

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



**“DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL
CONCRETO EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO,
UTILIZANDO ARENA NATURAL, ARENA LAVADA
INDUSTRIALMENTE Y LA COMBINACIÓN DE LAS MISMAS”**

PRESENTADO POR:

RONALD ISAÍ ARIAS CISNEROS

FRANCISCO BURGOS RIVERA

FRANKLIN GIOVANNI CARRANZA CISNEROS

PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA, NOVIEMBRE DE 2013

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR :

ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO

SECRETARIA GENERAL :

DRA. ANA LETICIA ZAVALA DE AMAYA

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO :

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

SECRETARIO :

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

DIRECTOR :

Ph.D. Ing. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA

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

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO CIVIL

Título

:

**“DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL
CONCRETO EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO,
UTILIZANDO ARENA NATURAL, ARENA LAVADA
INDUSTRIALMENTE Y LA COMBINACIÓN DE LAS MISMAS”**

Presentado por

:

RONALD ISAÍ ARIAS CISNEROS
FRANCISCO BURGOS RIVERA
FRANKLIN GIOVANNI CARRANZA CISNEROS

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores

:

INGRA. LESLY EMIDALIA MENDOZA MEJIA
ING. FRANCISCO ARRIAZA MERCADAL
ING. JOSÉ MIGUEL LANDAVERDE QUIJADA

San Salvador, Noviembre de 2013

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores :

INGRA. LESLY EMIDALIA MENDOZA MEJIA

ING. FRANCISCO ARRIAZA MERCADAL

ING. JOSÉ MIGUEL LANDAVERDE QUIJADA

AGRADECIMIENTOS

Nuestro inmenso agradecimiento a Dios todopoderoso por darnos la fortaleza cada día para salir adelante, a pesar de las dificultades que encontramos en nuestro caminar hacia la superación; gracias por permitirnos culminar nuestros sueños, gracias por la vida, gracias por tu amor, a ti te debemos todo, todo proviene de ti, haznos estar agradecidos y bendecidos siempre.

A nuestros padres agradecemos de antemano por su infinito apoyo, comprensión, amor, instrucción a lo largo de nuestras vidas.

A nuestros asesores Ing. Lesly Emidalia Mendoza Mejía, Ing. Miguel Landaverde e Ing. Francisco Arriaza Mercadal, por su apoyo incondicional en el desarrollo de este trabajo de graduación; que Dios los bendiga siempre.

A la Cantera S.A. de C.V. y a HOLCIM por el apoyo brindado en la donación de la materia prima para la realización de esta investigación,

Agradecimientos especiales al Ing. Ramón Evelio López, por su incondicional apoyo y colaboración.

Al Técnico Carlos Morataya por su apoyo, paciencia y confianza.

A nuestro amigo y nuestro compañero: Pablo Emilio Sánchez Campos, Miguel Arquitectura por su aporte para la realización de este trabajo de graduación.

DEDICATORIA

A Dios todopoderoso, quien me ha sostenido cada segundo de mi vida, se lo debo todo a Él, mi guía, mi padre y mi todo; su fortaleza siempre ha estado conmigo cuando más lo he necesitado, alentándome, empujándome aun cuando quizá ya no podía, esa esperanza fue lo que tanto me ha inspirado a no rendirme nunca y es por ello que hoy cumplo una de mis metas. Su amor inigualable lo es todo en mi vida.

A mi padre Adonaldo Arias, hombre trabajador quien lo ha dado todo por sus hijos sacándonos adelante, con ese ejemplo de honradez y responsabilidad que siempre me ha infundido, por haberme proporcionado todo tipo de apoyo a su alcance y creer en que lo lograría.

A mi madre María Dolores Cisneros, una mujer excepcional y gran ejemplo de humildad, cuyo apoyo inigualable demuestra lo ilimitado de su amor para conmigo, gracias por sus oraciones, consejos, regaños, por enseñarme que con Dios de nuestro lado todo nos es posible, por forjar junto con mi padre a un hombre de bien, enseñándome tantos valores para la vida los cuales espero transmitir a mis hijos. Por estos y demás aportes, los cuales no podría terminar de enumerar. En resumen, por ser una bendición inigualable!

A mis hermanos Eunice Arias y Josué Arias por su apoyo incondicional a lo largo de mi vida con consejos y regaños, siendo ejemplo de personas integrales; por creer en que su pequeño hermano podría lograr alcanzar este logro.

A mis queridas sobrinas Camila y Daniela quienes inspiran esa alegría de la niñez, ese futuro prometedor de la nueva generación; así también a mi cuñada Gracia Alvarado quien es ahora parte de nuestra valiosa familia.

A mis tíos y tías, a mis abuelos mamá Julia y papá Alejandro quienes siempre han creído en mi persona y me han alentado a seguir siempre hasta alcanzar las metas propuestas.

A todos mis primos y primas por alegrarse conmigo; de manera especial a Claudia López y Lisseth López por sus consejos, amistad y apoyo incondicional a lo largo de mi carrera.

A mis amigos de la infancia Mauricio Rodríguez, Elisa Rodríguez, Esther Rivas Orlando Cañas y familia.

A mis amigos del bachillerato Walter Hernández, Willian Mejía y Anderson Menjivar por estar ahí siempre que lo he necesitado, en las buenas y malas; a mis amigos y compañeros de la universidad Yamileth Ramos y familia, Alexis Martínez, Ondina Ramos, Jonathan Morán, Lyssie Mena, quienes estuvieron allí cuando más lo necesitaba, aún en momentos más difíciles; así también

a Pablo Sánchez, Eliezar Gil, Elder Santos, a mi amiga desde segundo grado Karla De León, Lisandra Soriano, a mis compañeros de tesis Francisco Burgos y Franklin Carranza con quienes hemos trabajado arduamente en este documento para culminar nuestra carrera.

A mis amigos de la iglesia Iliana Aguillón, Alicia Aguillón y demás familia, a Sandra Garay, al grupo Cristeatro: Elivon Contreras, Esmeralda Hernández, Isaías Sánchez, Edison Rivera y los demás.

A la hermana Santa Bonilla por sus palabras de aliento, sus oraciones y la fé que siempre me transmite, a la niña Doris Artiga por estar pendiente del proceso de tesis, aconsejarme y animarme para hacerlo lo mejor posible y dar mi mejor esfuerzo.

En memoria de una gran amiga y hermana que se nos adelantó dejando un vacío imposible de llenar; su sonrisa y cariño siempre vivirá en mi recuerdo y corazón, H.S.A.M.

Ronald Isaí Arias Cisneros

DEDICATORIA

A DIOS TODOPODEROSO: Por darme sabiduría y salud, por la familia que me regaló, por iluminarme a lo largo de mi carrera por ayudarme a no desistir en la consecución de este sueño y por las inmensas bendiciones recibidas.

A MIS PADRES: Eva María Rivera Martínez y Leandro Burgos Juárez por la confianza depositada en mí, porque me han guiado por el buen camino y por ser mis padres, los quiero mucho.

A HERMANOS: Juan Antonio, Blanca Yesenia y Karla Guadalupe por brindarme su apoyo incondicional, por soportarme, por quererme porque son mis hermanos y porque los quiero mucho.

A MIS SOBRINOS: Yeneli Astrid, Anderson Stanley y Leandro Fabricio, por llenar de alegría mi vida.

A MIS ABUELAS: María del Carmen Rivera (Q.D.D.G) y a María Julia Burgos.

A MIS AMIGOS: Por apoyarme en la carrera, porque de una u otra manera facilitaron el ambiente hostil de estudiar, en especial a mis grandes carnales Franklin Giovanni Carranza Cisneros (El dictador), Pablo Emilio Sánchez Campos (El bolillo) y Cesar Eduardo Duarte Bonilla (Juanga).

Francisco Burgos Rivera.

DEDICATORIA

Confía en Yahvé y obra el bien, vive en la tierra y cuida tu fidelidad, disfruta pensando en Yahvé y te dará lo que pide tu corazón.

Encomienda tu vida a Yahvé, confía en él, que actuará; hará brillar como luz tu inocencia y tu honradez igual que el mediodía.

SALMO 36, 3-6

A DIOS TODO PODEROSO Y A SU HJIO JESUCRISTRO REY DE REYES

por permitirme alcanzar mi sueño, por darme la vida, por brindarme su amor y misericordia.

A MI MADRE: FLORA ELIZABETH CISNEROS ORDOÑES

por su infinito amor, comprensión, apoyo; este logro es tuyo, sin ti esto no tendría sentido.

A MI NOVIA: MARITZA ABIGAÍL GUEVARA MONTES

por brindarme tu amor, comprensión y paciencia; eres el amor de toda mi vida.

A MI HERMANO: JOSE LUIS CARRANZA CISNEROS

por apoyarme a lo largo de la carrera.

A MI AMIGO: FRANCISCO BURGOS RIVERA

que desde un principio de la carrera batallamos juntos; eres un gran amigo piquín, un luchador, un hermano.

Que viva el fútbol, que viva la época de estudiante en la UES, que viva la profesión y que viva nuestra amistad.

A MI AMIGO: PABLO EMILIO SANCHEZ CAMPOS amigo de carrera, profesión, de futbol y otras batallas; bolillo eres un gran carnal y amigo.

A MIS AMIGOS: CESAR (JUANGA), RENE (MENOTTI), LUIS (TAZ), DAVID (IGOR), REBECA (PRIMA): por lo momentos vividos en el transcurso de la carrera.

A MI FAMILIA que me inspiraron en este duro caminar.

A MIS HERMANOS DE MI COMUNIDAD gracias de corazón por sus oraciones y deseos a mi persona de parte de ustedes.

EN MEMORIA:

JOSE OSCAR CISNEROS mi abuelo, mi única figura paterna, mi inspiración, mi ejemplo a seguir.

SUSANA ORDOÑEZ vda. De CISNEROS mi abuela querida, gracias por instruirme en mi niñez, gracias por tu amor.

FRANKLIN GIOVANNI CARRANZA CISNEROS

ÍNDICE

CAPITULO I: ANTEPROYECTO.....	1
1.1 INTRODUCCION.....	2
1.2 ANTECEDENTES.....	3
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	7
1.4.1 OBJETIVO GENERAL.....	9
1.4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	9
1.6 LIMITACIONES.....	12
1.7 JUSTIFICACIONES.....	13
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO: COMPONENTES DEL CONCRETO.....	15
2.1 INTRODUCCIÓN.....	16
2.2 AGREGADOS.....	17
2.3 CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS.....	18
2.3.1 POR EL MODO DE FRAGMENTACIÓN.....	18
2.4 FUNCIÓN DE LOS AGREGADOS.....	19
2.5 ARENA NATURAL PROVENIENTE DEL RIO LAS CAÑAS.....	20
2.5.1 GENERALIDADES.....	20
2.5.2 FACTORES ANTRÓPICOS.....	20
2.5.3 ARENA NATURAL.....	21
2.5.4 ASPECTOS GEOLÓGICOS DEL RÍO LAS CAÑAS.....	23
2.5.5 GEOMORFOLOGIA.....	25
2.5.6 CARACTERISTICAS DEL AGREGADO FINO DEL RÍO LAS CAÑAS.....	28

