60

Espécimen No.	Edad (días)	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje de TP* con respecto a mezcla patrón (%)
1	3	181.22	19190	26.50	69
2	3	180.74	20230	28.00	73
PROMEDIO				27.50	71
3	7	181.22	24410	33.50	87
4	7	181.22	24320	33.50	87
PROMEDIO				33.50	87
5	28	180.74	25580	35.00	91
6	28	180.74	25200	34.50	90
PROMEDIO				35.00	91

\* TP: Tensión por partidura

**TABLA No 5.23:** Resistencia a la tensión por partidura diseño GC50-50

Espécimen No.	Edad (días)	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje de TP* con respecto a mezcla patrón (%)
1	3	181.22	21500	29.50	77
2	3	180.98	20910	29.00	75
PROMEDIO				29.50	77
3	7	180.98	21970	30.50	79
4	7	180.74	22290	31.00	81
PROMEDIO				31.00	81
5	28	180.74	27000	37.00	96
6	28	180.74	26080	36.00	94
PROMEDIO				36.50	95

\* TP: Tensión por partidura

**TABLA No 5.24:** Resistencia a la tensión por partidura diseño GC60-40

Espécimen No.	Edad (días)	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje de TP* con respecto a mezcla patrón (%)
1	3	181.22	19140	26.50	69
2	3	180.98	19170	26.50	69
PROMEDIO				26.50	69
3	7	180.98	21030	29.00	75
4	7	181.22	21260	29.50	77
PROMEDIO				29.50	77
5	28	181.46	24350	33.50	87
6	28	180.5	24280	33.50	87
PROMEDIO				33.50	87

\* TP: Tensión por partidura

**TABLA No 5.25:** Resistencia a la tensión por partidura diseño GC100-0

Espécimen No.	Edad (días)	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje de TP* con respecto a mezcla patrón (%)
1	3	181.22	19470	27.00	70
2	3	181.22	17680	24.50	64
PROMEDIO				26.00	68
3	7	180.98	19400	27.00	70
4	7	181.22	20080	27.50	71
PROMEDIO				27.50	71
5	28	180.03	21590	30.00	78
6	28	180.98	21940	30.00	78
PROMEDIO				30.00	78

\* TP: Tensión por partidura

### **5.3.7 ANALISIS COMPARATIVO DE RESISTENCIA A TENSION POR PARTIDURA**

En la FIGURA No 5.16 se muestra el comportamiento del esfuerzo a tensión por partidura para todas las mezclas definitivas realizadas.

En la gráfica se puede observar que los resultados de resistencia a 3 días muestran una resistencia a tensión por partidura de 30 kg/cm<sup>2</sup> para la mezcla patrón, 27.5 kg/cm<sup>2</sup> para la mezcla GC40-60, 29.5 kg/cm<sup>2</sup> para la mezcla GC50-50, 26.5 kg/cm<sup>2</sup> para la mezcla GC60-40 y 26 kg/cm<sup>2</sup> para la mezcla GC60-40.

Para los especímenes ensayados a la edad de 7 días, las resistencias a tensión por partidura presentaron valores de 37 kg/cm<sup>2</sup> para las mezclas GC0-100, 33.5 kg/cm<sup>2</sup> para las mezclas GC40-60, 31 kg/cm<sup>2</sup> para las mezclas GC50-50, 29.5 kg/cm<sup>2</sup> para la mezcla GC60-40 y 27.5 kg/cm<sup>2</sup> para la mezcla GC100-0.

Los resultados de resistencia en las diferentes mezclas oscilaron entre 30 kg/cm<sup>2</sup> y 38.5 kg/cm<sup>2</sup> a la edad de 28 días. La mezcla GC0-100 presento la resistencia más elevada con un promedio de 38.5 kg/cm<sup>2</sup>; mientras que la mezcla GC100-0 obtuvo la resistencia más baja con un promedio de 30 kg/cm<sup>2</sup> a la edad de 28 días. Las combinaciones GC40-60, GC50-50, GC60-40 promediaron resistencias de tensión por partidura de 35 kg/cm<sup>2</sup>, 36.5 kg/cm<sup>2</sup>, y 33.5 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente, a la edad de 28 días.

Además, los resultados indican que el esfuerzo a tensión por partidura disminuyo en todas las mezclas con respecto a la mezcla patrón, con una variación entre 5% y 22% tomando como referencia los valores de resistencia a 28 días; siendo la mezcla GC100-0 la que presento el valor más bajo, con una resistencia de 30 kg/cm<sup>2</sup>, es decir, una disminución de 22%, y la mezcla GC50-50 la de mayor resistencia, con un valor de 36.5 kg/cm<sup>2</sup> y una variación de 5% menos con respecto a la mezcla patrón. Las mezclas GC40-60 y GC60-40 disminuyeron en 9% y 13% respecto a la resistencia de la mezcla de referencia.

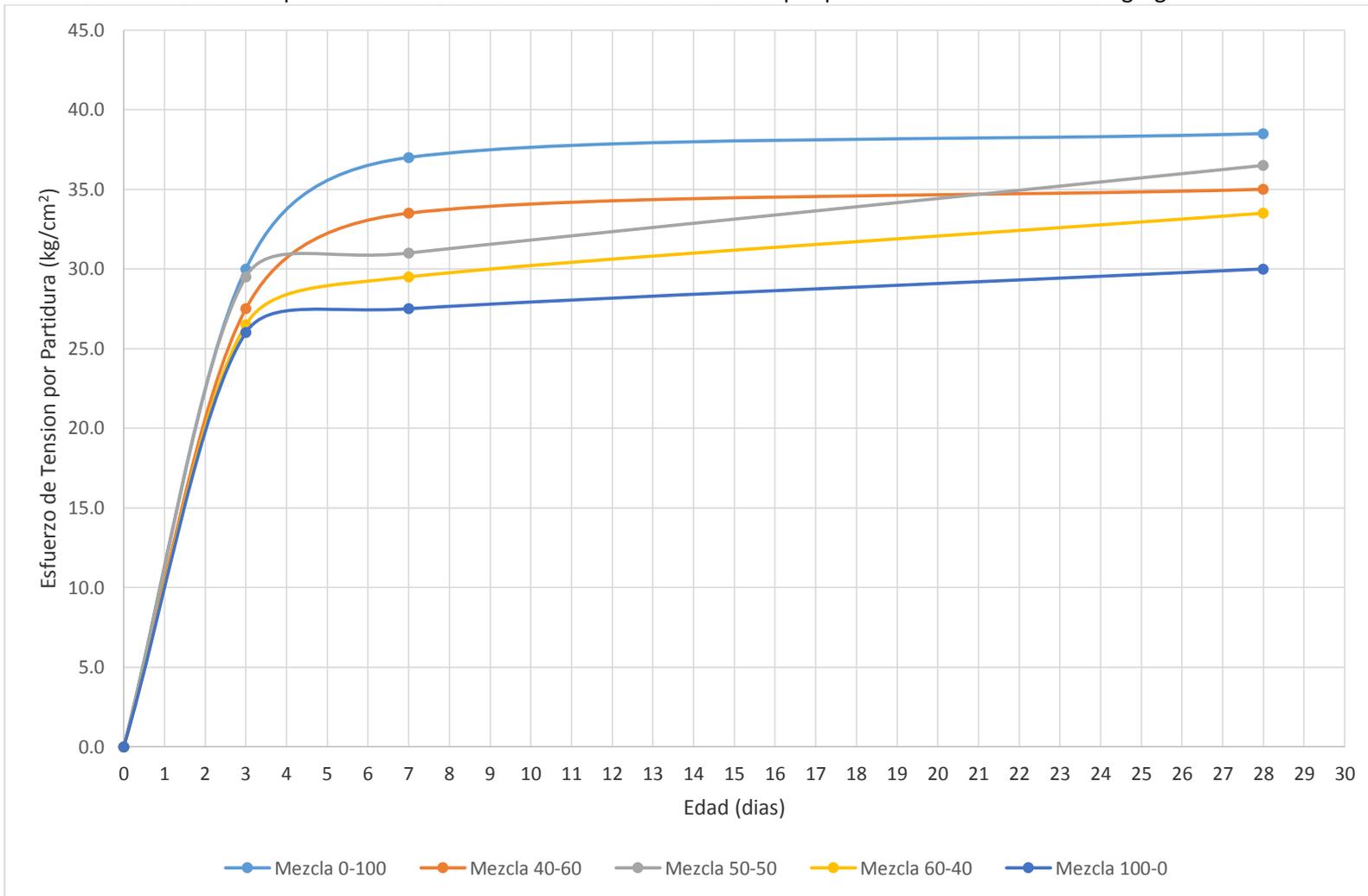
Como se puede observar el patrón de comportamiento es similar al de resistencia a compresión; con la diferencia que para este caso el orden de las resistencias a

28 días no implica una relación con el porcentaje de agregado de  $\frac{3}{4}$ " que posee la mezcla; ya que la resistencia de la mezcla GC50-50 de  $36.5 \text{ kg/cm}^2$ , es mayor a la de la mezcla GC40-60 de  $33.5 \text{ kg/cm}^2$ .

Esto indica que la proporción de agregado en una determinada combinación no influye directamente en el esfuerzo de tensión por partidura, como lo hace en la resistencia a compresión, ya que no hay una relación directa entre la proporción de agregado de  $\frac{3}{4}$ " y la ganancia de resistencia.

Otra característica notable es la ganancia de resistencia después de los 7 días, ya que después de esta edad la resistencia no crece considerablemente, a tal grado que pareciera casi constante en la mayoría de las mezclas. En la mezcla GC0-100 la resistencia aumento de  $37 \text{ kg/cm}^2$  a  $38.5 \text{ kg/cm}^2$ ; esto implica un aumento de 3.9%. Para las mezclas GC0-100 y GC40-60 se presentó un aumento del 9.1% y 4.3% respectivamente. Las mezclas GC50-50 y GC60-40 presentaron los valores más atípicos con un aumento del 15.1% y 11.9%; sin embargo, como se puede observar en la figura, la mezcla GC50-50 presenta un comportamiento inusual en comparación a las demás mezclas, ya que a la edad de 7 días, su resistencia es menor que la de la mezcla GC40-60; lo cual es contrario a los resultados que se muestran en las demás edades. Debido a que es el único dato atípico, y solo se presentó en una de las tres edades de ensayo; se puede considerar que dicho dato fue provocado por un error en la realización del ensayo, ya que contradice la tendencia que muestra el gráfico. Además, aunado a esto, se puede decir que solo se ensayó 2 especímenes a cada edad, lo cual es muy poco representativo y aumenta la probabilidad a presentar errores en los resultados.

**FIGURA No 5.16:** Comparación de la evolución del esfuerzo de tensión por partidura en las mezclas de agregado combinado



### 5.3.8 RESULTADOS DE MODULO DE ELASTICIDAD ESTATICO

A continuación se presentan los resultados del ensayo de módulo de elasticidad estático del concreto en compresión, el cual se realizó siguiendo los procedimientos de la normativa ASTM C-469.

De la TABLA No 5.26 a No 5.35 se muestran los resultados de los especímenes elaborados para cada una de las 5 mezclas realizadas con diferentes combinaciones de agregado grueso.

**TABLA No 5.26:** Resultados de espécimen 1, diseño GC 0-100

Resistencia a compresión prom. a 28 días:	385.12 kg/cm <sup>2</sup>	Condiciones de ensayo		
Área promedio de especímenes:	180.98 cm <sup>2</sup>	15% carga axial promedio máxima:	10455 kg	
Carga axial promedio máxima:	69700 Kg	60% carga axial promedio máxima:	41820 kg	
Altura promedio de especímenes:	30.50 cm	Factor de deformímetro	0.00254 mm	
Carga (kg)	Resistencia compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Deformación longitudinal		
		Lectura	(mm)	$\epsilon$
0	0	0	0.00000	0.00000
1435	7.9	4	0.0102	0.00003
6970	38.5	26	0.066	0.00022
13940	77	54	0.1372	0.00045
20910	115.5	81	0.2057	0.00067
27880	154	106	0.2692	0.00088
34850	192.6	130	0.3302	0.00108
41820	231.1	155	0.3937	0.00129
$\epsilon_1 = 0.00005$		$s_1 = 9.64 \text{ kg/cm}^2$		
$\epsilon_2 = 0.00088$		$s_2 = 154 \text{ kg/cm}^2$		
$E = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1} = 173916.43 \text{ kg/cm}^2$				

**TABLA No 5.27:** Resultados de espécimen 2, diseño GC 0-100

Resistencia a compresión prom. a 28 días:	385.12 kg/cm <sup>2</sup>	Condiciones de ensayo		
Área promedio de especímenes:	180.98 cm <sup>2</sup>	15% carga axial promedio máxima:	10455 kg	
Carga axial promedio máxima:	69700 kg	60% carga axial promedio máxima:	41820 kg	
Altura promedio de especímenes:	30.50 cm	Factor de deformimetro	0.00254 mm	
Carga (kg)	Resistencia compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Deformación longitudinal		
		Lectura	(mm)	ε
0	0	0	0	0
1570	8.7	4	0.0102	0.00003
6970	38.5	22	0.0559	0.00018
13940	77	44	0.1118	0.00037
20910	115.5	66	0.1676	0.00055
27880	154	88	0.2235	0.00073
34850	192.6	112	0.2845	0.00093
41820	231.1	137	0.348	0.00114
$\epsilon_1 = 0.00005$		$s_1 = 10.98 \frac{kg}{cm^2}$		
$\epsilon_2 = 0.00073$		$s_2 = 154 \frac{kg}{cm^2}$		
$E = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1} = 210322.06 \frac{kg}{cm^2}$				

**TABLA No 5.28:** Resultados de espécimen 1, diseño GC 40-60

Resistencia a compresión prom. a 28 días:	438.26 kg/cm <sup>2</sup>	Condiciones de ensayo		
Área promedio de especímenes:	181.70 cm <sup>2</sup>	15% carga axial promedio máxima:	11944 kg	
Carga axial promedio máxima:	79629.99 kg	60% carga axial promedio máxima:	47778 kg	
Altura promedio de especímenes:	30.50 cm	Factor de deformimetro	0.00254 mm	
Carga (kg)	Resistencia compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Deformación longitudinal		
		Lectura	(mm)	ε
0	0	0	0	0
2080	11.4	4	0.0102	0.00003
7963	43.8	21	0.0533	0.00017
15926	87.7	45	0.1143	0.00037
23889	131.5	69	0.1753	0.00057
31852	175.3	95	0.2413	0.00079
39815	219.1	120	0.3048	0.001
47778	263	149	0.3785	0.00124
$\epsilon_1 = 0.00005$		$s_1 = 13.82 \frac{kg}{cm^2}$		
$\epsilon_2 = 0.00079$		$s_2 = 175.3 \frac{kg}{cm^2}$		
$E = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1} = 218221.70 \frac{kg}{cm^2}$				

**TABLA No 5.29:** Resultados de espécimen 2, diseño GC 40-60

Resistencia a compresión prom. a 28 días:	438.26 kg/cm <sup>2</sup>	Condiciones de ensayo		
Área promedio de especímenes:	181.70 cm <sup>2</sup>	15% carga axial promedio máxima:	11944 kg	
Carga axial promedio máxima:	79629.99 kg	60% carga axial promedio máxima:	47778 kg	
Altura promedio de especímenes:	30.50 cm	Factor de deformímetro	0.00254 mm	
Carga (kg)	Resistencia compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Deformación longitudinal		
		Lectura	(mm)	ε
0	0	0	0	0
2080	11.4	4	0.0102	0.00003
7963	43.8	17	0.0432	0.00014
15926	87.7	40	0.1016	0.00033
23889	131.5	62	0.1575	0.00052
31852	175.3	88	0.2235	0.00073
39815	219.1	112	0.2845	0.00093
47778	263	138	0.3505	0.00115
$\epsilon_1 = 0.00005$		$s_1 = 16.22 \text{ kg/cm}^2$		
$\epsilon_2 = 0.00073$		$s_2 = 175.3 \text{ kg/cm}^2$		
$E = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1} = 233942.20 \text{ kg/cm}^2$				

**TABLA No 5.30:** Resultados de espécimen 1, diseño GC 50-50

Resistencia a compresión prom. a 28 días:	406.79 kg/cm <sup>2</sup>	Condiciones de ensayo		
Área promedio de especímenes:	181.94 cm <sup>2</sup>	15% carga axial promedio máxima:	11102 kg	
Carga axial promedio máxima:	74010 kg	60% carga axial promedio máxima:	44406 kg	
Altura promedio de especímenes:	30.50 cm	Factor de deformímetro	0.00254 mm	
Carga (kg)	Resistencia compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Deformación longitudinal		
		Lectura	(mm)	ε
0	0	0	0	0
2135	11.7	4	0.0102	0.00003
7401	40.7	20	0.0508	0.00017
14802	81.4	41	0.1041	0.00034
22203	122	63	0.16	0.00052
29604	162.7	88	0.2235	0.00073
37005	203.4	115	0.2921	0.00096
44406	244.1	143	0.3632	0.00119
$\epsilon_1 = 0.00005$		$s_1 = 13.82 \text{ kg/cm}^2$		
$\epsilon_2 = 0.00073$		$s_2 = 162.70 \text{ kg/cm}^2$		
$E = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1} = 218945.40 \text{ kg/cm}^2$				

**TABLA No 5.31:** Resultados de espécimen 2, diseño GC 50-50

Resistencia a compresión prom. a 28 días:	406.79 kg/cm <sup>2</sup>	Condiciones de ensayo		
Área promedio de especímenes:	181.94 cm <sup>2</sup>	15% carga axial promedio máxima:	11102 kg	
Carga axial promedio máxima:	74010 kg	60% carga axial promedio máxima:	44406 kg	
Altura promedio de especímenes:	30.50 cm	Factor de deformímetro	0.00254 mm	
Carga (kg)	Resistencia compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Deformación longitudinal		
		Lectura	(mm)	ε
0	0	0	0	0
2300	12.6	4	0.0102	0.00003
7401	40.7	18	0.0457	0.00015
14802	81.4	43	0.1092	0.00036
22203	122	67	0.1702	0.00056
29604	162.7	90	0.2286	0.00075
37005	203.4	117	0.2972	0.00097
44406	244.1	144	0.3658	0.0012
$\epsilon_1 = 0.00005$		$s_1 = 14.85 \text{ kg/cm}^2$		
$\epsilon_2 = 0.00075$		$s_2 = 162.70 \text{ kg/cm}^2$		
$E = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1} = 211210.20 \text{ kg/cm}^2$				

**TABLA No 5.32:** Resultados de espécimen 1, diseño GC 60-40

Resistencia a compresión prom. a 28 días:	301.46 kg/cm <sup>2</sup>	Condiciones de ensayo		
Área promedio de especímenes:	181.22 cm <sup>2</sup>	15% carga axial promedio máxima:	8195 kg	
Carga axial promedio máxima:	54630 kg	60% carga axial promedio máxima:	32778 kg	
Altura promedio de especímenes:	30.50 cm	Factor de deformímetro	0.00254 mm	
Carga (kg)	Resistencia compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Deformación longitudinal		
		Lectura	(mm)	ε
0	0	0	0	0
2020	11.1	4	0.0102	0.00003
5463	30.1	15	0.0381	0.00012
10926	60.3	32	0.0813	0.00027
16389	90.4	48	0.1219	0.0004
21852	120.6	65	0.1651	0.00054
27315	150.7	82	0.2083	0.00068
32778	180.9	99	0.2515	0.00082
$\epsilon_1 = 0.00005$		$s_1 = 13.09 \text{ kg/cm}^2$		
$\epsilon_2 = 0.00054$		$s_2 = 120.60 \text{ kg/cm}^2$		
$E = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1} = 219407.18 \text{ kg/cm}^2$				

**TABLA No 5.33:** Resultados de espécimen 2, diseño GC 60-40

Resistencia a compresión prom. a 28 días:	301.46 kg/cm <sup>2</sup>	Condiciones de ensayo		
Área promedio de especímenes:	181.22 cm <sup>2</sup>	15% carga axial promedio máxima:	8195 kg	
Carga axial promedio máxima:	54630 kg	60% carga axial promedio máxima:	32778 kg	
Altura promedio de especímenes:	30.50 cm	Factor de deformimetro	0.00254 mm	
Carga (kg)	Resistencia compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Deformación longitudinal		
		Lectura	(mm)	ε
0	0	0	0	0
2285	12.6	4	0.0102	0.00003
5463	30.1	12	0.0305	0.0001
10926	60.3	28	0.0711	0.00023
16389	90.4	44	0.1118	0.00037
21852	120.6	61	0.1549	0.00051
27315	150.7	78	0.1981	0.00065
32778	180.9	93	0.2362	0.00077
$\epsilon_1 = 0.00005$		$s_1 = 16.28 \text{ kg/cm}^2$		
$\epsilon_2 = 0.00051$		$s_2 = 120.60 \text{ kg/cm}^2$		
$E = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1} = 226785.22 \text{ kg/cm}^2$				

**TABLA No 5.34:** Resultados de espécimen 1, diseño GC 100-0

Resistencia a compresión prom. a 28 días:	245.83 kg/cm <sup>2</sup>	Condiciones de ensayo		
Área promedio de especímenes:	180.98 cm <sup>2</sup>	15% carga axial promedio máxima:	6674 kg	
Carga axial promedio máxima:	44490.01 kg	60% carga axial promedio máxima:	26694 kg	
Altura promedio de especímenes:	30.50 cm	Factor de deformimetro	0.00254 mm	
Carga (kg)	Resistencia compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Deformación longitudinal		
		Lectura	(mm)	ε
0	0	0	0	0
2275	12.6	4	0.0102	0.00003
4449	24.6	11	0.0279	0.00009
8898	49.2	25	0.0635	0.00021
13347	73.7	37	0.094	0.00031
17796	98.3	50	0.127	0.00042
22245	122.9	63	0.16	0.00052
26694	147.5	75	0.1905	0.00062
$\epsilon_1 = 0.00005$		$s_1 = 14.34 \text{ kg/cm}^2$		
$\epsilon_2 = 0.00042$		$s_2 = 98.30 \text{ kg/cm}^2$		
$E = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1} = 226911.24 \text{ kg/cm}^2$				

**TABLA No 5.35:** Resultados de espécimen 2, diseño GC 100-0

Resistencia a compresión prom. a 28 días:	245.83 kg/cm <sup>2</sup>	Condiciones de ensayo		
Área promedio de especímenes:	180.98 cm <sup>2</sup>	15% carga axial promedio máxima:	6674 kg	
Carga axial promedio máxima:	44490.01 kg	60% carga axial promedio máxima:	26694 kg	
Altura promedio de especímenes:	30.50 cm	Factor de deformímetro	0.00254 mm	
Carga (kg)	Resistencia compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Deformación longitudinal		
		Lectura	(mm)	ε
0	0	0	0	0
1855	10.2	4	0.0102	0.00003
4449	24.6	9	0.0229	0.00007
8898	49.2	22	0.0559	0.00018
13347	73.7	36	0.0914	0.0003
17796	98.3	50	0.127	0.00042
22245	122.9	66	0.1676	0.00055
26694	147.5	82	0.2083	0.00068
ε <sub>1</sub> = 0.00005		s <sub>1</sub> = 16.03 kg/cm <sup>2</sup>		
ε <sub>2</sub> = 0.00042		s <sub>2</sub> = 98.30 kg/cm <sup>2</sup>		
$E = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1} = 222351.22 \text{ kg/cm}^2$				

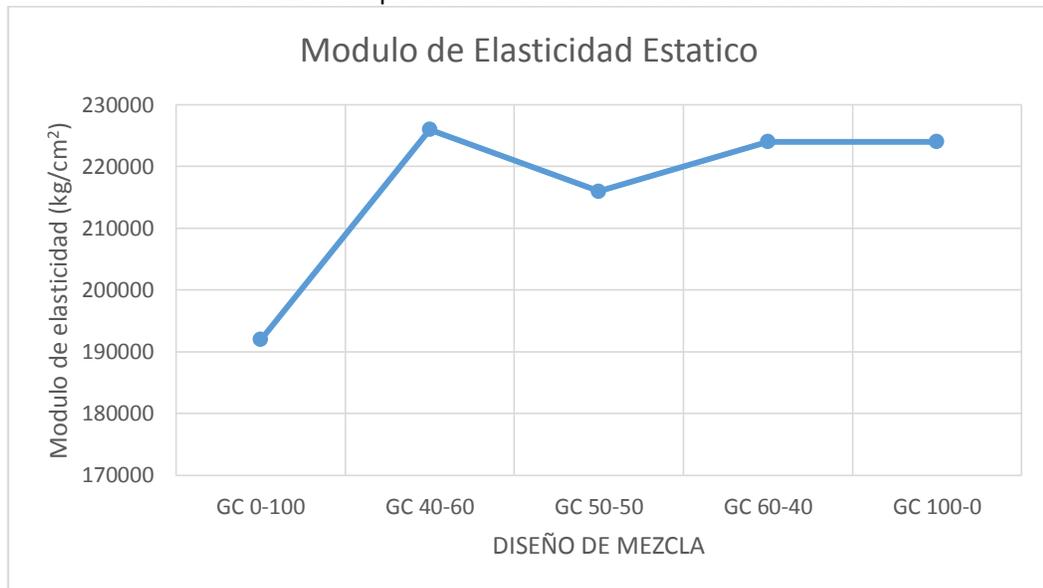
### 5.3.9 ANALISIS COMPARATIVO DE MODULO DE ELASTICIDAD ESTATICO DEL CONCRETO

El concreto no tiene un módulo de elasticidad bien definido. Su valor variara de acuerdo con las diferentes resistencias, con la edad de este, con el tipo de carga aplicada, las características y proporciones del cemento y los agregados. También influye en gran manera el peso volumétrico del concreto. En la sección 8.5.1 del código ACI-318-08 se establece una ecuación para el cálculo del módulo de elasticidad para concretos de peso normal ( $E_c = w_c^{1.5} 0.14 \sqrt{f'_c}$ ). Procede señalar, que el hecho de incluir como variable el peso volumétrico del concreto, es una forma de reconocer la influencia que sobre el módulo de elasticidad ejercen el peso específico de los agregados y su proporción en el concreto. En la TABLA No 5.36 y FIGURA No 5.17 se presentan los resultados promedios del módulo de elasticidad estático para cada mezcla.