2.6 ASPECTOS GEOLOGICOS DEL RIO TIHUAPA.	29
2.6.1 LA CANTERA S.A. DE C.V.: BANCO DE ARENA NATURAL LAVADA INDUSTRIALMENTE.	29
2.7 ANÁLISIS AMBIENTAL DE LA ARENA NATURAL EXTRAÍDA DE RÍOS.	32
2.7.1 CLASIFICACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES QUE GENERA LA EXTRACCIÓN DE LAS ARENAS DE RÍO.	34
2.7.1.1 FÍSICOS.	34
2.7.1.2 CALIDAD DEL AGUA.	35
2.7.1.3 ECOLÓGICOS.	35
2.8 ARENA NATURAL LAVADA INDUSTRIALMENTE.	37
2.8.1 PROCEDIMIENTO DE LAVADO INDUSTRIAL.	38
2.8.2 APLICACIONES DE LA ARENA NATURAL LAVADA INDUSTRIALMENTE.	42
2.8.3 VENTAJAS DE USAR ARENA NATURAL LAVADA INDUSTRIALMENTE.	42
2.9 ANALISIS DE IMPACTO AMBIENTAL DEL RÍO TIHUAPA.	44
2.10 COMPARACIÓN ENTRE LAS PROPIEDADES DE LA ARENA NATURAL DEL RÍO LAS CAÑAS Y LA ARENA LAVADA INDUSTRIALMENTE.	45
2.11 EL CEMENTO.	47
2.11.1 PROPIEDADES DEL CEMENTO.	48
2.11.1.1 FINURA.	48
2.11.1.2 SANIDAD.	49
2.11.1.3 REACCIÓN AGUA-CEMENTO.	49

2.11.1.4 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.	49
2.11.1.5 CONSISTENCIA.	50
2.11.1.6 .PESO ESPECÍFICO.	50
2.11.1.7 PÉRDIDA POR IGNICIÓN.	50
2.11.2 TIPOS DE CEMENTO.	50
2.12 AGUA PARA CONCRETO.	54
2.13 CONCRETO ELABORADO CON ARENA NATURAL VERSUS CONCRETO ELABORADO CON ARENA NATURAL LAVADA INDUSTRIALMENTE.	59
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	61
3.1 INTRODUCCIÓN.	62
3.2 GENERALIDADES.	62
3.3 PARAMETROS FIJOS Y VARIABLES.	64
3.3.1 PARAMETROS FIJOS.	64
3.3.1.1 AGREGADOS.	65
3.3.1.2 CEMENTO.	65
3.3.1.3 AGUA.	65
3.3.1.4 CONDICIONES DE LABORATORIO.	65
3.3.1.5 MÉTODO DE PROPORCIONAMIENTO DE LAS MEZCLAS.	66
3.3.1.6 RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN.	66
3.3.1.7 REVENIMIENTO.	66
3.3.2 PARÁMETROS VARIABLES.	67
3.4 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN. ...	67

3.5.1 ETAPA 1. SELECCIÓN DE LOS MATERIALES.....	70
3.5.1.1 AGREGADOS.....	70
3.5.1.2 CEMENTO.....	70
3.5.1.3 AGUA.....	70
3.5.2 ETAPA 2. DEFINICIÓN DE ENSAYOS A REALIZAR.....	71
3.5.3 ETAPA 3. INVESTIGACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS MATERIALES.	72
3.5.3.1 PROCEDIMIENTO A SEGUIR PARA LA SELECCIÓN DE LAS COMBINACIONES A IMPLEMENTAR.	73
3.5.3.1.1 COMBINACIÓN GRANULOMÉTRICA TEÓRICA.	73
3.5.3.1.2 COMBINACION GRANULOMÉTRICA DE LABORATORIO.	74
3.5.4 ETAPA 4. DISEÑO DE MEZCLAS PRELIMINARES DE CONCRETO SIGUIENDO EL PROCEDIMIENTO DEL COMITÉ ACI 211.1 PRÁCTICA ESTÁNDAR PARA SELECCIONAR PROPORCIONES PARA CONCRETO DE PESO NORMAL (ACI 211.1).....	75
3.5.5 ETAPA 5. ENSAYOS A LAS MEZCLAS PRELIMINARES.....	84
3.5.6 ETAPA 6. MEZCLAS DEFINITIVAS (reproducción de mezclas seleccionadas).....	85
3.5.7 ETAPA 7. ENSAYOS AL CONCRETO EN ESTADO FRESCO.	86
3.5.8 ETAPA 8. ENSAYOS AL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO.	86
3.5.9 ETAPA 9. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL TRABAJO EXPERIMENTAL.	87
3.6 NORMATIVAS Y ESPECIFICACIONES A IMPLEMENTAR EN EL ESTUDIO DEL CONCRETO Y SUS COMPONENTES.	87

3.6.1 REQUISITOS DEL AGREGADO FINO.....	88
3.6.2 REQUISITOS DEL AGREGADO GRUESO.	89
3.6.3 REQUISITOS DEL AGUA.	92
3.6.4 REQUISITOS DEL CEMENTO.	92
3.6.5 REQUISITOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO.	92
3.7 DISEÑO DE MEZCLA TEÓRICO DE CONCRETO SEGÚN COMITÉ A.C.I 211.	93
CAPITULO IV: ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE LOS ENSAYOS A LOS COMPONENTES DEL CONCRETO Y DISEÑOS PRELIMINARES.....	
4.1 INTRODUCCION.....	118
4.2 DETERMINACION DE LAS PROPIEDADES FISICAS DE LOS AGREGADOS.	119
4.2.1 METODO DE ENSAYO ESTANDAR PARA ANALISIS POR TAMIZADO DE AGREGADOS GRUESOS (BASADO EN ASTM C-136).	119
4.2.2 MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) DE AGREGADO GRUESO (ASTM C- 127).....	124
4.2.3 ENSAYO ESTÁNDAR PARA ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS (ASTM C-127).	125
4.2.4 ENSAYO ESTÁNDAR PARA DENSIDAD BULK Y VACÍOS EN LOS AGREGADOS (BASADO EN ASTM C-29).....	127
4.2.5 ENSAYO ESTÁNDAR PARA ANÁLISIS POR TAMIZADO DE AGREGADOS FINOS (ASTM C-136).	130

4.2.6 ENSAYO ESTÁNDAR PARA DENSIDAD, GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS (ASTM C-128).....	149
4.2.7 DENSIDAD BULK Y VACÍOS EN LOS AGREGADOS (ASTM C-29).	153
4.2.8 DETERMINACIÓN DE IMPUREZAS ORGÁNICAS EN EL AGREGADO FINO PARA EL CONCRETO. (ASTM C-40).	156
4.2.9 MATERIAL MÁS FINO QUE LA MALLA 75 μ (Nº 200) BASADO EN ASTM C - 117.	159
4.2.10 MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA DENSIDAD DE CEMENTO HIDRÁULICO (ASTM C -188).....	161
4.3 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO A LOS AGREGADOS A UTILIZAR.	163
4.4 ANALISIS EXPERIMENTAL DE LAS PROPIEDADES FISICAS DE LOS AGREGADOS.....	165
4.4.1 AGREGADO GRUESO.	165
4.4.1.1 ENSAYO GRANULOMETRICO (ASTM C-136).....	165
4.4.1.2 ENSAYO ESTÁNDAR PARA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCION DEL AGREGADO GRUESO (ASTM C-128).....	165
4.4.1.3 ENSAYO ESTÁNDAR PARA DENSIDAD BULK Y VACÍOS EN LOS AGREGADOS (ASTM C-29).	166
4.4.2 AGREGADO FINO.....	166
4.4.2.1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM C-136) ARENA NATURAL RÍO LAS CAÑAS.	166
4.4.2.2 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM C-136), ARENA NATURAL LAVADA INDUSTRIALMENTE RÍO TIHUAPA.	167

4.4.2.3 ENSAYO ESTÁNDAR PARA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCION DEL AGREGADO FINO (ASTM C-127).....	168
4.4.2.4 ENSAYO ESTÁNDAR PARA DENSIDAD BULK Y VACÍOS EN LOS AGREGADOS FINOS (ASTM C-29).	168
4.4.2.5 ANÁLISIS DEL RESULTADO DE IMPUREZAS ORGÁNICAS, ARENA NATURAL RIO DEL LAS CAÑAS.....	169
4.4.2.6 ANÁLISIS DEL RESULTADO DE IMPUREZAS ORGÁNICAS ARENA NATURAL LAVADA INDUSTRIALMENTE RÍO TIHUAPA.....	169
4.4.2.7 ANÁLISIS DEL MATERIAL QUE PASA LA MALLA #200, ARENA NATURAL RÍO LAS CAÑAS.....	169
4.4.2.8 ANÁLISIS DEL MATERIAL QUE PASA LA MALLA #200, ARENA NATURAL LAVADA INDUSTRIALMENTE.....	170
4.5 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DEL AGREGADO FINO.....	171
4.5.1 ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LA DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DE LA ARENA NATURAL Y ARENA LAVADA INDUSTRIALMENTE.....	172
4.5.2 COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO: ARENA NATURAL Y ARENA NATURAL LAVADA INDUSTRIALMENTE.....	174
4.5.3 COMPARACIÓN DE RESULTADOS DEL PESO VOLUMÉTRICO DEL AGREGADO FINO: ARENA NATURAL Y ARENA NATURAL LAVADA INDUSTRIALMENTE.....	174

4.5.4 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE IMPUREZAS ORGÁNICAS DEL AGREGADO FINO: ARENA NATURAL Y ARENA NATURAL LAVADA INDUSTRIALMENTE.....	175
4.5.5 COMPARACIÓN DEL RESULTADO DEL MATERIAL MÁS FINO QUE PASA LA MALLA Nº 200 DEL AGREGADO FINO: ARENA NATURAL Y ARENA NATURAL LAVADA INDUSTRIALMENTE.	176
4.6 COMBINACIONES DE AGREGADO FINO A IMPLEMENTAR.....	176
4.6.1 COMBINACIONES TEÓRICAS DE AGREGADO FINO.....	177
4.6.2 SELECCIÓN DE LAS COMBINACIONES DE AGREGADO FINO A IMPLEMENTARSE EN LOS DISEÑOS DE MEZCLAS DE CONCRETO.	181
4.7 DISEÑO DE MEZCLAS PRELIMINARES.....	185
4.7.1 RESUMEN DE RESULTADOS DE LOS DISEÑOS DE MEZCLAS PRELIMINARES.	185
4.7.1.1 IDENTIFICACION DE LAS MEZCLAS.....	185
4.7.2 DISEÑOS DE MEZCLAS.....	186
4.7.2.1 DISEÑO DE MEZCLA AN1: 280 kg/cm ² CON ARENA NATURAL:	187
4.7.2.2 DISEÑO DE MEZCLA AN2: 280 kg/cm ² CON ARENA NATURAL:	189
4.7.2.3 DISEÑO DE MEZCLA AN3: 280 kg/cm ² CON ARENA NATURAL:	192
4.7.2.4 DISEÑO DE MEZCLA ANLI1: 280 kg/cm ² CON ARENA NATURAL LAVADA INDUSTRIALMENTE:	195
4.7.2.5 DISEÑO DE MEZCLA ANLI2: 280 kg/cm ² CON ARENA NATURAL LAVADA INDUSTRIALMENTE	198
4.7.2.6 DISEÑO DE MEZCLA ANLI3: 280 kg/cm ² CON ARENA NATURAL LAVADA INDUSTRIALMENTE:	201