**TABLA No 5.36:** Modulo de elasticidad estático promedio para cada combinación

Combinación	Módulo de elasticidad estático prom. (kg/cm <sup>2</sup> )
GC 0-100	1.92x10 <sup>5</sup>
GC 40-60	2.26x10 <sup>5</sup>
GC 50-50	2.16x10 <sup>5</sup>
GC 60-40	2.24x10 <sup>5</sup>
GC 100-0	2.24x10 <sup>5</sup>

**FIGURA No 5.17:** Comparación de los Módulos de elasticidad estático



En la sección 8.5.1 del código ACI-318 especifica que teóricamente se puede determinar el módulo de elasticidad para valores de peso volumétrico del concreto comprendidos entre 1440 y 2560 kg/m<sup>3</sup> con una ecuación simplificada ( $E_c = 15100\sqrt{f'_c}$ ), calculando el módulo de elasticidad de esta manera para la resistencia de diseño  $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ , obtenemos un módulo de elasticidad teórico de  $2.52 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ , comparando los valores obtenidos experimentalmente en el ensayo de módulo de elasticidad estático estos reflejan un comportamiento mucho menos elástico que el obtenido teóricamente.

También se puede observar en la TABLA No 5.36 que el módulo de elasticidad estático de las mezclas donde se utilizó agregado combinado muestran un aumento de  $0.34 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$  en la mezcla GC40-60, de  $0.24 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$  en la mezcla GC50-50, de  $0.32 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$  en las mezclas 60-40 y 100-0 con respecto a la mezcla patrón, También se puede ver en la FIGURA No 5.17 la tendencia que al aumentar la proporción de agregado de 1 1/2" el módulo de elasticidad estático aumenta.

### 5.3.10 RESULTADOS DE MODULO DE ELASTICIDAD DINAMICO

A continuación en las TABLAS No 5.37 a 5.41 se presentan los resultados del ensayo de módulo de elasticidad dinámico, el cual se realizó siguiendo los procedimientos de la normativa ASTM C-597.

**TABLA No 5.37:** Velocidad de pulso a través del concreto diseño GC0-100

Espécimen No.	Peso Volumétrico Prom. (lb/pie <sup>3</sup> )	Distancia (plg)	Tiempo (μs)	Velocidad (pie/s)	Módulo de elasticidad Dinámico (psi)	Módulo de elasticidad Dinámico (kg/cm <sup>2</sup> )
1	143	12	66.8	14970	$6.97 \times 10^6$	$4.90 \times 10^5$
		12	67.4	14837	$6.84 \times 10^6$	$4.81 \times 10^5$
		12	67.1	14903	$6.90 \times 10^6$	$4.85 \times 10^5$
2	143	12	67.7	14771	$6.78 \times 10^6$	$4.77 \times 10^5$
		12	67.6	14793	$6.80 \times 10^6$	$4.78 \times 10^5$
		12	67.6	14793	$6.80 \times 10^6$	$4.78 \times 10^5$
3	143	12	67.4	14837	$6.84 \times 10^6$	$4.81 \times 10^5$
		12	67.2	14881	$6.88 \times 10^6$	$4.84 \times 10^5$
		12	67.8	14749	$6.76 \times 10^6$	$4.75 \times 10^5$

**TABLA No 5.38:** Velocidad de pulso a través del concreto diseño GC40-60

Espécimen No.	Peso Volumétrico Prom. (lb/pie <sup>3</sup> )	Distancia (plg)	Tiempo (μs)	Velocidad (pie/s)	Módulo de elasticidad Dinámico (psi)	Módulo de elasticidad Dinámico (kg/cm <sup>2</sup> )
1	143	12	67.4	14837	$6.79 \times 10^6$	$4.77 \times 10^5$
		12	67.4	14837	$6.79 \times 10^6$	$4.77 \times 10^5$
2	143	12	66.3	15083	$7.02 \times 10^6$	$4.94 \times 10^5$
		12	66.3	15083	$7.02 \times 10^6$	$4.94 \times 10^5$

**TABLA No 5.39:** Velocidad de pulso a través del concreto diseño GC50-50

Espécimen No.	Peso Volumétrico Prom. (lb/pie <sup>3</sup> )	Distancia (plg)	Tiempo (μs)	Velocidad (pie/s)	Módulo de elasticidad Dinámico (psi)	Módulo de elasticidad Dinámico (kg/cm <sup>2</sup> )
1	144	12	66.8	14970	6.97x10 <sup>6</sup>	4.90x10 <sup>5</sup>
		12	66.9	14948	6.94x10 <sup>6</sup>	4.88x10 <sup>5</sup>
2	144	12	66.7	14993	6.99x10 <sup>6</sup>	4.91x10 <sup>5</sup>
		12	67.1	14903	6.90x10 <sup>6</sup>	4.85x10 <sup>5</sup>

**TABLA No 5.40:** Velocidad de pulso a través del concreto diseño GC60-40

Espécimen No.	Peso Volumétrico Prom. (lb/pie <sup>3</sup> )	Distancia (plg)	Tiempo (μs)	Velocidad (pie/s)	Módulo de elasticidad Dinámico (psi)	Módulo de elasticidad Dinámico (kg/cm <sup>2</sup> )
1	145	12	67.3	14859	6.91x10 <sup>6</sup>	4.86x10 <sup>5</sup>
		12	67.1	14903	6.95x10 <sup>6</sup>	4.89x10 <sup>5</sup>
2	145	12	67.9	14728	6.79x10 <sup>6</sup>	4.77x10 <sup>5</sup>
		12	67.8	14749	6.81x10 <sup>6</sup>	4.79x10 <sup>5</sup>

**TABLA No 5.41:** Velocidad de pulso a través del concreto diseño GC100-0

Espécimen No.	Peso Volumétrico Prom. (lb/pie <sup>3</sup> )	Distancia (plg)	Tiempo (μs)	Velocidad (pie/s)	Módulo de elasticidad Dinámico (psi)	Módulo de elasticidad Dinámico (kg/cm <sup>2</sup> )
1	146	12	66.5	15038	7.17x10 <sup>6</sup>	5.04x10 <sup>5</sup>
		12	66.5	15038	7.17x10 <sup>6</sup>	5.04x10 <sup>5</sup>
2	146	12	66.9	14948	7.09x10 <sup>6</sup>	4.98x10 <sup>5</sup>
		12	67.0	14925	7.07x10 <sup>6</sup>	4.97x10 <sup>5</sup>

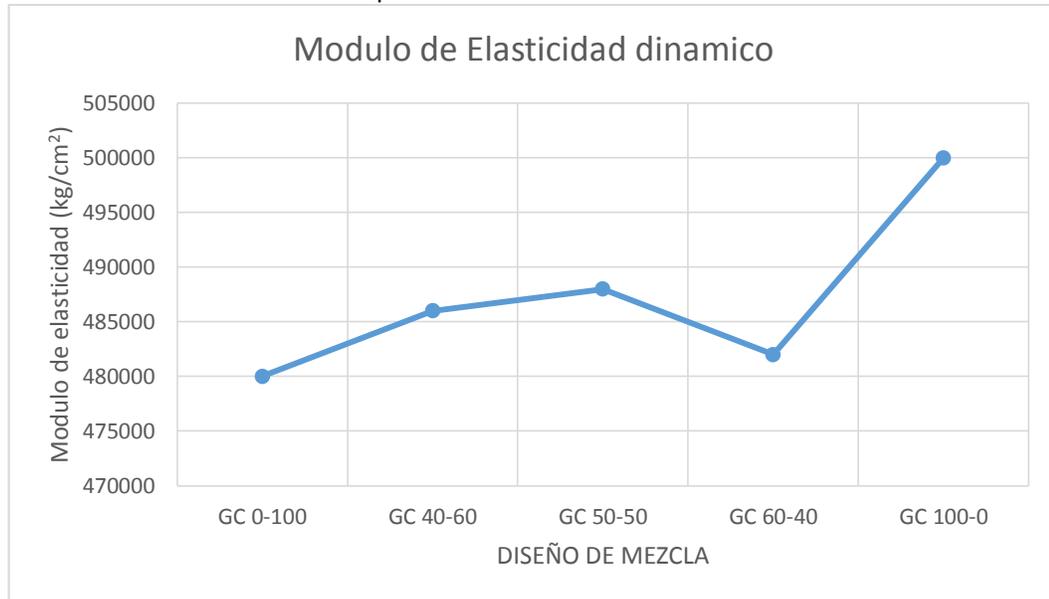
### 5.3.11 ANALISIS COMPARATIVO DE MODULO DE ELASTICIDAD DINAMICO DEL CONCRETO

En la TABLA No 5.42 y FIGURA No 5.18 se presentan los resultados promedios del módulo de elasticidad dinámico para cada mezcla.

**TABLA No 5.42:** Modulo de elasticidad dinámico promedio para cada combinación

Combinación	Módulo de Elasticidad dinámico Prom. (Kg/cm <sup>2</sup> )
GC 0-100	4.80x10 <sup>5</sup>
GC 40-60	4.86x10 <sup>5</sup>
GC 50-50	4.88x10 <sup>5</sup>
GC 60-40	4.82x10 <sup>5</sup>
GC 100-0	5.00x10 <sup>5</sup>

**FIGURA No 5.18:** Comparación de los Módulos de elasticidad dinámico



Se observar en la TABLA No 5.42 que el módulo de elasticidad dinámico de las mezclas donde se utilizó agregado combinado muestran un aumento de  $0.06 \times 10^5$  kg/cm<sup>2</sup> en la mezcla GC40-60, de  $0.08 \times 10^5$  kg/cm<sup>2</sup> en la mezcla GC50-50, de  $0.02 \times 10^5$  kg/cm<sup>2</sup> en las mezclas GC60-40 y de  $0.2 \times 10^5$  kg/cm<sup>2</sup> en la mezcla GC100-0 con respecto a la mezcla patrón.

De igual forma que para el módulo de elasticidad estático, se puede observar en la FIGURA No 5.18 que el menor valor de  $4.80 \times 10^5$  kg/cm<sup>2</sup> se obtuvo en la combinación GC0-100 y a medida se aumenta la proporción de agregado de TMN de 1 1/2" el módulo de elasticidad dinámico aumenta, siendo el mayor valor de  $5.00 \times 10^5$  kg/cm<sup>2</sup> en la combinación GC100-0.

#### **5.4 ANALISIS DE GRANULOMETRIA SHILSTONE**

De la TABLA No. 5.43 a No. 5.47 se muestran los resultados de las combinaciones granulométricas de los agregados finos y gruesos de las mezclas definitivas realizadas. Además se presenta el respectivo cálculo del factor de

grosor y trabajabilidad para cada una de las mezclas según la carta de Shilstone 1990.

**TABLA No 5.43:** Combinación granulométrica de agregado grueso y fino de la mezcla GC100-0

Malla	% que pasa acumulado		Combinación
	ARENA	GRAVA	Arena (42%)-Grava (58%)
# 2	100	100	100
# 1 1/2	100	100	100
# 1	100	100	100
# 3/4	100	97	98
# 1/2	100	45	68
# 3/8	100	22	55
# 4	97	1	41
# 8	88	0	37
# 16	75	0	32
# 30	51	0	21
# 50	22	0	9
# 100	6	0	3
fondo	0	0	0

$$Factor\ de\ Grosor = \frac{\%Ret.\ Ac.\ 3/8'' \times 100}{\%Ret.\ Ac.\ No.\ 8} = \frac{(100 - 55) \times 100}{100 - 37} = 71.4$$

$$Factor\ de\ Trabajabilidad = \%Pasa\ No.\ 8 = 37$$

**TABLA No 5.44:** Combinación granulométrica de agregado grueso y fino de la mezcla GC40-60

Malla	% que pasa acumulado		Combinación
	ARENA	GRAVA	Arena (38%)-Grava (62%)
# 2	100	100	100
# 1 1/2	100	99	99
# 1	100	81	88
# 3/4	100	59	75
# 1/2	100	26	54
# 3/8	100	14	47
# 4	97	1	37
# 8	88	0	33
# 16	75	0	29
# 30	51	0	19
# 50	22	0	8
# 100	6	0	2
fondo	0	0	0

$$Factor\ de\ Grosor = \frac{\%Ret.\ Ac.\ 3/8'' \times 100}{\%Ret.\ Ac.\ No.\ 8} = \frac{(100 - 47) \times 100}{100 - 33} = 79.1$$

$$\text{Factor de Trabajabilidad} = \%Pasa \text{ No. 8} = 33$$

**TABLA No 5.45:** Combinación granulométrica de agregado grueso y fino de la mezcla GC50-50

Malla	% que pasa acumulado		Combinación
	ARENA	GRAVA	Arena (37%)-Grava (63%)
# 2	100	100	100
# 1 1/2	100	100	100
# 1	100	74	84
# 3/4	100	50	69
# 1/2	100	21	50
# 3/8	100	12	45
# 4	97	1	37
# 8	88	0	33
# 16	75	0	28
# 30	51	0	19
# 50	22	0	8
# 100	6	0	2
fondo	0	0	0

$$\text{Factor de Grosor} = \frac{\%Ret. Ac. 3/8'' \times 100}{\%Ret. Ac. No. 8} = \frac{(100 - 45) \times 100}{100 - 33} = 82.1$$