4.7.2.7 DISEÑO DE MEZCLA CMBA (75% ARENA LAVADA - 25% ARENA LAS CAÑAS, A/C=0.46).....	204
4.7.2.8 DISEÑO DE MEZCLA CMBB: (75% ARENA LAVADA - 25% ARENA LAS CAÑAS, A/C=0.48):	207
4.7.2.9 DISEÑO DE MEZCLA CMBC (75% ARENA LAVADA - 25% ARENA LAS CAÑAS, A/C=0.50)	210
4.7.2.10 DISEÑO DE MEZCLA CMBD: (25% ARENA LAVADA - 75% ARENA LAS CAÑAS, A/C=0.46):	213
4.7.2.11 DISEÑO DE MEZCLA CMBE: (25% ARENA LAVADA - 75% ARENA LAS CAÑAS, A/C=0.48):	216
4.7.2.12 DISEÑO DE MEZCLA CMBF: (25% ARENA LAVADA - 75% ARENA LAS CAÑAS, A/C=0.50)..	219
4.8 PRESENTACION DE RESULTADOS DE LAS MEZCLAS PRELIMINARES.	222
4.9 ANÁLISIS DE RESULTADOS A LAS MEZCLAS PRELIMINARES.	225
4.9.1 ANALISIS DE LOS RESULTADOS A MEZCLAS EN ESTADO FRESCO..	225
4.9.2 PRESENTACION DE RESULTADOS DE GRÁFICOS COMPARATIVOS ENTRE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN VERSUS RELACION AGUA / CEMENTO.....	228
4.9.3 GRAFICOS COMPARATIVO ENTRE RESISTENCIA A COMPRESION VERSUS RELACION AGUA CEMENTO.	229
4.9.3.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARA DISEÑOS PRELIMINARES.	231
CAPÍTULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE LAS MEZCLAS DEFINITIVAS.	234

5.1 INTRODUCCIÓN.....	235
5.2 MEZCLAS A REPRODUCIR.....	236
5.3 RESULTADOS DE ENSAYOS AL CONCRETO EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO REALIZADOS A LAS MEZCLAS.....	237
5.3.1 DISEÑO AN3.	237
5.3.1.1 ANÁLISIS DE MEZCLAS EN ESTADO FRESCO, DISEÑO “AN3”(A/C=0.50; 100% ARENA LAS CAÑAS).	240
5.3.1.2 RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO A 7 DÍAS.....	241
5.3.1.3 RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO A 28 DÍAS.....	242
5.3.1.4 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS A FLEXION DE ESPECÍMENES DE CONCRETO PARA EL DISEÑO “AN3”, (A/C=0.50; 100% ARENA LAS CAÑAS).....	247
5.3.1.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS AL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO, DISEÑO “AN3”, (A/C=0.50; 100% ARENA LAS CAÑAS)....	248
5.3.2 DISEÑO “ANLI3”, (A/C=0.50; 100% ARENA NATURAL LAVADA INDUSTRIALMENTE).....	249
5.3.2.1 ANÁLISIS DE MEZCLAS EN ESTADO FRESCO, DISEÑO “ANLI3” (A/C=0.50; 100% ARENA NATURAL LAVADA INDUSTRIALMENTE).....	251
5.3.2.2 RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO A LOS 7 DÍAS.....	252
5.3.2.3 RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO A 28 DÍAS.....	253

5.3.2.4 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS A LA FLEXION DE ESPECÍMENES DE CONCRETO PARA EL DISEÑO ANLI3 (A/C=0.5, 100% ARENA LAVADA INDUSTRIALMENTE).....	258
5.3.2.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS AL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO, DISEÑO “ANLI3”(A/C=0.5, 100% ARENA LAVADA INDUSTRIALMENTE).....	259
5.3.3 DISEÑO “CMBB”, (A/C=0.48; 75%A.LAVADA INDUSTRIALMENTE-25% A. LAS CAÑAS).....	260
5.3.3.1 ANÁLISIS DE MEZCLAS EN ESTADO FRESCO, DISEÑO “CMBB”, (A/C=0.48; 75% A. LAVADA INDUSTRIALMENTE - 25% A. LAS CAÑAS).	262
5.3.3.2 RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO A 7 DÍAS.....	264
5.3.3.3 RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO A 28 DÍAS.....	265
5.3.3.4 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS A LA FLEXION ESPECÍMENES DE CONCRETO MEZCLA “CMBB”, (A/C=0.48, 75% ARENA LAVADA INDUSTRIALMENTE- 25% A. LAS CAÑAS).....	269
5.3.3.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS AL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO, DISEÑO “CMBB”.....	270
5.3.4 DISEÑO “CMBE” (A/C = 0.48; 75% A. LAS CAÑAS - 25% A. LAVADA INDUSTRIALMENTE).....	271
5.5.4.1 ANÁLISIS DE MEZCLAS EN ESTADO FRESCO, DISEÑO “CMBE”	273
5.3.4.2 RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO A 7 DÍAS.....	275

5.3.4.3 RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO A 28 DÍAS.....	276
5.3.4.4 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS A LA FLEXION ESPECÍMENES DE CONCRETO MEZCLA “CMBE”, (A/C = 0.48; 75% A. LAS CAÑAS - 25% A. LAVADA INDUSTRIALMENTE).....	281
5.3.4.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS AL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO, DISEÑO “CMBE”	282
5.5 COMPARACIÓN DE RESULTADOS.	283
5.5.1 RESULTADOS PROMEDIOS DE LOS DISEÑOS EN LOS ENSAYOS AL CONCRETO EN ESTADO FRESCO.	283
5.5.1.1 ENSAYO DE REVENIMIENTO.	283
5.5.1.2 ENSAYO DE TEMPERATURA.	284
5.5.1.3 ENSAYO DE PESO VOLUMÉTRICO DEL CONCRETO FRESCO.....	286
5.5.1.4 ENSAYO DE CONTENIDO DE AIRE.....	287
5.5.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EN ESTADO ENDURECIDO DEL CONCRETO.	288
5.5.2.1 ANALISIS DE RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO A LOS 7 DÍAS Y 28 DÍAS.....	289
5.5.2.2 TIPOS DE FALLA EN LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES DE CONCRETO.....	293
5.5.2.3 CARTAS DE CONTROL DE CALIDAD.....	301
5.5.2.3.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.	301
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	307
6.1 INTRODUCCION.....	308

6.2 CONCLUSIONES.	308
6.2.1 ENSAYO DE REVENIMIENTO.	308
6.2.2 ENSAYO DE TEMPERATURA.	309
6.2.3 ENSAYO DEL PESO VOLUMETRICO DEL CONCRETO FRESCO.	310
6.2.4 CONTENIDO DE AIRE.	311
6.2.5 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.	313
6.2.6 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN.	314
6.3 RECOMENDACIONES.	315
GLOSARIO.	318
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	323
SIGLAS.	326
UNIDADES DE MEDIDA	327

ÍNDICE DE TABLAS

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO: COMPONENTES DEL CONCRETO

Tabla No 2.1: Geología de la cuenca del Rio Las Cañas	23
Tabla No 2.2: Geomorfología de la cuenca del Rio Las Cañas.	26
Tabla No 2.3: Geología de la zona de explotación de la arena lavada industrialmente.	32
Tabla No 2.4: Comparación entre las propiedades físicas de la arena natural del río Las Cañas y la arena natural lavada industrialmente del río Tihuapa.	46
Tabla No 2.5: Especificación estándar para cemento ASTM C1157 tipo GU.	53
Tabla No. 2.6: Requerimientos de desempeño del concreto para el agua de mezcla.	57
Tabla No 2.7: Límites Químicos opcionales para el agua de mezclado combinada A.	58
Tabla No 2.8: Resultados esperados en el concreto elaborado.....	60

CAPITULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Tabla No 3.1: Ensayos al concreto en estado fresco y endurecido.....	71
Tabla No 3.2: Ensayos a los agregados	72
Tabla No 3.3: Porcentajes de agregado fino a combinar	74
Tabla No 3.4: Revenimientos recomendados para varios tipos de construcción	76
Tabla No 3.5: Resistencia a Compresión Media Requerida cuando no hay Datos Disponibles Para Establecer la Desviación Estándar	77
Tabla No 3.6: requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire atrapado para diferentes revenimientos y TMN de agregado grueso.....	78
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.	79
Tabla No 3.8: volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto.....	81

Tabla No 3.9: Normativas y reglamentos para el control de calidad de los agregados.	88
Tabla No. 3.10: Especificaciones del agregado fino	88
Tabla No 3.11: Limites de la norma ASTM C-33, para agregado fino.....	89
Tabla No 3.12: Calidad de los agregados gruesos (especificaciones).....	89
Tabla No 3.13: Tamaños estándar de agregado grueso.....	91
Tabla No 3.14: Ensayos al concreto en estado fresco	92
Tabla No 3.15: Pesos y volúmenes de materiales para la mezcla de 1m ³ , agregados en condición seca.	100
Tabla No 3.16: Pesos y volúmenes de materiales para la mezcla de 1m ³ , agregados en condición húmeda.	103
Tabla No 3.17: Pesos y volúmenes de materiales para la mezcla de 1m ³ , agregados en condición seca.	109
Tabla No. 3.18: Pesos de materiales en la mezcla de concreto para 1 m ³ con agregados en condición húmeda.....	110
Tabla No 3.19: Volumen de la mezcla de prueba= 0.028m ³	111
Tabla No 3.20: Pesos y volúmenes de materiales para 1m ³ en el diseño de la mezcla.	116

**CAPITULO IV: ANALISIS EXPERIMENTAL DE LOS ENSAYOS A LOS
AGREGADOS Y DISEÑOS PRELIMINARES**

Tabla No 4.1: Ensayo granulométrico de agregado grueso.....	120
Tabla No 4.2: Ensayo granulométrico de agregado grueso.....	122
Tabla No 4.3: determinación de la gravedad específica y absorción del agregado grueso.	126
Tabla No 4.4: Peso volumétrico varillado del agregado grueso	128
Tabla No 4.5: Peso volumétrico suelto del agregado grueso.....	129
Tabla No 4.6: Ensayo granulométrico del agregado fino: arena natural.	131

Tabla Nº 4.7: Ensayo granulométrico del agregado fino: arena natural.	133
Tabla Nº 4.8: Granulometría del agregado fino: arena lavada industrialmente.	135
Tabla Nº 4.9: Granulometría del agregado fino: arena lavada industrialmente.	137
Tabla Nº 4.10: Granulometría del agregado fino: arena natural (75%) y arena lavada industrialmente (25%).....	139
Tabla Nº 4.11: Granulometría del agregado fino: arena natural (25%) y arena lavada industrialmente (75%	141
Tabla Nº 4.12: Granulometría del agregado fino: arena natural (50%) y arena lavada industrialmente (50%).....	143
Tabla Nº 4.13: Granulometría del agregado fino: arena natural (40%) y arena lavada industrialmente (60%).....	145
Tabla Nº 4.14: Granulometría del agregado fino: arena natural (60%) y arena lavada industrialmente (40%).....	147
Tabla Nº 4.15: Gravedad específica y absorción de agregado fino: arena natural. .	150
Tabla Nº 4.16: Gravedad específica y absorción de agregado fino: arena natural lavada industrialmente.	151
Tabla Nº 4.17: Gravedad específica y absorción de agregado fino: arena natural lavada industrialmente.	152
Tabla Nº 4.18: Peso volumétrico suelto del agregado fino: arena natural.	154
Tabla Nº 4.19: Peso volumétrico del agregado fino: arena lavada industrialmente.	155
Tabla Nº 4.20: Impurezas orgánicas en el agregado fino: arena natural.....	157
Tabla Nº 4.21: Impurezas orgánicas en el agregado fino: arena lavada industrialmente.....	158
Tabla Nº 4.22: Material más fino que la malla 75 μ (Nº 200).....	160
Tabla Nº 4.23: Peso específico relativo del cemento (ASTM C - 188).....	162
Tabla Nº 4.24: Resumen de resultados de las pruebas de laboratorio realizadas a los agregados.....	163

Tabla N° 4.25: Cuadro comparativo entre arenas.....	171
Tabla N° 4.26: Combinaciones de agregado fino teóricas .	179
Tabla N° 4.27: Nomenclatura de cada una de las mezclas preliminares con su respectiva relación A/C.....	185
Tabla N° 4.28: Resultados obtenidos de las mezclas preliminares.	223

CAPÍTULO V. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE LAS MEZCLAS DEFINITIVAS