$$\text{Factor de Trabajabilidad} = \%Pasa \text{ No. 8} = 33$$

**TABLA No 5.46:** Combinación granulométrica de agregado grueso y fino de la mezcla GC60-40

Malla	% que pasa acumulado		Combinación
	ARENA	GRAVA	Arena (37%)-Grava (63%)
# 2	100	100	100
# 1 1/2	100	99	99
# 1	100	71	82
# 3/4	100	43	64
# 1/2	100	18	48
# 3/8	100	9	43
# 4	97	1	37
# 8	88	0	33
# 16	75	0	28
# 30	51	0	19
# 50	22	0	8
# 100	6	0	2
fondo	0	0	0

$$\text{Factor de Grosor} = \frac{\%Ret. Ac. 3/8'' \times 100}{\%Ret. Ac. No. 8} = \frac{(100 - 43) \times 100}{100 - 33} = 85.1$$

$$\text{Factor de Trabajabilidad} = \%Pasa \text{ No. 8} = 33$$

**TABLA No 5.47:** Combinación granulométrica de agregado grueso y fino de la mezcla GC100-0

Malla	% que pasa acumulado		Combinación
	ARENA	GRAVA	Arena (39%)-Grava (61%)
# 2	100	100	100
# 1 1/2	100	97	98
# 1	100	49	69
# 3/4	100	8	44
# 1/2	100	1	40
# 3/8	100	0	39
# 4	97	0	38
# 8	88	0	34
# 16	75	0	29
# 30	51	0	20
# 50	22	0	9
# 100	6	0	2
fondo	0	0	0

$$\text{Factor de Grosor} = \frac{\%Ret. Ac. 3/8'' \times 100}{\%Ret. Ac. No. 8} = \frac{(100 - 39) \times 100}{100 - 34} = 92.4$$

$$\text{Factor de Trabajabilidad} = \%Pasa \text{ No. 8} = 34$$

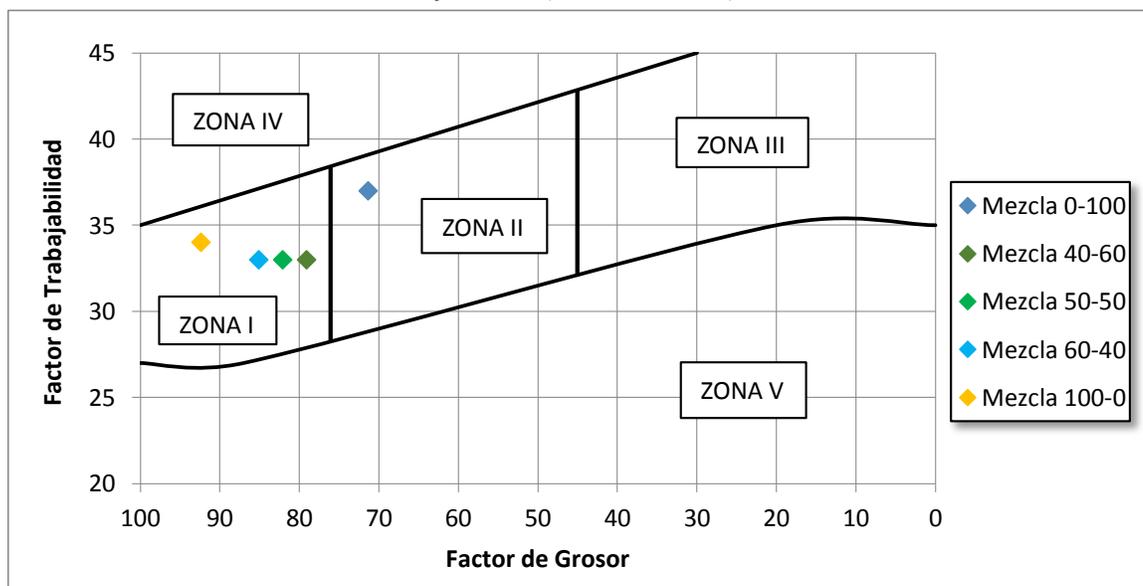
En la FIGURA No.5.19 se presenta la carta del factor de grosor y trabajabilidad (Shilstone 1990), en la cual se grafican los resultados correspondientes a las 5 mezclas definitivas.

Como se puede observar, la mezcla patrón (GC0-100) está ubicada en la zona II del grafico o zona bien graduada. Esta zona indica una mezcla óptima para concreto con tamaño máximo nominal del agregado de 50 mm (2 plg) a 19 mm (3/4 plg.). Las mezclas de esta zona producen generalmente concretos consistentes de alta calidad. Para este caso, el Tamaño máximo nominal de la mezcla es de 3/4'' con un factor de grosor 71.4; y dicha mezcla presento los mejores resultados en todas las propiedades mecánicas de concreto endurecido. Para las mezclas restantes (GC40-60, GC50-50, GC60-40 y GC100-0) se obtuvo un factor de grosor mayor a 75, y quedaron ubicadas en la zona I. De acuerdo a la teoría, esta zona indica una mezcla que contiene vacíos y tiene un alto

potencial para la segregación durante la colocación y/o la consolidación debido a una deficiencia en partículas intermedias. Estas mezclas probablemente no son cohesivas, por lo tanto, puede ocurrir la segregación.

Este comportamiento se puede confirmar en la mezcla GC100-0, ya que evidentemente carecía de tamaños intermedios en su composición granulométrica, presento un comportamiento no cohesivo con relaciones a/c mayores a 0.53, y además, obtuvo las menores resistencias en todos los ensayos de propiedades mecánicas. Sin embargo, en las combinaciones (GC40-60, GC50-50, GC60-40) se puede constatar una mejora notable en la granulometría de los agregados, un aumento en la resistencia de todas las propiedades mecánicas de las mismas; y además, en dichas mezclas se obtuvieron los mayores valores de trabajabilidad (4"-4 ¼"). Por lo tanto se puede decir, que su comportamiento se asemeja más al de las mezclas de la zona II; lo cual puede deberse a que se encuentran graficadas en límite de ambas zonas.

**FIGURA No 5.19:** Comparación de resultados de mezclas en definitivas en la carta de grosor y trabajabilidad (Shilstone 1990).



**CAPITULO VI**

**CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES**

## **6.1 INTRODUCCION**

En este capítulo se presenta el contenido de la última etapa de esta investigación: el cual está dividido en dos partes: conclusiones y recomendaciones.

Las conclusiones están divididas, de acuerdo al orden en el que se desarrollaron las pruebas de laboratorio. Desde el comportamiento granulométrico de las combinaciones de agregados, siguiendo con el comportamiento de las mezclas en estado fresco, hasta el comportamiento de las mezclas en estado endurecido a las edades de 3, 7 y 28 días, finalizando con las conclusiones generales de cada comportamiento.

Para el comportamiento de las mezclas en estado fresco, las conclusiones se dividen de acuerdo a los ensayos de: revenimiento, temperatura, peso volumétrico y contenido de aire. De igual forma para el comportamiento en estado endurecido, estas se dividen en: resistencia a la compresión, módulo de ruptura, tensión por partidura, módulo de elasticidad estático y dinámico.

Es importante mencionar, que para realizar las conclusiones del comportamiento de las mezclas en estado fresco y endurecido, se tomó como parámetro de comparación los resultados de la mezcla GC0-100 a 28 días.

Con respecto a las recomendaciones estas están basadas en los resultados de toda la investigación, con el fin de brindar nuevas alternativas en el uso de agregados gruesos empleando granulometrías combinadas, además de generar un documento que sirva de apoyo para futuras investigaciones.

## **6.2 CONCLUSIONES**

### **6.2.1 COMPORTAMIENTO GRANULOMÉTRICO DE LAS COMBINACIONES DE AGREGADOS DE TMN $\frac{3}{4}$ " Y $1 \frac{1}{2}$ ".**

- En las proporciones de agregado 40-60, 50-50 y 60-40, de grava  $1 \frac{1}{2}$ " y  $\frac{3}{4}$ " respectivamente, se obtienen curvas granulométricas con pendientes más suaves, ya que la ausencia de tamaños en una de las granulometrías es compensada, por los tamaños de la otra.
- La combinación de los agregados en la proporción 40-60 de grava  $1 \frac{1}{2}$ " y  $\frac{3}{4}$ " respectivamente, proporciono un peso volumétrico varillado de  $1530 \text{ kg/m}^3$  y un contenido de vacíos de 40%, la proporción 50-50 un peso volumétrico varillado de  $1540 \text{ kg/m}^3$  y un contenido de vacíos de 40% y la proporción 60-40 un peso volumétrico varillado de  $1550 \text{ kg/m}^3$  y un contenido de vacíos de 39%, siendo esta la que presento el mayor peso volumétrico y el menor contenido de vacíos.

### **6.2.2 COMPORTAMIENTO DE LAS MEZCLAS EN ESTADO FRESCO REVENIMIENTO**

- Para la mezcla en la que se utilizó el 100% de agregado de TMN  $\frac{3}{4}$ " (mezcla patrón) se obtuvo un valor promedio de  $3 \frac{1}{2}$  pulgadas, y en la que se utilizó el 100% de agregado de TMN  $1 \frac{1}{2}$ " un valor promedio de  $2 \frac{1}{2}$  pulgadas. En las combinaciones GC40-60 y GC50-50, se obtuvo un valor promedio de 4 pulgadas, y de  $4 \frac{1}{4}$  pulgadas, para la combinación GC60-40.

- Las mezclas en las que se utilizaron agregados combinados presentaron mayores valores de trabajabilidad, obteniéndose el mayor valor de revenimiento de 4 ¼ pulgadas, en la combinación GC60-40.
- En la mezcla en la que se utilizó el 100% de agregado de TMN ¾", se obtuvo un revenimiento mayor que en la que se utilizó el 100% de agregado de TMN 1 ½", y menor con respecto a las mezclas en las que se utilizó agregado combinado, con lo cual se puede afirmar que tiene mayor influencia en la trabajabilidad del concreto la granulometría del agregado que el tamaño del mismo.

## **TEMPERATURA**

- Para la mezcla en la que se utilizó el 100% de agregado de TMN ¾" se obtuvo un promedio de 24°C, y en la que se utilizó el 100% de agregado de TMN 1 ½" un valor promedio de 24.5°C. En las combinaciones GC40-60 y GC50-50, se obtuvo un valor promedio de 25°C, y de 26.5°C para la combinación GC60-40.
- Considerando que las condiciones ambientales, en las que se elaboraron las mezclas se mantuvieron controladas, y que la máxima variación fue de 2.5°C con respecto a la mezcla patrón, se puede afirmar que la combinación de diferentes tamaños no tiene influencia significativa sobre la temperatura del concreto.

## **PESO VOLUMETRICO**

- Para la mezcla en la que se utilizó el 100% de agregado de TMN ¾" se obtuvo un valor promedio de 2280 kg/m<sup>3</sup>, y en la que se utilizó el 100% de

agregado de TMN 1 ½" un valor promedio de 2290 kg/m<sup>3</sup>. En la combinación GC40-60 se obtuvo un valor promedio de 2290 kg/m<sup>3</sup>; 2300 kg/m<sup>3</sup> en la combinación GC50-50; y de 2310 kg/m<sup>3</sup> en la combinación GC60-40.

- El peso volumétrico del concreto incrementa al aumentar el TMN del agregado, ya que se obtiene un peso volumétrico mayor cuando se utiliza el 100% de TMN de 1 ½", que el 100% de TMN ¾".
- En las combinaciones, al aumentar en un 10% la proporción de agregado de TMN 1 ½", se incrementa el peso volumétrico del concreto en 10 kg/m<sup>3</sup>.
- La combinación 60-40 es la que proporciona el mayor peso volumétrico, con un valor de 2310 kg/m<sup>3</sup>.

## **CONTENIDO DE AIRE**

- Para la mezcla en la que se utilizó 100% de agregado de TMN ¾" se obtuvo un valor promedio de 1.0%, y en la que se utilizó el 100% de agregado de TMN 1 ½" un valor promedio de 0.9%. Las combinaciones GC40-60, GC50-50 y GC60-40 presentaron un valor promedio de 1.5%.
- Para las mezclas individuales en las que se utilizó el 100% de un agregado (mezclas GC0-100 y GC100-0), se cumple el principio de que al aumentar el Tamaño Máximo Nominal de este disminuye el contenido de aire en la mezcla.
- Al utilizar agregados combinados se incrementó el contenido de aire en las mezclas, en 0.5% con respecto a la mezcla GC0-100.

### 6.2.3 COMPORTAMIENTO DE LAS MEZCLAS EN ESTADO ENDURECIDO

#### RESISTENCIA A COMPRESION

- La resistencia a la compresión de los especímenes elaborados en la mezcla GC0-100 presentaron valores promedio de 267, 374 y 432 kg/cm<sup>2</sup>; así mismo, la resistencia a la compresión obtenida en la mezcla GC100-0 promediaron valores de 210, 274 y 386 kg/cm<sup>2</sup> a la edad de 3, 7 y 28 días respectivamente.
- La resistencia a la compresión de los especímenes elaborados para las mezclas de agregado combinado presentaron valores promedio de 256, 357 y 420 kg/cm<sup>2</sup> para la mezcla GC40-60; 248, 348 y 413 kg/cm<sup>2</sup> para la mezcla GC50-50; y 237, 330 y 402 kg/cm<sup>2</sup> para la mezcla GC60-40 a la edad de 3, 7 y 28 días respectivamente.
- La mezcla GC0-100 presento una ganancia de resistencia del 62% a la edad de 3 días, y del 87% a la edad de 7 días, con respecto a su resistencia a los 28 días.
- La mezcla GC40-60 presento una ganancia de resistencia del 61% a la edad de 3 días, y del 85% a la edad de 7 días; la mezcla GC50-50 presento una ganancia del 60% a la edad de 3 días, y del 84% a la edad de 7 días; y la mezcla GC60-40 presento una ganancia del 59% a la edad de 3 días, y del 82% a la edad de 7 días, con respecto a su resistencia a los 28 días.