Tabla N° 5.1: Proporcionamiento definitivo para 1m ³ AN3	237
Tabla N° 5.2: Resultados de los ensayos al concreto en estado fresco diseño AN3.	239
Tabla N° 5.3: Resultados de los ensayos de la resistencia a la compresión a 7 días AN3 (Elaborados con 100% arena natural).....	241
Tabla N° 5.4: Resultados de los ensayos de la resistencia a la compresión a los 28 días AN3 (Elaborados con 100% arena natural).....	243
Tabla N° 5.5: Resistencia a la flexión de especímenes de concreto.	247
Tabla N° 5.6: Proporcionamiento definitivo para 1m ³ ANLI3.	249
Tabla N° 5.7: Proporcionamiento para 1m ³ ANLI3.	250
Tabla N° 5.8: Resultado de ensayo de resistencia a la compresión a 7 días ANLI3 (Elaborados con 100% arena natural lavada industrialmente).	252
Tabla N° 5.9: Resultado de ensayo de resistencia a la compresión a 28 días ANLI3	254
Tabla N° 5.10: Resistencia a la flexión de especímenes de concreto.	258
Tabla N° 5.11: Proporcionamiento definitivo para 1m ³ CMBB.....	260
Tabla N° 5.12: Proporcionamiento para 1m ³ CMBB.	261
Tabla N° 5.13: Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión a 7 días CMBB (a/c=0.48, 75% Arena Lavada industrialmente- 25% A. Las Cañas).....	264
Tabla 70 N° 5.14: Resultado de los ensayos de resistencia a la compresión a 28 días CMBB (a/c=0.48, 75% Arena Lavada industrialmente- 25% A. Las Cañas).....	265

Tabla Nº 5.15: Resistencia a la flexión de especímenes de concreto.	269
Tabla Nº 5.16: Proporcionamiento definitivo para 1m ³ CMBE	271
Tabla Nº 5.17: Proporcionamiento para 1m ³ CMBE.....	273
Tabla Nº 5.18: Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión a 7 días CMBE (a/c=0.48, 25% Arena Lavada industrialmente- 75% A. Las Cañas).	275
Tabla Nº 5.19: Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión a 28 días CMBE (a/c=0.48, 25% Arena Lavada industrialmente- 75% A. Las Cañas).	277
Tabla Nº 5.20: Resistencia a la flexión de viguetas.....	281
Tabla Nº 5.21: Promedio de los ensayos al concreto en estado fresco.....	283
Tabla Nº 5.22: Promedios de temperatura del concreto fresco para cada diseño....	285
Tabla Nº 5.23: Promedios de peso volumétrico del concreto fresco para cada diseño	287
Tabla Nº 5.24: Promedios de contenido de aire del concreto fresco para cada diseño	288
Tabla Nº 5.25: Resultados promedio de resistencia a compresión para cada diseño de mezcla.	289
Tabla Nº 5.23: Tipos de falla en los especímenes de concreto.	293

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO: COMPONENTES DEL CONCRETO

Figura N° 2.1: Mapa de zona de estudio Unidad Rio Las Cañas (Estudio de amenazas en el área metropolitana de San Salvador, unidad territorial las cañas) 2008	22
Figura N° 2.2: Llanura aluvial río las Cañas	22
Figura N° 2.3: Mapa geológico unidad territorial río Las Cañas (Mapa geológico, Misión Geológica Alemana).....	23
Figura N° 2.4: Mapa Geomorfológico (“Estudio de amenazas en el área metropolitana de San Salvador, unidad territorial: Las Cañas” Geólogos del Mundo – 1ª. Ed. – San Salvador, El Salv. : Geólogos del Mundo, 2008. OPAMSS, AMSS).....	25
Figura N° 2.5: Relieve Badlands mostrando movimientos de laderas y erosión del río de las Cañas.....	27
Figura N° 2.6: Erosión lateral en el rio Las Cañas [Julio, 2009] (Investigación Tierras Blancas Joven TBJ unidad G, Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas”)	28
Figura N° 2.7 Planta de extracción y lavado de arena natural. Fuente: Google Earth. Mayo 2013	30
Figura N° 2.8: Ubicación de cantera San Diego y Jiboa según mapa Geológico General de la Republica de El Salvador, Hannover 1974, Elaborado por la Misión Alemana.	31
Figura N° 2.9: Arena natural Lavada Industrialmente (CANTERA S.A. 2013).....	37
Figura N° 2.10: Extracción de arena, río Tihuapa (abril 2013).....	38
Figura N° 2.11: Máquina de lavado de arena (abril 2013).	39
Figura N° 2.12: Proceso de cribado y evacuación del material de sobre tamaño.....	40

Figura No 2.13: Tornillos sin fin (Gusanos helicoidales).....	41
Figura No 2.14: Producto final Arena natural lavada industrialmente.....	41
Figura No. 2.15 Cemento Portland	48
Figura No. 2.16 Agua de mezclado.	55

CAPITULO IV: ANALISIS EXPERIMENTAL DE LOS ENSAYOS A LOS AGREGADOS Y DISEÑOS PRELIMINARES

Figura No 4.1: Curva granulométrica del agregado grueso (ensayo No1)	121
Figura No 4.2: Curva granulométrica del agregado grueso (ensayo No2)	123
Figura No 4.3: Curva granulométrica del agregado fino: arena natural (ensayoNo1) ...	132
Figura No 4.4: Curva granulométrica del agregado fino: arena natural (ensayoNo2) ...	134
Figura No 4.5: Curva granulométrica del agregado fino: arena natural lavada industrialmente (ensayo No1).....	136
Figura No 4.6: Curva granulométrica del agregado fino: arena natural lavada industrialmente (ensayo No2).....	138
Figura No 4.7: Curva granulométrica del agregado fino: arena natural (75%) y arena lavada industrialmente (25%)	140
Figura No 4.8: Curva granulométrica del agregado fino: arena natural (25%) y arena lavada industrialmente (75%)	142
Figura No 4.9: Curva granulométrica del agregado fino: arena natural (50%) y arena lavada industrialmente (50%)	144
Figura No 4.10: Curva granulométrica del agregado fino: arena natural (40%) y arena lavada industrialmente (60%)	146

Figura N° 4.11: Curva granulométrica del agregado fino: arena natural (60%) y arena lavada industrialmente (40%)	148
Figura N° 4.12: Curvas granulométricas del agregado fino: A. natural (AC) y A. lavada industrialmente (AT)	173
Figura N° 4.13: Curva granulométrica de las combinaciones teóricas: arena natural - arena lavada industrialmente.....	180
Figura N° 4.14: Combinación granulométrica del agregado fino: A. natural y A. lavada industrialmente	183
Figura N° 4.15: Combinación granulométrica del agregado fino: A. natural (AN) y A. lavada industrialmente (AL)	184
Figura N° 4.16 Revenimiento obtenido para diseño ANLI3.	227
Figura N° 4.17 Revenimiento obtenido para diseño CMBE.	227
Figura N° 4.18 Resistencia a la compresión - Relación A/C.....	229
Figura N° 4.19 Resistencia a la compresión - Relación A/C.....	229
Figura N° 4.20 Resistencia a la compresión - Relación A/C.....	229
Figura N° 4.21 Resistencia a la compresión - Relación A/C.....	229
Figura N° 4.22 Resistencia a la compresión - Relación A/C.....	230
Figura N° 4.23 Resistencia a la compresión - Relación A/C.....	230
Figura N° 4.24 Resistencia a la compresión - Relación A/C.....	230
Figura N° 4.25 Resistencia a la compresión - Relación A/C.....	230

CAPÍTULO V. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE LAS MEZCLAS DEFINITIVAS

Figura Nº 5.1: Gráfico de proporcionamiento de mezcla AN3.....	238
Figura Nº 5.2: Revenimiento obtenido en la primera mezcla para el diseño AN3	239
Figura Nº 5.3: Gráfico de ganancia de resistencia de los especímenes a los 7 y 28 días.	245
Figura Nº 5.4: Gráfico de la variación del peso volumétrico del concreto en estado endurecido	246
Figura Nº 5.5: Gráfico de variación de resistencia a la flexión, diseño AN3.....	247
Figura Nº 5.6: Gráfico de proporcionamiento de mezcla ANLI3.	249
Figura Nº 5.7: Revenimiento obtenido en la segunda mezcla para el diseño ANLI3....	250
Figura Nº 5.8: Variación de la resistencia a compresión a los 7 y 28 días	256
Figura Nº 5.9: Gráfico de la variación del peso volumétrico del concreto en estado endurecido	257
Figura Nº 5.10: Gráfico de variación de resistencia a la flexión, diseño ANLI3.....	258
Figura Nº 5.11: Gráfico de proporcionamiento de mezcla CMBB.....	261
Figura Nº 5.12: Revenimiento obtenido en la primera mezcla para el diseño CMBB. ..	262
Figura Nº 5.13: Variación de la resistencia a compresión diseño CMBB.....	267
Figura Nº 5.14: Gráfico de la variación del peso volumétrico del concreto en estado endurecido	268
Figura Nº 5.15: Gráfico de variación de resistencia a la flexión, diseño CMBB.	269
Figura Nº 5.16: Gráfico de proporcionamiento de mezcla CMBE.....	272
Figura Nº 5.17: Revenimiento obtenido en la segunda mezcla para el diseño CMBE. .	273
Figura Nº 5.18: Variación de la resistencia a compresión diseño CMBE.....	279

Figura Nº 5.19: Gráfico de la variación del peso volumétrico del concreto en estado endurecido	280
Figura Nº 5.20: Gráfico de variación de resistencia a la flexión, diseño CMBE.	281
Figura Nº 5.21: Gráficos de evolución de resistencia a la compresión vrs tiempo.....	290
Figura Nº 5.22: Fractura diagonal con fisuras a través de los extremos.....	293
Figura Nº 5.23: Fractura diagonal con fisuras a través de los extremos.....	294
Figura Nº 5.24: Fractura diagonal con fisuras a través de los extremos.....	294
Figura Nº 5.25: Grieta en forma de columna vertical y cono no bien definido.	294
Figura Nº 5.26: Cono razonablemente bien formado en un extremo, con menos de 1" (25mm) de grieta a través de las tapas.....	295
Figura Nº 5.27: Fractura diagonal con fisuras a través de los extremos.....	295
Figura Nº 5.28: Grieta en forma de columna vertical y cono no bien definido.	295
Figura Nº 5.29: Cono semi-formado en un extremo y grieta vertical que atraviesa la tapa.....	296
Figura Nº 5.30: Fractura diagonal con fisuras a través de los extremos.....	296
Figura Nº 5.31: Grieta en forma de columna vertical y cono no bien definido.	296
Figura Nº 5.32: Grieta vertical en forma columnar.....	297
Figura Nº 5.33: Grieta en forma de columna vertical no bien definido y cono no bien definido.....	297
Figura Nº 5.34: Fractura diagonal con fisuras a través de los extremos.....	297
Figura Nº 5.35: Fractura diagonal con fisuras a través de los extremos y grieta no bien definida columnar.....	298

Figura Nº 5.36: Fractura en la parte superior	298
Figura Nº 5.37: Fractura columnar no bien definida con fisuras a través de los extremos.	298
Figura Nº 5.38: Cono razonablemente formado en un extremo, con menos de 1” (25mm) de grieta a través de las tapas.....	299
Figura Nº 5.39: Fractura diagonal con fisuras a través de los extremos.....	299
Figura Nº 5.40: Fractura columnar no bien definida con fisuras a través de los extremos.	299
Figura Nº 5.41: Fractura en la parte superior.	300
Figura Nº 5.42: Grieta vertical no bien definido que atraviesa la tapa	300
Figura Nº 5.43: Fractura diagonal con fisuras a través de los extremos.....	300
Figura Nº 5.44: Fractura en la parte superior.	301
FigurNº 5.45: Comparación de la variación de la Resistencia a la compresión a 7 días de AN3 vrs. ANLI3.	303
Figura Nº 5.46: Comparación de la variación de la Resistencia a la compresión a 28 días de AN3 vrs. ANLI3.....	304
Figura Nº 5.47: Comparación de la variación de la Resistencia a la compresión a 7 días de CMBB Vrs CMBE.....	305
Figura Nº 5.48: Comparación de la variación de la Resistencia a la compresión a 28 días de CMBB Vrs CMBE.....	306

CAPITULO I

ANTEPROYECTO

1.1 INTRODUCCION.

El presente trabajo tiene la finalidad de describir todo lo relacionado con la investigación que se llevará a cabo con respecto a la influencia que tiene el uso de la arena natural lavada industrialmente, en las propiedades en estado fresco y endurecido de mezclas de concreto hidráulico; así como también, comparar estos resultados con los parámetros obtenidos de mezclas de concreto utilizando únicamente arena natural de origen aluvial sin tratar procedente del río Las Cañas y mezclas utilizando arena natural combinada con la arena natural lavada industrialmente en los diseños de estos.