- La mezcla GC100-0 presento una ganancia de resistencia del 57% a la edad de 3 días, y del 74% entre la edad de 7 días, con respecto a su resistencia a los 28 días.
- Comparando los resultados de las combinaciones a 28 días con respecto a la mezcla patrón, la mezcla GC40-60 presenta una disminución del 3%, la mezcla GC50-50 una disminución de 4% y la mezcla GC60-40 una disminución de 7%.
- La mezcla GC100-0 presento una disminución de 15% a la edad de 28 días, con respecto a la mezcla patrón.
- La mezcla GC40-60 es la que obtuvo la mayor resistencia a la compresión de las combinaciones y la menor disminución de resistencia con respecto a la mezcla patrón, presentando un valor de 420 kg/cm<sup>2</sup> a la edad de 28 días.
- El tipo de falla más común, encontrado en los especímenes ensayados a resistencia a la compresión, fue el tipo 5.

## **MODULO DE RUPTURA**

- El módulo de ruptura de los especímenes elaborados en la mezcla GC0-100 presentaron valores promedio de 36.5, 39.5 y 51 kg/ cm<sup>2</sup> a la edad de 3, 7 y 28 días respectivamente y la mezcla GC100-0 valores de 35.5 y 45.5 kg/cm<sup>2</sup> a la edad de 7 y 28 días respectivamente.
- El módulo de ruptura de los especímenes elaborados para las mezclas de agregado combinados presentaron valores promedio de 36, 39.5 y 48.5

kg/cm<sup>2</sup> para las mezclas GC40-60 y GC50-50; y de 35, 39 y 47.5 kg/cm<sup>2</sup> para la mezcla GC60-40 a la edad de 3, 7 y 28 días respectivamente.

- La mezcla GC0-100 presento una ganancia de resistencia del 72%, a la edad de 3 días, y del 77% a la edad de 7 días, con respecto a su resistencia a los 28 días.
- Las mezclas GC40-60 y GC50-50 presentaron una ganancia de resistencia del 74% a la edad de 3 días, y de 81% a la edad de 7 días; la mezcla GC60-40 del 74% a la edad de 3 días, y del 82% a la edad de 7 días, con respecto a su resistencia a los 28 días.
- La mezcla GC100-0 presento una ganancia de resistencia del 79% a la edad de 7 días, con respecto a su resistencia a los 28 días.
- Comparando los resultados de las combinaciones a 28 días con respecto a la mezcla patrón, las mezclas GC40-60 y GC50-50 presentaron una disminución de 5%, y la mezcla GC60-40 una disminución de 7%.
- La mezcla GC100-0 presento una disminución de 11% a la edad de 28 días, con respecto a la mezcla patrón.
- Las mezclas GC40-60 y GC50-50 obtuvieron el mayor módulo de ruptura y la menor disminución de resistencia con respecto a la mezcla patrón, con un valor de 48.5 kg/cm<sup>2</sup> a la edad de 28 días.

## TENSION POR PARTIDURA

- La resistencia a la tensión por partidura de los especímenes elaborados en la mezcla GC0-100 presentaron valores promedio de 30, 37 y 38.5 kg/cm<sup>2</sup>, y la mezcla GC100-0 valores de 26, 27.50 y 30 kg/cm<sup>2</sup> a la edad de 3, 7 y 28 días respectivamente.
- La resistencia a la tensión por partidura de los especímenes elaborados para las mezclas de agregado combinado presentaron valores promedio de 27.5, 33.5 y 35 kg/cm<sup>2</sup> para la mezcla GC40-60; de 29.5, 31 y 36.5 kg/cm<sup>2</sup> para la mezcla GC50-50; y 26.5, 29.5 y 33.5 kg/cm<sup>2</sup> para la mezcla GC60-40 a la edad de 3, 7 y 28 días respectivamente.
- La mezcla GC0-100 presento una ganancia de resistencia del 78%, a la edad de 3 días, y del 96% a la edad de 7 días, con respecto a su resistencia a los 28 días.
- La mezcla GC40-60 presento una ganancia de resistencia del 79% a la edad de 3 días, y del 96% a la edad de 7 días; la mezcla GC50-50 del 81% a la edad de 3 días, y del 85% a la edad de 7 días; y la mezcla GC60-40 del 79% a la edad de 3 días, y del 88% a la edad de 7 días, con respecto a su resistencia a los 28 días.
- La mezcla GC100-0 presento una ganancia de resistencia del 87%, a la edad de 3 días, y del 92% a la edad de 7 días, con respecto a su resistencia a los 28 días.
- Comparando los resultados de las combinaciones a 28 días con respecto a la mezcla patrón, la mezcla GC40-60 presenta una disminución de 11%,

la mezcla GC50-50 una disminución de 5% y la mezcla GC60-40 una disminución de 13%.

- La mezcla GC100-0 presento una disminución de 22% a la edad de 28 días, con respecto a la mezcla patrón.
- La mezcla GC50-50 presento el mayor valor de resistencia a la tensión por partidura y la menor disminución de resistencia con respecto a la mezcla patrón, con un valor de  $36.5 \text{ kg/cm}^2$  a la edad de 28 días.

### **MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO**

- El módulo de elasticidad estático de los especímenes elaborados a la edad de 28 días en la mezcla GC0-100, presentó un valor promedio de  $1.92 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ ; así mismo, el módulo de elasticidad estático obtenido en la mezcla GC100-0 promedió un valor de  $2.24 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ .
- El módulo de elasticidad estático de los especímenes elaborados a la edad de 28 días para las mezclas de agregado combinados presentaron valores promedio de  $2.26 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$  para la mezcla GC40-60;  $2.16 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$  para la mezcla GC50-50; y  $2.24 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$  para la mezcla GC60-40.
- La mezcla GC100-0 presento un aumento en el módulo de elasticidad estático de  $0.32 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ , con respecto a la mezcla patrón.
- La mezcla GC40-60 presento un aumento de  $0.34 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ ; la mezcla GC50-50 un aumento de  $0.24 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ ; y la mezcla GC60-40 un aumento de  $0.32 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ , con respecto a la mezcla patrón.

- En las mezclas que se empleó agregado combinado, se obtuvo un comportamiento mucho más elástico que el obtenido en la mezcla patrón, ya que los módulos de elasticidad estático son mayores. Siendo la mezcla GC40-60 la que presento el mayor valor de  $2.26 \times 10^5$  kg/cm<sup>2</sup>.

### **MÓDULO DE ELASTICIDAD DINAMICO**

- El módulo de elasticidad dinámico de los especímenes elaborados en la mezcla GC0-100 presentó un valor promedio de  $4.80 \times 10^5$  kg/cm<sup>2</sup>; así mismo, la mezcla GC100-0 promedio un valor de  $5.00 \times 10^5$  kg/cm<sup>2</sup>.
- El módulo de elasticidad dinámico de los especímenes elaborados para las mezclas de agregado combinado presentaron valores promedio de  $4.86 \times 10^5$  kg/cm<sup>2</sup> para la mezcla GC40-60;  $4.88 \times 10^5$  kg/cm<sup>2</sup> para la mezcla GC50-50; y  $4.82 \times 10^5$  kg/cm<sup>2</sup> para la mezcla GC60-40.
- La mezcla GC100-0 presento un aumento en el módulo de elasticidad dinámico de  $0.20 \times 10^5$  kg/cm<sup>2</sup> con respecto a la mezcla patrón, siendo esta la que presento el mayor valor.
- La mezcla GC40-60 presento un aumento de  $0.06 \times 10^5$  kg/cm<sup>2</sup>; la mezcla GC50-50 un aumento de  $0.08 \times 10^5$  kg/cm<sup>2</sup>; y la mezcla GC60-40 un aumento de  $0.02 \times 10^5$  kg/cm<sup>2</sup> con respecto a la mezcla patrón.
- De las combinaciones, la mezcla GC50-50 fue la que presento el comportamiento más elástico, con un valor de  $4.88 \times 10^5$  kg/cm<sup>2</sup>.

## **ANALISIS DE GRANULOMETRIA SHILSTONE**

- La mezcla GC0-100 está ubicada en la zona II y presento los mejores resultados en todas las propiedades mecánicas del concreto endurecido y la mezcla GC100-0 se ubica en la zona I, la cual mostro problemas de trabajabilidad y presento los resultados más bajos en todas las propiedades mecánicas del concreto endurecido.
- De las combinaciones la mezcla GC40-60 ubicada en la zona I, es la que más se aproxima a la zona II y la que presento los mejores resultados en las propiedades mecánicas del concreto endurecido.

## **CONCLUSIONES GENERALES**

- Al utilizar una mayor proporción de agregado de TMN 1 ½" en las combinaciones, se obtienen mayores pesos volumétricos y menor contenido de vacíos.
- Al utilizar una mayor proporción de agregado de TMN ¾" se obtienen resistencias más elevadas.
- En estado fresco, referente a las propiedades de revenimiento, peso volumétrico y contenido de aire, el mejor comportamiento se obtuvo en la mezcla GC60-40.
- En estado endurecido, referente a las propiedades de resistencia a la compresión y módulo de ruptura, el mejor comportamiento de las combinaciones, se obtuvo en la mezcla GC40-60.

- De las combinaciones la mezcla GC40-60 es la que obtuvo mayor porcentaje de ganancia de resistencia a la compresión.
- Al utilizar agregado combinado se mejoran las propiedades de resistencia a la compresión, módulo de ruptura, tensión por partidura, módulo de elasticidad estático y dinámico del concreto.

### **6.3 RECOMENDACIONES**

#### **CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS**

- Para obtener buenos resultados a la hora de realizar los diseños de mezclas, es recomendable realizar un estudio adecuado de las características de los agregados, una buena práctica para llevar acabo esto es realizar dos o tres repeticiones del mismo ensayo para obtener resultados más representativos.

#### **DISEÑO DE MEZCLAS BAJO LA METODOLOGIA ACI 211.1**

- Al diseñar con el método ACI 211.1 utilizando cemento 1157 tipo HE, se recomienda utilizar valores de sobrediseño por debajo de los recomendados por el comité, cuando no se tienen datos estadísticos.

#### **CONCRETO EN ESTADO FRESCO**

- Para mejorar la trabajabilidad del concreto, se recomienda utilizar agregados que presenten una granulometría con pendiente más suave.

## **CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO**

- En investigaciones donde se pretenda evaluar la resistencia a la compresión, es recomendable utilizar la técnica de refrentado, en lugar de placas no adheribles, de modo que los esfuerzos tengan una distribución más uniforme durante la aplicación de la carga.
- Para evaluar la resistencia a la compresión y módulo de ruptura en el concreto, utilizando granulometrías combinadas, se recomienda utilizar una proporción de 40% de agregado de TMN 1 ½" y 60% de agregado de TMN ¾".
- Para evaluar la resistencia a la tensión por partidura, se recomienda utilizar una proporción de 50% de agregado de TMN 1 ½" y 50% de agregado de TMN ¾".
- Para aumentar el módulo de elasticidad estático y dinámico, se recomienda utilizar agregado combinado.
- Utilizar mezclas con agregados combinados que caigan cerca o dentro de la zona II según la gráfica de granulometrías Shilstone.

## **RECOMENDACIONES GENERALES**

- Se recomienda utilizar el cemento ASTM 1157 TIPO HE en pavimentos, ya que se obtienen resistencias altas a edades tempranas.

- Se recomienda realizar una investigación utilizando agregado grueso de menor Tamaño Maximo Nominal combinado con la granulometría de TMN  $\frac{3}{4}$ ".
- Se recomienda desarrollar una investigación de granulometrías combinadas que incluya los ensayos de coeficiente de contracción y expansión, además de los realizados en este trabajo de graduación con el objeto de evaluar el efecto sobre estas características.
- A las plantas de producción de agregados, se recomienda la elaboración de granulometrías con una mayor variación de tamaños de partículas, ya que actualmente se producen granulometrías con poca variación de tamaños.

**REFERENCIAS  
BIBLIOGRAFICAS**

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

### LIBROS DE TEXTO

- Comisión Federal de Electricidad, “Manual de Tecnología del Concreto”, Sección 1, Edición 1994.
- Comisión Federal de Electricidad, “Manual de Tecnología del Concreto”, Sección 2, Edición 1994.
- Comisión Federal de Electricidad, “Manual de Tecnología del Concreto”, Sección 3, Edición 1994.
- Comisión Federal de Electricidad, “Manual de Tecnología del Concreto”, Sección 4, Edición 1994.
- Hernan Zabaleta G. “Compendio de tecnología del hormigón”, Instituto Chileno del cemento y del concreto.
- Orlando Giraldo Bolivar I.C. “Manual de agregados para el hormigón”, Universidad Nacional de Colombia.
- Steve H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, William C. Panarece, y Jussara Tanesi, “Diseño y control de mezclas de concreto”, Portland Cement Association (PCA).

## TRABAJOS DE GRADUACION

- Arias Cisneros, Burgos Rivera y Carranza Cisneros: “Determinación del comportamiento del concreto en estado fresco y endurecido, utilizando arena natural, arena lavada industrialmente y la combinación de las mismas”; Trabajo de graduación presentado para optar al grado de ingeniero civil en la Universidad de El Salvador (UES), San Salvador, El Salvador (2013).
- Díaz Gil, Granadeño Ramos y Santos Avelar: “Evaluación y comparación de módulos de Ruptura para mezclas de concreto Hidráulico utilizados en pavimentos rígidos aplicando granulometría Fuller y Shilstone; Trabajo de graduación presentado para optar al grado de ingeniero civil en la Universidad de El Salvador (UES), San Salvador, El Salvador (2013).
- Juan Carlos Reina Cardoza y otros, “Influencia de la tasa de aditivo superplastificante, en las propiedades del concreto de alta resistencia en estado fresco y endurecido” Trabajo de graduación presentado para optar al grado de ingeniero civil en la Universidad de El Salvador (UES), San Salvador, El Salvador (2010).
- Merlín Olimpia Baños Sánchez y otros, “Evaluación y comparación de la resistencia a la compresión de una mezcla de concreto compactado con rodillo, utilizando para la elaboración de especímenes la mesa vibratoria de acuerdo a la norma ASTM C-1176 y el martillo vibrocompactador de acuerdo a la norma ASTM C-1435” Trabajo de graduación presentado para optar al grado de ingeniero civil en la Universidad de El Salvador (UES), San Salvador, El Salvador (2012).

- Rugamas Dinarte: “Influencia de la arena triturada, como agregado fino, en las propiedades en estado fresco y endurecido, de mezclas 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 (2012).

## **COMITÉS**

- ACI 211.1-91: “Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight and Mass Concrete”. (2002).

## **NORMAS**

- ASTM Designation: C 39/C 39M-05  
Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.
- ASTM Designation: C 78/C 78M-10  
Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading).
- ASTM Designation: C 496/C 496M-11  
Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens.
- ASTM Designation: C 469/C 469M-10  
Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson’s Ratio of Concrete in Compression.

- ASTM Designation: C 597-09  
Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete.
- ASTM Designation: C 1064/C 1064M-08  
Standard Test Method for Temperature of Freshly Mixed Hydraulic-Cement Concrete.
- ASTM Designation: C 192/C 192M-07  
Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory.
- ASTM Designation: C172-04  
Standard Practice for Sampling Freshly Mixed Concrete.
- ASTM Designation: C143/C143M-05  
Standard Test Method for Slump of Hydraulic Cement Concrete.
- ASTM Designation: C138 / C138M – 08  
Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete

## **OTRAS FUENTES**

- Ingra. Lesly E. Mendoza; Folletos de Clases de “Tecnología del Concreto”; Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador. (2013).

# ANEXOS

## ANEXO A: HOJAS DE CARACTERIZACION DE AGREGADO FINO

Ensayo granulométrico de agregado fino: Arena lavada (ensayo 1)



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**  
**"FUNDACION ISCYC"**



Proyecto: EVALUACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE DISEÑOS DE MEZCLA DE CONCRETO HIDRAULICO EMPLEANDO GRANULOMETRIAS COMBINADAS.

Ubicación:	<b>Universidad de El Salvador, Escuela de ingeniería Civil.</b>	Reporte N°:	<b>1</b>
procedencia:	<b>La Cantera S.A.</b>	Hoja N°:	<b>1</b>
Ensayo N°:	<b>1</b>	Fecha:	abr-15
Muestra N°:	<b>1</b>		

### ENSAYO GRANULOMETRICO DEL AGREGADO FINO (ASTM C-136)

Peso inicial: 400.90 g

MALLA	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO			% ACUMULADO QUE PASA
			PARCIAL		ACUMULADO	
3/8"	9.52	0.00	0.00	0	0	100
# 4	4.75	15.20	3.79	4	4	96
# 8	2.36	35.80	8.93	9	13	87
# 16	1.18	52.10	13.00	13	26	74
# 30	0.6	96.20	24.00	24	50	50
# 50	0.3	115.20	28.74	29	78	22
# 100	0.15	60.30	15.04	15	93	7
Fondo		26.10	6.51	7	100	0
	Total	400.90	100.00			

Observaciones: Módulo de Finura: 2.64

Ensayo granulométrico de agregado fino: Arena lavada (ensayo 2)



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**  
**"FUNDACION ISCYC"**



Proyecto: EVALUACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE DISEÑOS DE MEZCLA DE CONCRETO HIDRAULICO EMPLEANDO GRANULOMETRIAS COMBINADAS.

Ubicación: Universidad de El Salvador, Escuela de ingeniería Civil. Reporte N°: 1  
 procedencia: La Cantera S.A. Hoja N°: 1  
 Ensayo N°: 2 Fecha: abr-15  
 Muestra N°: 1

**ENSAYO GRANULOMETRICO DEL**  
**AGREGADO FINO**  
**(ASTM C-136)**

Peso inicial: 437.20 g

MALLA	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO		% ACUMULADO QUE PASA	
			PARCIAL	ACUMULADO		
3/8"	9.52	0.00	0.00	0	0	100
# 4	4.75	13.70	3.13	3	3	97
# 8	2.36	37.60	8.60	9	12	88
# 16	1.18	57.70	13.20	13	25	75
# 30	0.6	106.00	24.25	24	49	51
# 50	0.3	127.40	29.14	29	78	22
# 100	0.15	70.50	16.13	16	94	6
Fondo		24.30	5.56	6	100	0
	Total	437.20	100.00			

Observaciones: Módulo de Finura: 2.62

Ensayo de peso volumétrico suelto de agregado fino: Arena lavada.



Universidad de El Salvador  
*Hacia la libertad por la cultura*

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**  
**"FUNDACION ISCYC"**



Proyecto: EVALUACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE DISEÑOS DE MEZCLA DE CONCRETO HIDRAULICO EMPLEANDO GRANULOMETRIAS COMBINADAS.

Ubicación:	<b>Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil.</b>	Reporte N°:	<b>1</b>
Procedencia:	<b>La Cantera S.A.</b>	Hoja N°:	<b>1</b>
Ensayo N°:	<b>1,2,3</b>	Fecha:	<b>abr-15</b>
Muestra N°:	<b>1</b>		

**DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMETRICO SUELTO**  
**(ASTM C-29)**

Material: Arena lavada

Numero de Ensayo	No. 1	No. 2	No. 3
Peso de medidor vacío (kg)	1.73	1.73	1.73
Peso de medidor con muestra (kg)	5.79	5.80	5.80
Volumen del medidor (m <sup>3</sup> )	0.00284	0.00284	0.00284
Densidad Bulk (kg/m <sup>3</sup> )	1430	1440	1440
Porcentaje de absorción (%)	3.30	3.30	3.30
Densidad Bulk (SSS) (kg/m <sup>3</sup> )	1480	1480	1480
Gravedad Especifica	2.40	2.40	2.40
Densidad del Agua (kg/m <sup>3</sup> )	998	998	998
Contenido de vacíos (%)	40	40	40

Observaciones: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Ensayo de peso volumétrico varillado de agregado fino: Arena lavada.



Universidad de El Salvador  
*Hacia la libertad por la cultura*

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
"FUNDACION ISCYC"**



Proyecto: EVALUACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE DISEÑOS DE MEZCLA DE CONCRETO HIDRAULICO EMPLEANDO GRANULOMETRIAS COMBINADAS.

Ubicación: **Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil.**

Reporte  
Nº: **1**

Procedencia: **La Cantera S.A.**

Hoja Nº: **1**

Ensayo Nº: **1,2,3**

Fecha: **abr-15**

Muestra Nº: **1**

**DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMETRICO VARILLADO  
(ASTM C-29)**

Material: Arena lavada

Numero de Ensayo	No. 1	No. 2	No. 3
Peso de medidor vacío (kg)	1.73	1.73	1.73
Peso de medidor con muestra (kg)	6.03	6.00	6.00
Volumen del medidor (m3)	0.00284	0.00284	0.00284
Densidad Bulk (kg/m3)	1520	1500	1510
Porcentaje de absorción (%)	3.30	3.30	3.30
Densidad Bulk (SSS) (kg/m3)	1570	1550	1560
Gravedad Especifica	2.40	2.40	2.40
Densidad del Agua (kg/m3)	998	998	998
Contenido de vacíos (%)	37	37	37

Observaciones: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Ensayo de gravedad específica y absorción de agregado fino: Arena lavada.



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**  
**"FUNDACION ISCYC"**



Proyecto: EVALUACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE DISEÑOS DE MEZCLA DE CONCRETO HIDRAULICO EMPLEANDO GRANULOMETRIAS COMBINADAS.

Ubicación:	<b>Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil.</b>	Reporte N°:	<b>1</b>
Procedencia:	<b>Rio Tihuapa.</b>	Hoja N°:	<b>1</b>
Ensayo N°:	<b>1,2</b>	Fecha:	<b>abr-15</b>
Muestra N°:	<b>1</b>		

**DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCIÓN  
DEL AGREGADO FINO (ASTM C-128)  
ARENA LAVADA**

Numero de Ensayo	No. 1	No. 2
Picnómetro N°	1	1
Peso del picnómetro + agua (g)	1441.70	1441.70
Peso de la muestra saturada superficialmente seca (g)	501.80	501.80
Peso del picnómetro + agua + muestra (g)	1740.10	1741.70
Peso de la muestra secada en horno (g)	486.30	485.20
Peso de agua (g)	15.5	16.6
Gravedad Especifica (SH)	2.39	2.40
Gravedad Especifica (SSS)	2.47	2.49
Gravedad Especifica Aparente	2.59	2.62
Densidad (SH) (kg/m <sup>3</sup> )	2390	2400
Densidad (SSS) (kg/m <sup>3</sup> )	2460	2480
Densidad Aparente (kg/m <sup>3</sup> )	2580	2600
Absorción (%)	3.19	3.42
Absorción Promedio (%)	3.3	
Gravedad Especifica Promedio (SH)	2.40	

Observaciones: \_\_\_\_\_

Ensayo de impurezas orgánicas en el agregado fino: Arena lavada.



Universidad de El Salvador  
*Hacia la libertad por la cultura*

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**  
**"FUNDACION ISCYC"**



Proyecto: EVALUACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE DISEÑOS DE MEZCLA DE CONCRETO HIDRAULICO EMPLEANDO GRANULOMETRIAS COMBINADAS.

Ubicación:	<b>Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil.</b>	Reporte N°:	<b>1</b>
Procedencia:	<b>Rio Tiguapa.</b>	Hoja N°:	<b>1</b>
Ensayo N°:	<b>1,2</b>	Fecha:	<b>may-15</b>
Muestra N°:	<b>1</b>		

**DETERMINACIÓN DE IMPUREZAS ORGANICAS EN EL AGREGADO FINO (ASTM C-40)**

Material: Arena lavada



Observaciones: Las muestras presentan un color ligeramente más claro que el color número 2 de la escala colorimétrica de Gardner.

## ANEXO B: HOJAS DE CARACTERIZACION DE AGREGADO GRUESO

Ensayo granulométrico de agregado grueso: Grava ¾" (ensayo 1)



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**  
**"FUNDACION ISCYC"**



Proyecto: EVALUACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE DISEÑOS DE MEZCLA DE CONCRETO HIDRAULICO EMPLEANDO GRANULOMETRIAS COMBINADAS.

Ubicación: Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil. Reporte N°: 1  
 Procedencia: La Cantera S.A. Hoja N°: 1  
 Ensayo N°: 1 Fecha: abr-15  
 Muestra N°: 1

### ENSAYO GRANULOMETRICO DEL AGREGADO GRUESO (ASTM C-136)

Peso inicial: 5533.00 g                      TMN: 3/4"

MALLA	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO		% ACUMULADO QUE PASA
			PARCIAL	ACUMULADO	
1"	25	0	0.00	0	100
3/4"	19	407	7.36	7	93
1/2"	12.5	2819	50.95	51	42
3/8"	9.5	1251	22.61	23	19
N° 4	4.75	1010	18.25	18	1
N°8	2.36	37	0.67	1	0
Fondo		9	0.16	0	0
	Total	5533	100.00		

Observaciones: En la malla 3/8" no paso el porcentaje requerido en la norma  
ASTM C-33 es por eso que ese punto cae fuera del límite establecido.

Ensayo granulométrico de agregado grueso: Grava ¾" (ensayo 2)



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**  
**"FUNDACION ISCYC"**



Proyecto: EVALUACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE DISEÑOS DE MEZCLA DE CONCRETO HIDRAULICO EMPLEANDO GRANULOMETRIAS COMBINADAS.

Ubicación: Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil. Reporte N°: 1  
 Procedencia: La Cantera S.A. Hoja N°: 1  
 Ensayo N°: 2 Fecha: abr-15  
 Muestra N°: 1

**ENSAYO GRANULOMETRICO DEL  
 AGREGADO GRUESO  
 (ASTM C-136)**

Peso inicial: 5333.00 g TMN: ¾"

MALLA	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO		% ACUMULADO QUE PASA
			PARCIAL	ACUMULADO	
1"	25	0	0.00	0	100
¾"	19	183	3.43	3	97
½"	12.5	2770	51.94	52	45
⅜"	9.5	1215	22.78	23	22
N° 4	4.75	1104	20.70	21	1
N°8	2.36	42	0.79	1	0
Fondo		19	0.36	0	0
	Total	5333	100.00		

Observaciones: El punto en la malla 1/2" cae fuera de la curva granulométrica pero la Granulometría N° 67 no especifica ningún rango para esta malla.