Se plantea la metodología a seguir en la investigación, así como también, los objetivos que se persiguen, los alcances y las limitaciones que determinaran hasta donde se llegará con dicho trabajo. La investigación se dividirá en seis capítulos que comprenden la parte teórica, la realización de los ensayos de laboratorio y el análisis de los resultados obtenidos.

En esta investigación, se estudiarán algunas propiedades del concreto hidráulico elaborado con arena natural lavada industrialmente, en comparación con un concreto elaborado con arena natural sin tratar; esto con el fin de comparar los resultados y determinar cómo influye y qué ventajas tiene el uso de la arena

natural lavada industrialmente, en las propiedades en estado fresco y endurecido, de mezclas de concreto para resistencia a la compresión ($f'c$) de 280 kg/cm²; no obstante, también se estudiarán la influencia de combinar en diferentes porcentajes la arena natural y la arena natural lavada industrialmente en las propiedades en estado fresco y endurecido del concreto.

También se realizarán ensayos a los agregados finos y gruesos para determinar su calidad que, aunque no es el fin de la investigación, quedarán plasmados en el análisis de los resultados; pues la calidad de dichos elementos influye de manera determinante en la calidad del concreto.

Por tanto, al final de la investigación, se podrán comparar las ventajas y desventajas que trae al concreto el uso de la arena natural lavada industrialmente y el de la arena natural sin tratar; así como también, el uso combinado de ambas, en diferentes porcentajes para así conocer la influencia que tiene una sobre la otra.

1.2 ANTECEDENTES.

La palabra concreto viene del término latino “Concretus”, participio pasado de concreresco, (de con y cresco, crecer por aglomeración) por lo que concreto significaría coagulado, condensado, endurecido, solidificado y formado por

agregados; se define como una mezcla de un material aglutinante, un material de relleno, agua y muy frecuentemente aditivos.

En el concreto la importancia de utilizar una buena calidad de agregados es debido a que estos constituyen comúnmente de 60% a 75% del volumen del concreto (70% a 85% en peso), por lo que influyen notablemente en las propiedades del concreto recién mezclado y endurecido, en las proporciones de la mezcla, y en la economía. Los agregados finos comúnmente consisten en arena natural o piedra triturada siendo sus partículas menores que 5mm. Los agregados gruesos consisten en una grava o una combinación de gravas o agregado triturado cuyas partículas son predominantemente mayores que 5 mm y generalmente entre 9.5 mm y 38 mm.

La grava y la arena natural, usualmente se excavan o se dragan de alguna mina, río, lago o lecho marino.

El agregado triturado se produce triturando roca de cantera, piedra, guijarros, o grava de gran tamaño. Normalmente los agregados se lavan y se gradúan en la mina o planta; puede esperarse cierta variación en el tipo, calidad, limpieza, granulometría, contenido de humedad así como en otras propiedades.

La escasez de fuentes de explotación, calidad de los agregados no acorde con las exigencias de normativas y controles gubernamentales en lo referente a la

explotación de canteras y bancos ha obligado en otros países a investigar otras fuentes de materiales alternativos.

En nuestro medio se utiliza la arena natural producto de la extracción de los ríos, para producir concreto, arenas que no están sujetas a ningún tipo de control; alternativamente existen empresas que producen arenas manufacturadas (producto de la trituración), y además arenas que se extraen de ríos, pero que se les proporciona un tratamiento de lavado, con el fin de eliminar cualquier tipo de impurezas, estas arenas se están utilizando en nuestro medio para la producción de concretos.

Las arenas naturales lavadas industrialmente, están siendo utilizadas en gran medida para diversos usos, ya que estas presentan grandes ventajas en relación a las arenas naturales extraídas sin ningún tratamiento, ya que se controlan sus contenidos de impurezas o contaminantes, que pueden tener gran influencia en las propiedades del concreto. Además, no se ha encontrado antecedentes sobre la utilización de la combinación de arena lavada industrialmente con arena natural como agregados del concreto, por lo que esta opción es una alternativa a considerar como objeto de investigación con la finalidad de reducir la explotación desproporcionada de ríos que son utilizados como fuente de materiales para su uso en obras de ingeniería civil e investigar la posible factibilidad de dicha alternativa, ya sea porque produzca:

- ✘ Para una relación agua/cemento dada resistencias a la compresión significativamente mayores;
- ✘ Una mejora en la trabajabilidad del concreto en estado fresco;
- ✘ Una disminución en la demanda de agua de mezclado debido a la reducción del contenido de pómez en la arena, que se tendría como resultado de emplear cierto porcentaje de arena lavada en la mezcla, entre otras posibles bondades.

En lo referente al tema, el uso de arena manufacturada producto de la trituración de roca se ha encontrado como alternativa respecto al uso de arenas naturales extraídas de ríos; mientras que la arena natural lavada por proceso industrial, no se encuentra documentado como referencia para ser implementado en mezclas de concreto hidráulico la cual debe cumplir con la especificación de la arena ASTM C-33.

Entre los estudios relacionados con la implementación de las arenas naturales lavadas industrialmente, así como otros trabajos que pueden ser usados como referencia, se enumeran los siguientes:

- ✘ “Arenas Manufacturadas vrs. Naturales”, Ing. Jorge Milanés.
Empresa Holcim de Costa Rica.
- ✘ “Estudio Geológico y Geotécnico del Rio Las Cañas y sus problemas relacionados con la erosión” Ing. Rigoberto Antonio

Martínez Abarca, Ing. Fernando Alberto Escobar Hidalgo, Facultad de Ingeniería, Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas”, 1986

- ✘ “Leyes Básicas para Hormigón hecho con arena de Trituración” Ing. Joaquín Porrero, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, 1990.
- ✘ “Influencia de la arena triturada, como agregado fino, en las propiedades en estado fresco y endurecido, de mezclas de concreto hidráulico”, Ing. Jorge Alberto Rugamas Dinarte, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de El Salvador, 2012.
- ✘ “Estudio de amenazas en el área metropolitana de San Salvador, unidad territorial: Las Cañas” Geólogos del Mundo - 1ª. Ed. - San Salvador, El Salv. : Geólogos del Mundo, 2008. OPAMSS, AMSS
- ✘ “Dosificación de Concretos de Piedra Triturada”, Carlos Alfonso Durón Alberto, Gustavo Espinoza, Medad Cea Guillén, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de El Salvador, 1971.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

En nuestro país y específicamente en obras de ingeniería civil el concreto es una mezcla altamente utilizada como material de construcción debido al crecimiento

poblacional la demanda del concreto para infraestructura es elevada, es por ello que surge la necesidad de estudiar las propiedades y características del concreto y de los materiales que lo componen, parámetros que se ven influenciados por la calidad de sus componentes, siendo las arenas utilizadas las que menores controles de calidad tienen en nuestro medio.

El origen de estas, se encuentran en la naturaleza y son explotadas para su obtención de ríos, canteras y diferentes bancos de materiales.

Dado su origen, la calidad de las arenas naturales explotadas de los ríos, se ven sometidas a diferentes contaminantes, que tienen una influencia en el comportamiento del concreto, existen además arenas que son extraídas de ríos, pero que se les da un tratamiento de lavado, que ayuda a remover los posibles contaminantes que estos poseen, o que al menos se encuentre dentro de los rangos permisibles por normativas, estas son las arenas naturales lavadas industrialmente.

Hasta la fecha en el país no se encuentran documentados registros acerca del empleo de las arenas lavadas industrialmente y su comportamiento en el concreto, por lo que, se pretende estudiar dicho comportamiento, realizando diseños de mezclas utilizando las arenas naturales (sin ningún tratamiento previo a su utilización) y luego utilizando las arenas lavadas, para determinar las ventajas o desventajas que se tiene en relación a las arenas naturales.

Además, se pretende realizar combinaciones en diferentes proporciones de ambas con el fin de determinar, la influencia que tienen éstas en el comportamiento del concreto.

1.4 OBJETIVOS.

1.4.1 OBJETIVO GENERAL.

- ✘ Determinar las ventajas y desventajas en el comportamiento del concreto, en estado fresco y endurecido utilizando arena natural, arena lavada industrialmente y la combinación natural-lavada industrialmente.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.

- ✘ Realizar una investigación teórica con la finalidad de conocer las propiedades de la arena natural y la arena lavada industrialmente; además, su uso y desarrollo histórico en la elaboración del concreto en nuestro país.
- ✘ Determinar las propiedades de los agregados: grava, arena natural, arena natural lavada industrialmente verificando si estos cumplen con las diferentes normas de calidad en la elaboración del concreto.
- ✘ Estimar variaciones de porcentajes para generar combinaciones entre arena natural y arena natural lavada industrialmente, y determinar si sus características cumplen con el requerimiento establecido en ASTM C-33.

- ✘ Diseñar mezclas de concreto considerando agregado grueso: grava y agregado fino: arena natural, arena lavada industrialmente y las combinaciones de ambas.
- ✘ Determinar las propiedades del concreto en estado fresco elaborado con arena natural, arena natural lavada industrialmente y la implementación de ambas como resultado de la combinación, por medio de los ensayos de revenimiento, temperatura, contenido de aire y peso volumétrico.
- ✘ Determinar las propiedades del concreto en estado endurecido elaborado con arena natural, arena natural lavada industrialmente y la implementación de ambas como resultado de la combinación, por medio de la determinación de la resistencia a la compresión e especímenes a la edad de 7 y 28 días; y resistencia a la flexión de especímenes a la edad de 28 días.
- ✘ Establecer las ventajas y desventajas que representa el empleo de arena lavada industrialmente en relación a la arena convencional para su utilización como agregado para el concreto.
- ✘ Analizar, interpretar y determinar el comportamiento del concreto elaborado con arena natural, arena natural lavada industrialmente y la combinación de ambas, a través de los resultados de los ensayos experimentales.

1.5 ALCANCES.

La investigación a desarrollar en el presente trabajo está enfocada a las propiedades y características de la arena natural, arena natural lavada industrialmente; así como también, la influencia del agregado fino en las mezclas de concreto hidráulico tanto en su etapa de estado fresco, como en su estado endurecido; por tanto, se pretende establecer:

- ✘ Diferentes diseños mezcla de concreto para resistencia de 280 kg/cm^2 y revenimiento de $4'' \pm 1''$ utilizando como agregado fino: arena natural sin ningún tipo de tratamiento previo, la arena natural lavada industrialmente y la combinación de ambas; con la finalidad de analizar el comportamiento del concreto en estado fresco y endurecido.
- ✘ Se proyecta comparar la calidad del concreto en estado fresco y endurecido con el uso de la arena natural, arena natural lavada industrialmente, y la combinación de ambos agregados finos, y determinar las ventajas y desventajas que ofrecen los concretos elaborados.