Ensayo granulométrico de agregado grueso: Grava 1 1/2" (ensayo 1)



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**  
**"FUNDACION ISCYC"**



Proyecto: EVALUACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE DISEÑOS DE MEZCLA DE CONCRETO HIDRAULICO EMPLEANDO GRANULOMETRIAS COMBINADAS.

Ubicación: Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil. Reporte N°: 1  
 Procedencia: La Cantera S.A. Hoja N°: 1  
 Ensayo N°: 1 Fecha: abr-15  
 Muestra N°: 1

**ENSAYO GRANULOMETRICO DEL**  
**AGREGADO GRUESO**  
**(ASTM C-136)**

Peso inicial: 15176.00 g                      TMN: 1 1/2"

MALLA	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO		% ACUMULADO QUE PASA
			PARCIAL	ACUMULADO	
2"	50	0	0.00	0	100
1 1/2"	37.5	224	1.48	1	99
1"	25	7661	50.48	51	48
3/4"	19	5956	39.25	39	9
1/2"	12.5	1277	8.41	8	0
3/8"	9.5	24	0.16	0	0
N° 4	4.75	10	0.07	0	0
Fondo		24	0.16	0	0
	Total	15176	100.00		

Observaciones: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Ensayo granulométrico de agregado grueso: Grava 1 1/2" (ensayo 2)



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**  
**"FUNDACION ISCYC"**



Proyecto: EVALUACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE DISEÑOS DE MEZCLA DE CONCRETO HIDRAULICO EMPLEANDO GRANULOMETRIAS COMBINADAS.

Ubicación: **Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil.** Reporte N°: **1**  
 Procedencia: **La Cantera S.A.** Hoja N°: **1**  
 Ensayo N°: **2** Fecha: **abr-15**  
 Muestra N°: **1**

**ENSAYO GRANULOMETRICO DEL**  
**AGREGADO GRUESO**  
**(ASTM C-136)**

Peso inicial: 15646.00 g                      TMN: 1 1/2"

MALLA	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO		% ACUMULADO QUE PASA
			PARCIAL	ACUMULADO	
2"	50	0	0.00	0	100
1 1/2"	37.5	421	2.69	3	97
1"	25	7500	47.94	48	49
3/4"	19	6521	41.68	42	8
1/2"	12.5	1120	7.16	7	1
3/8"	9.5	44	0.28	0	0
N° 4	4.75	17	0.11	0	0
Fondo		23	0.15	0	0
	Total	15646	100.00		

Observaciones: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Ensayo granulométrico de agregado grueso: Combinación 40-60 (ensayo 1)



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**  
**"FUNDACION ISCYC"**



Proyecto: EVALUACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE DISEÑOS DE MEZCLA DE CONCRETO HIDRAULICO EMPLEANDO GRANULOMETRIAS COMBINADAS.

Ubicación: Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil. Reporte N°: 1  
 Procedencia: La Cantera S.A. Hoja N°: 1  
 Ensayo N°: 1 Fecha: may-15  
 Muestra N°: 1

**ENSAYO GRANULOMETRICO DEL AGREGADO GRUESO**  
**(COMBINACION 40-60)**  
**(ASTM C-136)**

Peso inicial: 15821 g                      TMN: 1 1/2"

MALLA	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO		% ACUMULADO QUE PASA
			PARCIAL	ACUMULADO	
2"	50	0	0.00	0	100
1 1/2"	37.5	183	1.16	1	99
1"	25	3187	20.14	20	79
3/4"	19	3370	21.30	21	57
1/2"	12.5	5165	32.65	33	25
3/8"	9.5	1809	11.43	11	13
N° 4	4.75	1983	12.53	13	1
Fondo		124	0.78	1	0
	Total	15821.00			

Observaciones: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Ensayo granulométrico de agregado grueso: Combinación 40-60 (ensayo 2)



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**  
**"FUNDACION ISCYC"**



Proyecto: EVALUACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE DISEÑOS DE MEZCLA DE CONCRETO HIDRAULICO EMPLEANDO GRANULOMETRIAS COMBINADAS.

Ubicación: Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil. Reporte N°: 1  
 Procedencia: La Cantera S.A. Hoja N°: 1  
 Ensayo N°: 2 Fecha: may-15  
 Muestra N°: 1

**ENSAYO GRANULOMETRICO DEL AGREGADO GRUESO**  
**(COMBINACION 40-60)**  
**(ASTM C-136)**

Peso inicial: 15467 g                      TMN: 1 1/2"

MALLA	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO		% ACUMULADO QUE PASA
			PARCIAL	ACUMULADO	
2"	50	0	0.00	0	100
1 1/2"	37.5	166	1.07	1	99
1"	25	2600	16.81	17	82
3/4"	19	3454	22.33	22	60
1/2"	12.5	5171	33.43	33	26
3/8"	9.5	1811	11.71	12	15
N° 4	4.75	2113	13.66	14	1
Fondo		152	0.98	1	0
	Total	15467.00			

Observaciones: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Ensayo granulométrico de agregado grueso: Combinación 50-50 (ensayo 1)



Universidad de El Salvador  
Hacia la libertad por la cultura

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**  
**"FUNDACION ISCYC"**



Proyecto: EVALUACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE DISEÑOS DE MEZCLA DE CONCRETO HIDRAULICO EMPLEANDO GRANULOMETRIAS COMBINADAS.

Ubicación: Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil. Reporte N°: 1  
 Procedencia: La Cantera S.A. Hoja N°: 1  
 Ensayo N°: 1 Fecha: may-15  
 Muestra N°: 1

**ENSAYO GRANULOMETRICO DEL AGREGADO GRUESO**  
**(COMBINACION 50-50)**  
**(ASTM C-136)**

Peso inicial: 15448 g                      TMN: 1 1/2"

MALLA	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO		% ACUMULADO QUE PASA
			PARCIAL	ACUMULADO	
2"	50	0	0.00	0	100
1 1/2"	37.5	0	0.00	0	100
1"	25	4116	26.64	27	73
3/4"	19	3825	24.76	25	49
1/2"	12.5	4421	28.62	28	20
3/8"	9.5	1400	9.06	9	11
N° 4	4.75	1573	10.18	10	1
Fondo		113	0.73	1	0
	Total	15448.00			

Observaciones: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Ensayo granulométrico de agregado grueso: Combinación 50-50 (ensayo 2)



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**  
**"FUNDACION ISCYC"**



Proyecto: EVALUACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE DISEÑOS DE MEZCLA DE CONCRETO HIDRAULICO EMPLEANDO GRANULOMETRIAS COMBINADAS.

Ubicación: Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil. Reporte N°: 1  
 Procedencia: La Cantera S.A. Hoja N°: 1  
 Ensayo N°: 2 Fecha: may-15  
 Muestra N°: 1

**ENSAYO GRANULOMETRICO DEL AGREGADO GRUESO**  
**(COMBINACION 50-50)**  
**(ASTM C-136)**

Peso inicial: 16482 g                      TMN: 1 1/2"

MALLA	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO		% ACUMULADO QUE PASA
			PARCIAL	ACUMULADO	
2"	50	0	0.00	0	100
1 1/2"	37.5	66	0.40	0	100
1"	25	4223	25.62	26	74
3/4"	19	3760	22.81	23	51
1/2"	12.5	4838	29.35	29	22
3/8"	9.5	1695	10.28	10	12
N° 4	4.75	1802	10.93	11	1
Fondo		98	0.59	1	0
	Total	16482.00			

Observaciones: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Ensayo granulométrico de agregado grueso: Combinación 60-40 (ensayo 1)



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**  
**"FUNDACION ISCYC"**



Proyecto: EVALUACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE DISEÑOS DE MEZCLA DE CONCRETO HIDRAULICO EMPLEANDO GRANULOMETRIAS COMBINADAS.

Ubicación: Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil. Reporte N°: 1  
 Procedencia: La Cantera S.A. Hoja N°: 1  
 Ensayo N°: 1 Fecha: may-15  
 Muestra N°: 1

**ENSAYO GRANULOMETRICO DEL AGREGADO GRUESO**  
**(COMBINACION 60-40)**  
**(ASTM C-136)**

Peso inicial: 15911 g TMN: 1 1/2"

MALLA	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO		% ACUMULADO QUE PASA
			PARCIAL	ACUMULADO	
2"	50	0	0.00	0	100
1 1/2"	37.5	0	0.00	0	100
1"	25	4521	28.41	28	72
3/4"	19	4460	28.03	28	44
1/2"	12.5	3911	24.58	25	19
3/8"	9.5	1353	8.50	9	10
N° 4	4.75	1519	9.55	9	1
Fondo		147	0.92	1	0
	Total	15911.00			

Observaciones: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Ensayo granulométrico de agregado grueso: Combinación 60-40 (ensayo 2)



Universidad de El Salvador  
Hacia la libertad por la cultura

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**  
**"FUNDACION ISCYC"**



Proyecto: EVALUACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE DISEÑOS DE MEZCLA DE CONCRETO HIDRAULICO EMPLEANDO GRANULOMETRIAS COMBINADAS.

Ubicación: Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil. Reporte N°: 1  
 Procedencia: La Cantera S.A. Hoja N°: 1  
 Ensayo N°: 2 Fecha: may-15  
 Muestra N°: 1

**ENSAYO GRANULOMETRICO DEL AGREGADO GRUESO**  
**(COMBINACION 60-40)**  
**(ASTM C-136)**

Peso inicial: 16892 g                      TMN: 1 1/2"

MALLA	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO		% ACUMULADO QUE PASA
			PARCIAL	ACUMULADO	
2"	50	0	0.00	0	100
1 1/2"	37.5	304.00	1.80	2	98
1"	25	4827	28.58	28	70
3/4"	19	4727	27.98	28	42
1/2"	12.5	4293	25.41	25	16
3/8"	9.5	1361	8.06	8	8
N° 4	4.75	1285	7.61	8	1
Fondo		95	0.56	1	0
	Total	16892.00			

Observaciones: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Ensayo de peso volumétrico suelto del agregado grueso: Grava ¾"



Universidad de El Salvador  
*Aplica la libertad por la cultura*

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**  
**"FUNDACION ISCYC"**



Proyecto: EVALUACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE DISEÑOS DE MEZCLA DE CONCRETO HIDRAULICO EMPLEANDO GRANULOMETRIAS COMBINADAS.

Ubicación:	<b>Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil.</b>	Reporte N°:	<b>1</b>
Procedencia:	<b>La Cantera S.A.</b>	Hoja N°:	<b>1</b>
Ensayo N°:	<b>1,2,3</b>	Fecha:	<b>abr-15</b>
Muestra N°:	<b>1</b>		

**DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMETRICO SUELTO**  
**(ASTM C-29)**

Material: Grava 3/4"

Numero de Ensayo	No. 1	No. 2	No. 3
Peso de medidor vacío (kg)	5.43	5.43	5.43
Peso de medidor con muestra (kg)	17.97	17.66	18.06
Volumen del medidor (m3)	0.00943	0.00943	0.00943
Densidad Bulk (kg/m3)	1330	1300	1340
Porcentaje de absorción (%)	0.70	0.70	0.70
Densidad Bulk (SSS) (kg/m3)	1340	1310	1350
Gravedad Especifica	2.57	2.57	2.57
Densidad del Agua (kg/m3)	998	998	998
Contenido de vacíos (%)	48	49	48

Observaciones: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Ensayo de peso volumétrico varillado del agregado grueso: Grava ¾"



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**  
**"FUNDACION ISCYC"**



Proyecto: EVALUACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE DISEÑOS DE MEZCLA DE CONCRETO HIDRAULICO EMPLEANDO GRANULOMETRIAS COMBINADAS.

Ubicación: Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil. Reporte N°: 1  
 Procedencia: La Cantera S.A. Hoja N°: 1  
 Ensayo N°: 1,2,3 Fecha: abr-15  
 Muestra N°: 1

**DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMETRICO VARILLADO**  
**(ASTM C-29)**

Material: Grava 3/4"

Numero de Ensayo	No. 1	No. 2	No. 3
Peso de medidor vacío (kg)	5.43	5.43	5.43
Peso de medidor con muestra (kg)	18.93	18.99	18.91
Volumen del medidor (m3)	0.00943	0.00943	0.00943
Densidad Bulk (kg/m3)	1430	1440	1430
Porcentaje de absorción (%)	0.70	0.70	0.70
Densidad Bulk (SSS) (kg/m3)	1440	1450	1440
Gravedad Especifica	2.57	2.57	2.57
Densidad del Agua (kg/m3)	998	998	998
Contenido de vacíos (%)	44	44	44

Observaciones: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Ensayo de peso volumétrico suelto del agregado grueso: Grava 1 ½"



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**  
**"FUNDACION ISCYC"**



Proyecto: EVALUACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE DISEÑOS DE MEZCLA DE CONCRETO HIDRAULICO EMPLEANDO GRANULOMETRIAS COMBINADAS.