- ✘ Se pretenden investigar las mezclas de concreto hidráulico para una resistencia a la compresión de 280 kg/cm^2 , así como también, para un revenimiento de $4'' \pm 1''$.
- ✘ El número de especímenes que se elaboraran en la investigación para cada diseño de mezcla de concreto hidráulico, tomando como parámetro variable el agregado fino: arena natural, arena natural lavada industrialmente; así como también al menos dos combinaciones de ambas, será de 25 pares; de los cuales, se ensayaran 10 pares a la edad de 7 días y 15 a la edad de 28 días.

1.6 LIMITACIONES.

Para la presente investigación se prevé tener las siguientes limitaciones:

- ✘ No se utilizarán aditivos.
- ✘ El cemento a emplear en los diseños de las mezclas de concreto será exclusivamente el ASTM C-1157 tipo GU.
- ✘ Diseños de mezclas de concreto hidráulico corresponderán únicamente a resistencias a la compresión de 280 kg/cm^2 y revenimiento de $4'' \pm 1''$.
- ✘ Se realizarán combinaciones de agregado fino: arena natural y arena natural lavada industrialmente y se seleccionarán al menos dos para la elaboración del diseño de mezclas.

- ✘ Los agregados: grava, arena natural lavada industrialmente a utilizar serán provenientes de una sola cantera.
- ✘ El agregado fino sin tratar será obtenido de una sola fuente de materiales.
- ✘ Para concretos con agregado fino: arena natural y arena lavada industrialmente, se estudiarán las propiedades:
 - ◆ Estado fresco: revenimiento, temperatura, contenido de aire y peso volumétrico.
 - ◆ Estado endurecido: resistencia a la compresión a los 7 y 28 días, y resistencia a la flexión a los 28 días.

1.7 JUSTIFICACIONES.

A través del tiempo el concreto ha sido utilizado ampliamente como material de construcción, ya que ha dado muchas aportaciones al desarrollo de las civilizaciones humanas, por lo que se considera necesario realizar investigaciones en pro de mejorar la calidad de éste.

En nuestro medio generalmente las arenas utilizadas para la elaboración del concreto son extraídas de ríos y canteras, por ejemplo, una de las mayores fuentes de extracción es la arena proveniente del río Las Cañas, la cual se ve sometida a una contaminación y explotación indiscriminada que carece de

controles en la extracción de los materiales al tener impurezas y contaminantes que son potencialmente perjudiciales al concreto. Los procesos de extracción indiscriminada generan impactos significativos al medio ambiente que merecen ser controlados, atendiendo a esta necesidad es que existen en nuestro país empresas dedicadas a la explotación de algunos recursos naturales, pero para ello estas requieren de la obtención de permisos, los cuales ayudan a controlar los procesos de explotación, además, les realizan ciertos tratamientos a las arenas naturales que permiten mejorar su calidad.

Actualmente no se encuentran documentadas investigaciones que demuestren cual es el comportamiento del concreto con el uso de la arena natural lavada industrialmente en relación con arena natural sin ningún tratamiento. Razón por la cual se pretende realizar una investigación sobre la influencia que traería el uso de las arenas lavadas industrialmente en las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido; así como también, de las arenas naturales sin tratamiento previo y la combinación de ambas en diferentes proporciones, con el fin de determinar qué ventajas o desventajas se tienen en los concretos elaborados.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO:

COMPONENTES DEL CONCRETO

2.1 INTRODUCCIÓN.

En este capítulo se hace una descripción general referente a los componentes del concreto, los cuales consisten en grava, arena, agua y cemento así como su origen, tipo, clasificación y función en las mezclas de concreto; también, los requisitos que deben cumplir así como también sus características.

Para el desarrollo de la investigación se tendrá un especial enfoque en el agregado fino ya que se emplearán dos tipos de arena para la elaboración de las mezclas, una de las cuales será arena natural sin ningún tipo de tratamiento mientras la otra será una arena sometida a un proceso de lavado industrial; de estos agregados se mencionará su origen, litología, lugar de extracción, y antecedentes de las propiedades físicas de la calidad de estos, como también se presentará a manera de antecedentes, una comparación de sus características obtenidas mediante investigaciones documentadas previamente.

2.2 AGREGADOS.

Agregado, es un material granular duro de composición mineralógica, usado para ser mezclado en diferentes tamaños de partículas graduadas, como parte de una mezcla de concreto hidráulico. Los agregados típicos incluyen: arena, grava, escoria de alto horno o roca triturada; así como subproductos o material de desecho de algún proceso industrial u operación de minería y polvo de roca.

El comportamiento de un concreto se ve altamente influenciado por la selección apropiada del agregado, debido a que el agregado mismo proporciona las características de resistencia a la compresión.

Los tamaños de los agregados varían desde decímetros hasta el tamaño más pequeño de la arena. Las partículas más pequeñas que el tamaño de un grano de arena se consideran como impurezas, aun si ellas son de naturaleza mineral, dependiendo de la cantidad de estas y del uso que se requiere dar a los agregados, pueden tolerarse o removerse.

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

2.3 CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS.

La clasificación general de los agregados se puede realizar por:

- ✘ Su origen,
- ✘ El método de fragmentación,
- ✘ El tamaño de sus partículas,
- ✘ Sus propiedades químicas,

Para esta investigación se estudiará la clasificación por el método de fragmentación para el agregado grueso; los agregados de origen natural, ya que las arenas provienen de la explotación de los ríos.

2.3.1 POR EL MODO DE FRAGMENTACIÓN.

Los materiales obtenidos mediante este proceso son agregados que proceden directamente de las rocas fragmentadas por fuerzas y acontecimientos de origen natural que dan como resultado una amplia diversidad de clases, tipos y características en los agregados.

Agregados manufacturados.

Los agregados manufacturados proceden de rocas comunes cuya fragmentación puede ser ocasionada por medios artificiales. Se clasifican, por el tamaño de las partículas, en agregado grueso (grava) y agregado fino (Arena).

Características del agregado manufacturado.

Los principales aspectos físicos de calidad en los agregados manufacturados son además de la calidad intrínseca de la roca, la forma de la partícula, la granulometría y la limpieza, atributos que dependen en gran medida de los procesos de fragmentación de la misma. La forma de las partículas es de suma importancia ya que tiene repercusiones directas en la economía, la manejabilidad y el comportamiento del concreto.

2.4 FUNCIÓN DE LOS AGREGADOS.

Entre las funciones principales de los agregados, se pueden señalar las siguientes:

- a. En la pasta, forman una trabazón de tal manera que se genera una superficie de adherencia que disminuye los cambios de volumen y el volumen total que puede sufrir contracción.
- b. Proveen una masa de partículas aptas para resistir la acción de cargas aplicadas, abrasión, paso de humedad y acción climática.
- c. Son un relleno relativamente económico para el material cementante, si se toma en cuenta que los agregados son más económicos que el cemento.

- d. Reducen los cambios de volumen resultantes de los procesos de fraguado y endurecimiento, así como los cambios de humedad en la pasta de cemento.
- e. En estado plástico, el agregado fino (arena) y la pasta actúan como lubricantes de las partículas más gruesas para que el concreto pueda ser mezclado, transportado, colocado, compactado y terminado en forma adecuada.
- f. Aportan parte de la resistencia propia a la resistencia a la compresión del concreto.

2.5 ARENA NATURAL PROVENIENTE DEL RIO LAS CAÑAS.

2.5.1 GENERALIDADES.

La arena del río Las Cañas presenta como característica relevante un alto contenido de pómez, debido a la geología predominante en la zona así como también al origen aluvial que aporta materiales producto de la erosión.

2.5.2 FACTORES ANTRÓPICOS.

Debido a la explotación indiscriminada del Río Las Cañas, se tiene como factores influyentes en el área, las características y problemáticas siguientes:

- ✘ Susceptibilidad a la erosión en los márgenes y laderas del Río Las Cañas por estar constituida por materiales fácilmente erosionables: "Tierra Blanca".
- ✘ Desarrollo de urbanizaciones y asentamientos humanos en zonas aledañas y las Zonas de Protección del Río Las Cañas según el Plano y Ordenanza Municipal de Zonas de Protección y Conservación de los Municipios de Soyapango e Ilopango.
- ✘ Contaminación ambiental del río por las descargas de aguas negras y vertidos industriales sin tratamiento.
- ✘ Degradación ambiental por la actividad extractiva de arena en los márgenes del río.
- ✘ Proliferación de botaderos de desechos sólidos que se depositan en laderas y cauce del río provocadas por acciones del hombre.
- ✘ Daños en infraestructura de disposición de aguas lluvias, negras y de vertidos industriales.

2.5.3 ARENA NATURAL.

Las arenas naturales que se extraen del río Las Cañas, ubicado entre los Municipios de Ilopango, Soyapango, Apopa, Tonacatepeque y San Martín (ver figura № 2.1), localizados al noreste del Área Metropolitana de San Salvador; son producto de las canteras aluviales, debido al intemperismo y la erosión en

la zona; además, del arrastre de materiales en las llanuras aluviales (ver figura No 2.2) de la cuenca del Río Las Cañas.



Figura No 2.1: Mapa de zona de estudio Unidad Río Las Cañas (Estudio de amenazas en el área metropolitana de San Salvador, unidad territorial las cañas) 2008



Figura No 2.2: Llanura aluvial río las Cañas

2.5.4 ASPECTOS GEOLÓGICOS DEL RÍO LAS CAÑAS.

Para conocer la calidad de los materiales pétreos existentes que se extraen del Río Las Cañas, se presenta a continuación la composición geológica de su cuenca (ver figura Nº 2.3 y tabla Nº 2.1):

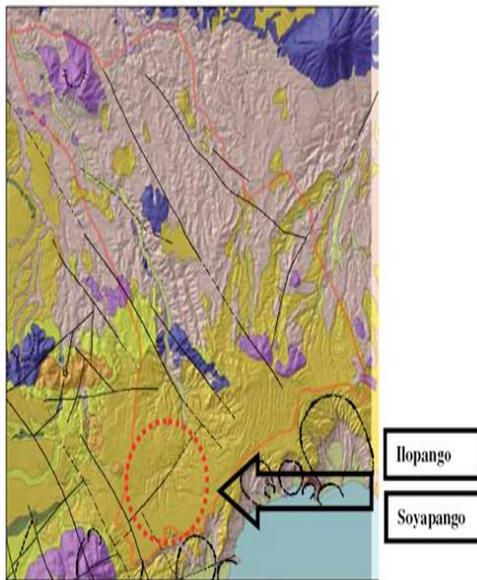
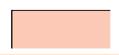


Figura Nº 2.3: Mapa geológico unidad territorial río Las Cañas (Mapa geológico, Misión Geológica Alemana)

Tabla Nº 2.1: Geología de la cuenca del Río Las Cañas.

SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
	<p>Depósitos Sedimentarios del Cuaternario:</p> <p>Depósitos sedimentarios asociados a las llanuras de inundación y zonas de acumulación de los meandros, en particular del río Las Cañas.</p>
	<p>Efusivas básicas Intermedias C3</p> <p>Rocas efusivas de la Formación Cuscatlán de tipo andesítico y basáltico.</p>
	<p>Piroclastitas acidas, epiclastitas volcánicas, c1</p> <p>Materiales de la Formación Cuscatlán, caracterizados por la presencia de bombas de pómez, lavas dacíticas vítreas y andesitas entre una masa fina de cenizas no estratificadas.</p>

	<p style="text-align: center;">Efusivas Básicas Intermedias</p> <p>Rocas efusivas de la Formación Bálsamo que afloran en el cerro Sartén y que están constituidas por lavas andesíticas y basálticas con intercalaciones de tobas endurecidas y basaltos.</p>
	<p style="text-align: center;">Epiclastitas volcánicas y piroclastitas</p> <p>Depósitos de materiales laicos y piroclásticos que han sido expuestos a procesos de transportes y deposición en otro lugar por agentes erosivos y de transporte, en este caso la escorrentía superficial.</p>
	<p style="text-align: center;">Piroclásticas ácidas, epiclastitas volcánicas (tobas color café), s3a</p> <p>Materiales detríticos de la Formación San Salvador, expulsados por las chimeneas volcánicas, transportados al aire y luego depositados en la superficie del terreno.</p>
	<p style="text-align: center;">Tierra blanca, s4</p> <p>Materiales de la Formación San Salvador, compuestos por cenizas volcánicas, caracterizadas por un tamaño de grano muy fino (limo-arenoso, su color blanco, ser deleznales y de poca cohesión.</p>

Fuente: Mapa geológico, Misión Geológica Alemana

Tal como puede observarse en el mapa geológico (Figura N° 2.3) de la zona de extracción, esta presenta una litología que se limita a la Tierra Blanca, identificada como **s4** dentro de la formación San Salvador; de acuerdo al Mapa Geológico de El Salvador, realizado por la Cooperación Alemana en los años 70.