Ubicación: **Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil.**

Reporte  
Nº: **1**

Procedencia: **La Cantera S.A.**

Hoja Nº: **1**

Ensayo Nº: **1,2,3**

Fecha: **abr-15**

Muestra Nº: **1**

**DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMETRICO SUELTO**  
**(ASTM C-29)**

Material: Grava 1 1/2"

Numero de Ensayo	No. 1	No. 2	No. 3
Peso de medidor vacío (kg)	6.00	6.00	6.00
Peso de medidor con muestra (kg)	26.10	25.80	25.70
Volumen del medidor (m3)	0.01395	0.01395	0.01395
Densidad Bulk (kg/m3)	1440	1420	1410
Porcentaje de absorción (%)	1.00	1.00	1.00
Densidad Bulk (SSS) (kg/m3)	1460	1430	1430
Gravedad Especifica	2.56	2.56	2.56
Densidad del Agua (kg/m3)	998	998	998
Contenido de vacíos (%)	44	44	45

Observaciones: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Ensayo de peso volumétrico varillado del agregado grueso: Grava 1 ½"



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**  
**"FUNDACION ISCYC"**



Proyecto: EVALUACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE DISEÑOS DE MEZCLA DE CONCRETO HIDRAULICO EMPLEANDO GRANULOMETRIAS COMBINADAS.

Ubicación:	<b>Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil.</b>	Reporte N°:	<b>1</b>
Procedencia:	<b>La Cantera S.A.</b>	Hoja N°:	<b>1</b>
Ensayo N°:	<b>1,2,3</b>	Fecha:	<b>abr-15</b>
Muestra N°:	<b>1</b>		

**DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMETRICO VARILLADO**  
**(ASTM C-29)**

Material: Grava 1 1/2"

Numero de Ensayo	No. 1	No. 2	No. 3
Peso de medidor vacío (kg)	6.00	6.00	6.00
Peso de medidor con muestra (kg)	27.10	27.00	27.20
Volumen del medidor (m3)	0.01395	0.01395	0.01395
Densidad Bulk (kg/m3)	1510	1510	1520
Porcentaje de absorción (%)	1.00	1.00	1.00
Densidad Bulk (SSS) (kg/m3)	1530	1520	1540
Gravedad Especifica	2.56	2.56	2.56
Densidad del Agua (kg/m3)	998	998	998
Contenido de vacíos (%)	41	41	41

Observaciones: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Ensayo de peso volumétrico suelto del agregado grueso: Combinación 40-60



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**  
**"FUNDACION ISCYC"**



Proyecto: EVALUACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE DISEÑOS DE MEZCLA DE CONCRETO HIDRAULICO EMPLEANDO GRANULOMETRIAS COMBINADAS.

Ubicación:	<b>Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil.</b>	Reporte N°:	<b>1</b>
Procedencia:	<b>La Cantera S.A.</b>	Hoja N°:	<b>1</b>
Ensayo N°:	<b>1,2,3</b>	Fecha:	<b>may-15</b>
Muestra N°:	<b>1</b>		

**DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMETRICO SUELTO**  
**COMBINACION 40-60**  
**(ASTM C-29)**

Material: Grava 1 1/2"

Numero de Ensayo	No. 1	No. 2	No. 3
Peso de medidor vacío (kg)	6.00	6.00	6.00
Peso de medidor con muestra (kg)	26.30	26.30	26.20
Volumen del medidor (m3)	0.01395	0.01395	0.01395
Densidad Bulk (kg/m3)	1450	1460	1450
Porcentaje de absorción (%)	1.00	1.00	1.00
Densidad Bulk (SSS) (kg/m3)	1470	1470	1460
Gravedad Especifica	2.56	2.56	2.56
Densidad del Agua (kg/m3)	998	998	998
Contenido de vacíos (%)	43	43	43

Observaciones: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Ensayo de peso volumétrico varillado del agregado grueso: Combinación 40-60



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**  
**"FUNDACION ISCYC"**



Proyecto: EVALUACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE DISEÑOS DE MEZCLA DE CONCRETO HIDRAULICO EMPLEANDO GRANULOMETRIAS COMBINADAS.

Ubicación:	<b>Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil.</b>	Reporte N°:	<b>1</b>
Procedencia:	<b>La Cantera S.A.</b>	Hoja N°:	<b>1</b>
Ensayo N°:	<b>1,2,3</b>	Fecha:	<b>may-15</b>
Muestra N°:	<b>1</b>		

**DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMETRICO VARILLADO**  
**COMBINACION 40-60**  
**(ASTM C-29)**

Material: Grava 1 1/2"

Numero de Ensayo	No. 1	No. 2	No. 3
Peso de medidor vacío (kg)	6.00	6.00	6.00
Peso de medidor con muestra (kg)	27.40	27.20	27.30
Volumen del medidor (m3)	0.01395	0.01395	0.01395
Densidad Bulk (kg/m3)	1530	1520	1530
Porcentaje de absorción (%)	1.00	1.00	1.00
Densidad Bulk (SSS) (kg/m3)	1550	1540	1540
Gravedad Especifica	2.56	2.56	2.56
Densidad del Agua (kg/m3)	998	998	998
Contenido de vacíos (%)	40	41	40

Observaciones: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Ensayo de peso volumétrico suelto del agregado grueso: Combinación 50-50



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**  
**"FUNDACION ISCYC"**



Proyecto: EVALUACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE DISEÑOS DE MEZCLA DE CONCRETO HIDRAULICO EMPLEANDO GRANULOMETRIAS COMBINADAS.

Ubicación:	<b>Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil.</b>	Reporte N°:	<b>1</b>
Procedencia:	<b>La Cantera S.A.</b>	Hoja N°:	<b>1</b>
Ensayo N°:	<b>1,2,3</b>	Fecha:	<b>may-15</b>
Muestra N°:	<b>1</b>		

**DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMETRICO SUELTO**  
**COMBINACION 50-50**  
**(ASTM C-29)**

Material: Grava 1 1/2"

Numero de Ensayo	No. 1	No. 2	No. 3
Peso de medidor vacío (kg)	6.00	6.00	6.00
Peso de medidor con muestra (kg)	26.40	26.30	26.30
Volumen del medidor (m3)	0.01395	0.01395	0.01395
Densidad Bulk (kg/m3)	1460	1460	1460
Porcentaje de absorción (%)	1.00	1.00	1.00
Densidad Bulk (SSS) (kg/m3)	1480	1470	1470
Gravedad Especifica	2.56	2.56	2.56
Densidad del Agua (kg/m3)	998	998	998
Contenido de vacíos (%)	43	43	43

Observaciones: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Ensayo de peso volumétrico varillado del agregado grueso: Combinación 50-50



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**



**"FUNDACION ISCYC"**

Proyecto: EVALUACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE DISEÑOS DE MEZCLA DE CONCRETO HIDRAULICO EMPLEANDO GRANULOMETRIAS COMBINADAS.

Ubicación:	<b>Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil.</b>	Reporte N°:	<b>1</b>
Procedencia:	<b>La Cantera S.A.</b>	Hoja N°:	<b>1</b>
Ensayo N°:	<b>1,2,3</b>	Fecha:	<b>may-15</b>
Muestra N°:	<b>1</b>		

**DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMETRICO VARILLADO**  
**COMBINACION 50-50**  
**(ASTM C-29)**

Material: Grava 1 1/2"

Numero de Ensayo	No. 1	No. 2	No. 3
Peso de medidor vacío (kg)	6.00	6.00	6.00
Peso de medidor con muestra (kg)	27.40	27.50	27.60
Volumen del medidor (m3)	0.01395	0.01395	0.01395
Densidad Bulk (kg/m3)	1530	1540	1550
Porcentaje de absorción (%)	1.00	1.00	1.00
Densidad Bulk (SSS) (kg/m3)	1550	1560	1560
Gravedad Especifica	2.56	2.56	2.56
Densidad del Agua (kg/m3)	998	998	998
Contenido de vacíos (%)	40	40	39

Observaciones: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Ensayo de peso volumétrico suelto del agregado grueso: Combinación 60-40



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**  
**"FUNDACION ISCYC"**



Proyecto: EVALUACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE DISEÑOS DE MEZCLA DE CONCRETO HIDRAULICO EMPLEANDO GRANULOMETRIAS COMBINADAS.

Ubicación:	<b>Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil.</b>	Reporte N°:	<b>1</b>
Procedencia:	<b>La Cantera S.A.</b>	Hoja N°:	<b>1</b>
Ensayo N°:	<b>1,2,3</b>	Fecha:	<b>may-15</b>
Muestra N°:	<b>1</b>		

**DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMETRICO SUELTO**  
**COMBINACION 60-40**  
**(ASTM C-29)**

Material: Grava 1 1/2"

Numero de Ensayo	No. 1	No. 2	No. 3
Peso de medidor vacío (kg)	6.00	6.00	6.00
Peso de medidor con muestra (kg)	26.60	26.50	26.70
Volumen del medidor (m3)	0.01395	0.01395	0.01395
Densidad Bulk (kg/m3)	1480	1470	1480
Porcentaje de absorción (%)	1.00	1.00	1.00
Densidad Bulk (SSS) (kg/m3)	1490	1480	1500
Gravedad Especifica	2.56	2.56	2.56
Densidad del Agua (kg/m3)	998	998	998
Contenido de vacíos (%)	42	42	42

Observaciones: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Ensayo de peso volumétrico varillado del agregado grueso: Combinación 60-40



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**  
**"FUNDACION ISCYC"**



Proyecto: EVALUACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE DISEÑOS DE MEZCLA DE CONCRETO HIDRAULICO EMPLEANDO GRANULOMETRIAS COMBINADAS.

Ubicación:	<b>Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil.</b>	Reporte N°:	<b>1</b>
Procedencia:	<b>La Cantera S.A.</b>	Hoja N°:	<b>1</b>
Ensayo N°:	<b>1,2,3</b>	Fecha:	<b>may-15</b>
Muestra N°:	<b>1</b>		

**DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMETRICO VARILLADO**  
**COMBINACION 60-40**  
**(ASTM C-29)**

Material: Grava 1 1/2"

Numero de Ensayo	No. 1	No. 2	No. 3
Peso de medidor vacío (kg)	6.00	6.00	6.00
Peso de medidor con muestra (kg)	27.60	27.60	27.70
Volumen del medidor (m3)	0.01395	0.01395	0.01395
Densidad Bulk (kg/m3)	1550	1550	1560
Porcentaje de absorción (%)	1.00	1.00	1.00
Densidad Bulk (SSS) (kg/m3)	1560	1560	1570
Gravedad Especifica	2.56	2.56	2.56
Densidad del Agua (kg/m3)	998	998	998
Contenido de vacíos (%)	39	39	39

Observaciones: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Ensayo de gravedad específica y absorción del agregado grueso: Grava ¾"



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**  
**"FUNDACION ISCYC"**



Proyecto: EVALUACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE DISEÑOS DE MEZCLA DE CONCRETO HIDRAULICO EMPLEANDO GRANULOMETRIAS COMBINADAS.

Ubicación: Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil. Reporte N°: 1  
 Procedencia: La Cantera S.A. Hoja N°: 1  
 Ensayo N°: 1,2 Fecha: abr-15  
 Muestra N°: 1

**DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCIÓN**  
**DEL AGREGADO GRUESO (ASTM C-127)**  
**GRAVA 3/4"**

Numero de Ensayo	No. 1	No. 2
Peso de la muestra saturada superficialmente seca (kg)	3.145	3.209
Peso aparente de la muestra (kg)	1.931	1.967
Peso de agua desplazada (kg)	1.214	1.242
Peso de la muestra secada en horno (kg)	3.125	3.185
Gravedad Especifica (SH)	2.57	2.56
Gravedad Especifica (SSS)	2.59	2.58
Gravedad Especifica Aparente	2.62	2.61
Densidad (SH) (kg/m <sup>3</sup> )	2570	2560
Densidad (SSS) (kg/m <sup>3</sup> )	2580	2580
Densidad Aparente (kg/m <sup>3</sup> )	2610	2610
Absorción (%)	0.64	0.75
Absorción Promedio (%)	0.70	
Gravedad Especifica Promedio (SH)	2.57	

Observaciones: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Ensayo de gravedad específica y absorción del agregado grueso: Grava 1½"



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**  
**"FUNDACION ISCYC"**



Proyecto: EVALUACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE DISEÑOS DE MEZCLA DE CONCRETO HIDRAULICO EMPLEANDO GRANULOMETRIAS COMBINADAS.

Ubicación: Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil. Reporte N°: 1  
 Procedencia: La Cantera S.A. Hoja N°: 1  
 Ensayo N°: 1,2 Fecha: abr-15  
 Muestra N°: 1

**DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCIÓN**  
**DEL AGREGADO GRUESO (ASTM C-127)**  
**GRAVA 1 1/2"**

Numero de Ensayo	No. 1	No. 2
Peso de la muestra saturada superficialmente seca (kg)	5.040	5.429
Peso aparente de la muestra (kg)	3.081	3.333
Peso de agua desplazada (kg)	1.959	2.096
Peso de la muestra secada en horno (kg)	4.99	5.377
Gravedad Especifica (SH)	2.55	2.57
Gravedad Especifica (SSS)	2.57	2.59
Gravedad Especifica Aparente	2.61	2.63
Densidad (SH) (kg/m <sup>3</sup> )	2540	2560
Densidad (SSS) (kg/m <sup>3</sup> )	2570	2580
Densidad Aparente (kg/m <sup>3</sup> )	2610	2620
Absorción (%)	1.0	1.0
Absorción Promedio (%)	1.0	
Gravedad Especifica Promedio (SH)	2.56	

Observaciones: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_