La Unidad **s4**, se la conoce actualmente como Tierra Blanca Joven (TBJ). Es un material que resulta de la última erupción pliniana del volcán de Ilopango en el año 430 d.C. Está compuesto por cenizas volcánicas, caracterizadas por un tamaño de grano muy fino (limo-arenoso) de color blanco, partículas deleznales y de poca cohesión.

Los depósitos piroclásticos de TBJ (Tierra Blanca Joven) están constituidos fundamentalmente por fragmentos de vidrio volcánico que forman las cenizas de tamaños correspondientes a arena fina y limo (muy abundante), fragmentos de pómez y líticos (tamaño grava, arena y bloques), polvo volcánico (arcilla no plástica) y en menor cantidad cristales (tamaño arenas y limos).

2.5.5 GEOMORFOLOGIA.

A continuación se presenta la geografía y la geología (ver figura N° 2.4) de las formas de la superficie terrestre existente en la zona comprendida por el cauce del río Las Cañas, asimismo en la tabla N° 2.2 se describe su geomorfología.

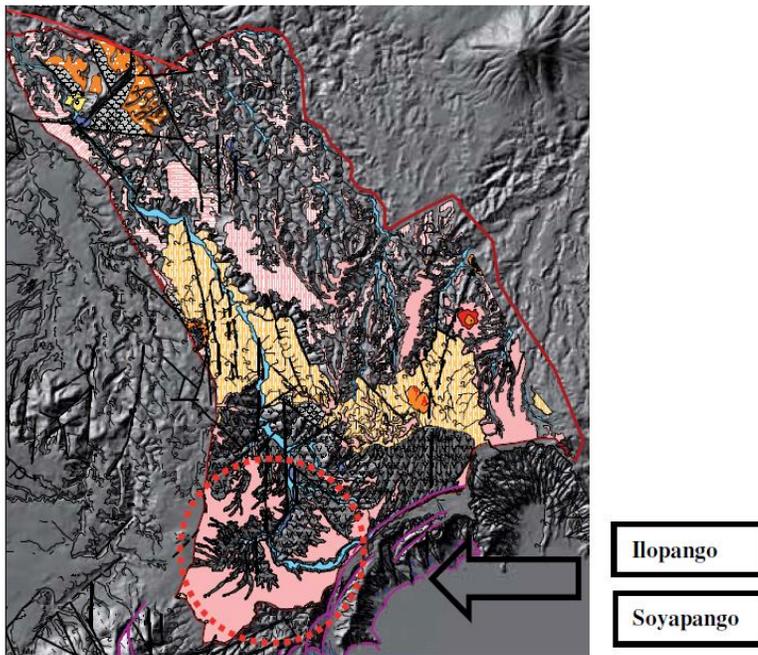


Figura N° 2.4: Mapa Geomorfológico ("Estudio de amenazas en el área metropolitana de San Salvador, unidad territorial: Las Cañas" Geólogos del Mundo - 1ª. Ed. - San Salvador, El Salv. : Geólogos del Mundo, 2008. OPAMSS, AMSS)

Tabla Nº 2.2: Geomorfología de la cuenca del Rio Las Cañas.

SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
	<p style="text-align: center;">Pómez (tierra blanca)</p> <p>Restos aislados de las capas de Tierra blanca producto de la erupción de Ilopango, depositadas sobre materiales más antiguos y erosionados por los cursos de agua.</p>
	<p style="text-align: center;">Planicie estructural (nivel alto)</p> <p>Restos estructurales que corresponden a capas de flujos piroclásticos bien consolidados afectadas por la tectónica y procesos erosivos que están ubicados entre los cañones profundos.</p>
	<p style="text-align: center;">Llanura aluvial</p> <p>Superficie plana asociada a los cursos fluviales principales generadas por procesos de erosión y sobre todo de acumulación de materiales arrastrados por los ríos.</p>
	<p style="text-align: center;">Badland</p> <p>Morfología extremadamente abrupta y áspera formada por una red de drenaje muy densa, con muchos barrancos fuertemente inclinados, y generalmente sobre una formación sedimentaria blanda.</p>

Fuente: Mapa geológico, Misión Geológica Alemana

Como se observa en el mapa Geomorfológico (Figura Nº 2.4), la zona en estudio está conformada por Tierra Blanca, llanura aluvial y morfología Badland. Por otro lado, otro agente geomorfológico reciente es la urbanización, ya que transforma el relieve radicalmente. Con ella, se dan cambios en la forma, siendo el más serio aquel llevado a cabo en el sistema de drenaje y la infiltración del agua de la lluvia. La erosión intensa en el lugar es probablemente debida a que una parte del área está urbanizada y la mayor parte de la superficie está pavimentada, en donde la infiltración del agua de lluvia es poca y el desagüe superficial es enorme.

La urbanización provoca cambios en la topografía natural del "badland" (ver figura Nº 2.5), que consiste en un tipo de paisaje ruiniforme de características áridas y de litología rica en lutitas, extensamente erosionado por el agua y el viento, como ejemplo de ellos se puede mencionar: cañones, cárcavas, barrancos, canales, chimenea de hadas (columnas de roca con formas en sus picos) y otras formas geológicas del estilo son comunes en las badlands.



Figura Nº 2.5: Relieve Badlands mostrando movimientos de laderas y erosión del río de las Cañas.

Además las erosiones presente a los márgenes del río las cañas son de dos tipos: la erosión vertical que se encuentra intensamente en el área estudiada e impacta el sistema de drenaje, en los lechos de cañones y las quebradas profundas y desarrolla el relieve de tipo "badlands"; y también, la erosión lateral (ver figura Nº 2.6) de los ríos y su efecto de ampliar las quebradas y cañones; está, es muy activa especialmente cuando las lluvias son muy fuertes. Muchas paredes de las quebradas y cañones se derrumban por la erosión lateral de la corriente del río.



Figura Nº 2.6: Erosión lateral en el río Las Cañas [Julio, 2009] (Investigación Tierras Blancas Joven TBJ unidad G, Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas”)

2.5.6 CARACTERÍSTICAS DEL AGREGADO FINO DEL RÍO LAS CAÑAS.

El agregado proveniente del río Las cañas presenta como característica importante la presencia de material con un alto contenido de pómez, la cual presenta vacíos en su interior que la hacen liviana; además, se espera que tenga las siguientes características que se mencionan a continuación:

- ✘ Los valores de gravedad específica serán menores en relación a las arenas lavadas industrialmente, esto debido a que el volumen de material sólido que excluye todos los poros es menor y por lo tanto define la relación del peso del cuerpo sólido referido al vacío.
- ✘ La absorción del agregado del río Las Cañas sea mayor, porque es un material de origen volcánico que es producto del descenso de presión y rápido enfriamiento de las masas de fusión acidas con una gran cantidad

de gases que generan la acumulación de porosidades. Los poros en las partículas del agregado fino afectan la adherencia entre el agregado y la pasta de cemento, pudiendo afectar la resistencia del concreto.

- ✘ En cuanto al análisis granulométrico, la arena de origen volcánico posee características de tamaño de grano muy fino, y si se tiene exceso de partículas que pasen las mallas N^o 50 y la N^o 100, se espera que el módulo de finura sea menor, lo que indica que el área específica del agregado es grande afectando la trabajabilidad, textura superficial y el sangrado del concreto.
- ✘ En el caso del material más fino que la malla N^o 200, se espera que la arena del río Las Cañas posea mayor finura en relación con la arena lavada industrialmente; debido al origen geológico de cada una.

2.6 ASPECTOS GEOLOGICOS DEL RIO TIHUAPA.

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

Las arenas naturales que se extraen del río Tihuapa ubicado en Cangrejera, perteneciente a la cuenca Panchimalco-Planicie Costera son producto de la desintegración o fragmentación de rocas preexistentes debido al intemperismo y la erosión; procedentes de la roca basáltica de Panchimalco. Su ubicación se debe al proceso de transporte y depositación 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 N° 2.7 Planta de extracción y lavado de arena natural. Fuente: Google Earth. Mayo 2013

El basalto está clasificado como una roca ígnea, y debido a la dureza que posee es un material de buena calidad para su empleo en la elaboración de concreto. En la figura N° 2.7 se presenta la ubicación de la planta de extracción y lavado de La Cantera S.A. de C.V.

La figura Nº 2.8 muestra la geología predominante en los lugares de explotación de agregados de la Planta La Cantera de la cual son provenientes la grava y la arena lavada industrialmente a emplear en esta investigación.

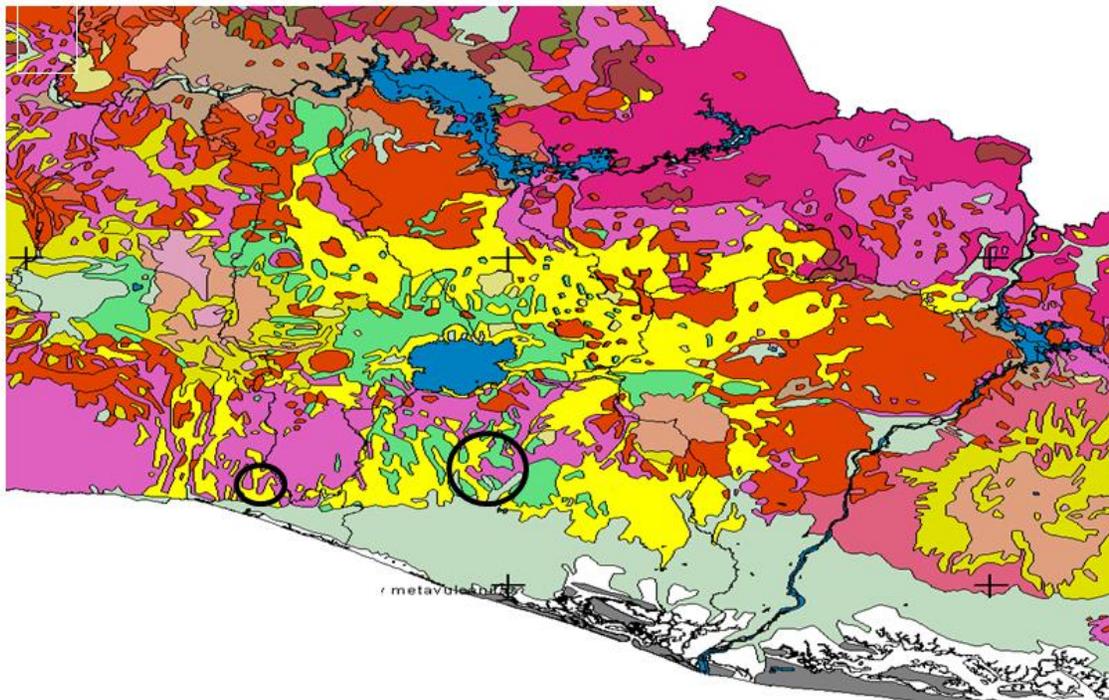


Figura Nº 2.8: Ubicación de cantera San Diego y Jiboa según mapa Geológico General de la Republica de El Salvador, Hannover 1974, Elaborado por la Misión Alemana.

A continuación se presenta en la tabla No 2.3 la descripción y simbología de la ubicación de la cantera San Diego y Río Tihuapa según mapa Geológico General de la Republica de El Salvador, Hannover 1974, Elaborado por la Misión Alemana:

Tabla No 2.3: Geología de la zona de explotación de la arena lavada industrialmente.

SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
	Piroclastitas acidas, epiclastitas volcanicas, tobas ardientes y fundidas
	Piroclástitas ácidas (tierra blanca)
	Epiclastitas volcánicas, piroclástitas, corrientes de lavas intercaladas

Fuente: Mapa geológico, Misión Geológica Alemana.

2.7 ANÁLISIS AMBIENTAL DE LA ARENA NATURAL EXTRAÍDA DE RÍOS.

La importancia de minimizar el uso de la arena natural es considerar aspectos fundamentales para la protección del medio ambiente, como por ejemplo: evitar el dragado excesivo de ríos y quebradas por obtener grandes volúmenes de agregados, con el objeto de ser comercializados en el área de la construcción, lo que implica daños de carácter irreversible en el cauce de estos y al medio ambiente, así como una serie de repercusiones a una cuenca dentro de un ecosistema, a una población y por ende a una nación.

De acuerdo a este planteamiento, significa que la extracción de material en ríos en una sola franja, produce una degradación de la cuenca y eso puede ocasionar desbordamientos. Además, la pérdida de rugosidad natural hace que el río se conduzca con mayor velocidad y con ello, afecte sobre todo, las zonas bajas de la cuenca y la población comprendida dentro de ella.

En caso de seguir extrayendo arena natural de ríos, es recomendable que se realice en forma planificada, sin exceder los volúmenes permitidos de material, dando lugar a la recarga de los mismos; así también, la utilización de diferentes bancos aluviales. Un ejemplo claro es el de esta investigación, en la cual se tiene como alternativa la arena extraída del río Tihuapa que es sometida a un proceso de lavado industrial, para la remoción de impurezas orgánicas y materiales finos a través de un manejo adecuado de los recursos naturales con controles ambientales de explotación.

Lastimosamente y por lo general, las normativas y reglamentos establecidos para controlar estos daños al medio ambiente no se respetan y la explotación se repite constantemente, situación que debería despertar la concientización en los organismos competentes para la implementación de medidas eficientes y satisfactorias para los intereses de la población y sobre todo los del medio ambiente.

2.7.1 CLASIFICACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES QUE GENERA LA EXTRACCIÓN DE LAS ARENAS DE RÍO.

Los impactos de la extracción de arenas naturales de cauces aluviales pueden ser clasificados en tres categorías:

2.7.1.1 FÍSICOS.

La extracción en gran escala de materiales de cauces aluviales, la explotación de materiales y dragado debajo del fondo del cauce y la alteración de la forma y sección del canal que lleva a impactos tales como la erosión del lecho y bancos, aumento de la pendiente longitudinal del cauce y cambios en la morfología del canal. Estos impactos pueden causar:

- ✘ El colapso de los bancos.
- ✘ La pérdida de terrenos adyacentes a los bancos.
- ✘ Erosión aguas arriba debido a aumentos en la pendiente del canal y cambios asociados en la velocidad de flujo.
- ✘ Socavación de fundaciones de estructuras de puentes
- ✘ Erosión aguas abajo debido a una mayor capacidad de transporte de la corriente, cambios en los patrones de deposición aguas abajo, y cambios en el lecho y tipos de hábitat.

2.7.1.2 CALIDAD DEL AGUA.

La extracción y dragado de materiales, la acumulación y eliminación no controlada de materiales de desecho, y los derrames de productos químicos y combustibles pueden causar la reducción en la calidad del agua para usos domésticos, un mayor costo de tratamiento de agua y el envenenamiento de la vida acuática y con ello su desaparecimiento.

2.7.1.3 ECOLÓGICOS.

La extracción que lleva a la remoción del material de substrato, la eliminación de vegetación y el almacenamiento de materiales en el cauce, tendrá impactos ecológicos. Estos impactos podrán tener efecto en la pérdida directa del hábitat en el cauce, el disturbio de especies que habitan los depósitos, reducción en la penetración de luz, reducción en la producción primaria y una reducción de oportunidades de alimentación para las especies del sitio.

Según el Art. 82 de la Ley del Medio Ambiente de la República de El Salvador, se puede mencionar que es obligatorio solicitar un permiso ambiental, para las extracciones de agregados, además el Reglamento General de La Ley del Medio Ambiente, en el título III, estableciendo las obligaciones de los responsables de las extracciones:

- ✘ Cumplir con la extracción del volumen autorizado,

- ✘ Conservar el cauce de los ríos,
- ✘ Utilizar tecnología y procedimientos adecuados que prevengan y minimicen la generación de residuos.

Pero actualmente, en la realidad es muy difícil controlar esta situación especialmente la extracción de arena de ríos.

Se puede considerar reducir el impacto ambiental con el uso de la arena lavada industrialmente, ya que si bien, es procedente de río, las empresas encargadas de esta explotación mantienen ciertos controles (aunque no en su totalidad) según un permiso ambiental extendido por parte del MARN; el cual exige que se tengan ciertos cuidados los cuales permitirán preservar los ecosistemas que estos ríos comprenden, sus características morfológicas y mantener una buena calidad del agua de la cual la población aledaña se sirve, evitándoles posibles enfermedades. Estos beneficios entre otros pueden ser alcanzados en cierta medida, la cual dependerá de la ética y honestidad de las empresas encargadas de llevarlo a cabo, pues no existen en el país mayores medidas para controlar el cumplimiento de las condiciones establecidas en los permisos otorgados ya que la extracción de arena natural en ríos es un método artesanal el cual es muy difícil de controlar.

2.8 ARENA NATURAL LAVADA INDUSTRIALMENTE.

La arena natural lavada industrialmente es un agregado pétreo el cual comprende partículas de agregado menores de 4.75 mm (malla No. 4), pero mayores de 75 micras (malla No. 200), que resulta de la desintegración natural y de la abrasión de la roca, con la particularidad de ser sometida a un proceso de remoción de impurezas orgánicas, material más fino que la malla No. 200 y partículas de peso ligero mediante un proceso de lavado industrial (Ver figura N° 2.9).



Figura N° 2.9: Arena natural Lavada Industrialmente (CANTERA S.A. 2013)

2.8.1 PROCEDIMIENTO DE LAVADO INDUSTRIAL.

Previamente al lavado, la arena natural es extraída y transportada hasta el acopio (ver figura N° 2.10), para luego dar inicio al proceso que se detalla a continuación:



Figura N° 2.10: Extracción de arena, río Tihuapa (abril 2013)

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 sobretamaño 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 por aspersión a la arena con el fin de remover limos, arcillas y partículas ligeras. A

continuación se presenta en la figura N° 2.11 la máquina de lavado empleada por la empresa La Cantera para la extracción de la arena del río Tihuapa.



Figura N° 2.11: Máquina de lavado de arena (abril 2013).

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 (en la figura N° 2.12 se 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 N° 2.12: 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 N° 2.13), 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 2.14 se puede observar el producto final que es, en este caso la arena natural lavada industrialmente.



Figura No 2.13: Tornillos sin fin (Gusanos helicoidales)



Figura No 2.14: Producto final Arena natural lavada industrialmente

2.8.2 APLICACIONES DE LA ARENA NATURAL LAVADA INDUSTRIALMENTE.

Esta arena puede ser utilizada en la elaboración de concreto hidráulico en todas las obras civiles, ya sea proyectos de infraestructura vial como lo es el caso del proyecto de Carretera Los Chorros en nuestro país, el cual se ha utilizado satisfactoriamente la arena natural lavada industrialmente; así también, para la construcción de edificios, presas, urbanizaciones entre otros múltiples usos del concreto. La arena natural lavada industrialmente garantiza en cierta medida una arena libre excesivas impurezas orgánicas, limos, arcillas y partículas ligeras que no son deseables en nuestro concreto.

2.8.3 VENTAJAS DE USAR ARENA NATURAL LAVADA INDUSTRIALMENTE.

- ✘ Cuenta con una reducción considerable de limos, arcillas que puedan afectar la resistencia del concreto o bien dar aporte a la formación de “natas” (de color gris o blanco) manifestadas por la eflorescencia en la superficie del concreto después del colado; las cuales están formadas por compuestos solubles como carbonatos, silicatos, cloruros, entre otros. Esta eflorescencia puede debilitar las partes en donde se formen, además evita la adherencia entre el concreto endurecido y el fresco.

- ✘ Con la remoción de finos se tiene la ventaja de requerir una menor demanda de cemento para una resistencia dada, debido a que mayor finura presente en el agregado se incrementa su área superficial.
- ✘ La relación A/C suele fijarse generalmente de acuerdo a las consideraciones de resistencia y si tiene un exceso de finos, la cantidad de pasta debe ser suficiente para cubrir la superficie de todas las partículas, lo que resultaría antieconómico al tener que aumentar la relación A/C para mantener los requerimientos de resistencia. A medida que la partícula del agregado es más grande, se reduce el área específica que es preciso cubrir con pasta.
- ✘ Eliminación de impurezas orgánicas, las cuales podrían afectar el fraguado y el endurecimiento del concreto además de posibles deterioros.
- ✘ Debido a la remoción de partículas ligeras que tiene lugar en el proceso de lavado, se cumple con algunos de los requisitos más importantes que debe cumplir el agregado fino para su empleo en el concreto, como son el consistir en partículas durables, limpias, duras y resistentes; lo cual implica concretos resultantes más densos y con una mayor resistencia a la compresión.

- ✘ Disminución del impacto ambiental debido a que la explotación y tratamiento de estas arenas está a cargo de empresas responsables, las cuales cuentan con permisos otorgados por entidades destinadas a la preservación del medio ambiente; dichos permisos limitan generalmente el volumen de extracción por año, el cual se debe ser aquel que permita la regeneración y balance del lugar de extracción.

2.9 ANALISIS DE IMPACTO AMBIENTAL DEL RÍO TIHUAPA.

La arena es extraída del río Tihuapa, departamento de La Libertad, cuyo origen de la roca madre es basáltico, con lo cual se puede decir que es un material de buena calidad en cuanto a resistencia y por la dureza que posee el basalto.

Con el Estudio del Impacto Ambiental realizado por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales para la explotación de la arena del río Tihuapa en el Cantón Cangrejera departamento de La Libertad, se obtuvo un permiso de extracción anual de 75,000m³ de arena únicamente en época seca, en un periodo de 10 años a partir de 2005, según RESOLUCION MARN-N^o-4976-89-2005, con el cual garantiza que no se verá desestabilizado el ecosistema ni se afectará directamente a la población con inundaciones, debido a que no habrá un dragado excesivo del río.

La empresa La Cantera S.A de C.V, ubicada sobre el Km 70 Carretera El Litoral, Hacienda Cangrejera, Municipio y departamento de la Libertad actualmente

son los únicos que extraen este material del río. Realizando dicha labor de manera responsable, optimizada y cumpliendo los requerimientos de Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

2.10 COMPARACIÓN ENTRE LAS PROPIEDADES DE LA ARENA NATURAL DEL RÍO LAS CAÑAS Y LA ARENA LAVADA INDUSTRIALMENTE.

Para poder establecer una símil entre el comportamiento del concreto elaborado con arena natural del río Las Cañas, arena natural lavada industrialmente y combinaciones de ambas, es de suma importancia conocer las propiedades físicas de estos tipos de arenas, ya que estas pueden ser fuente de explicación de diversos comportamientos en el concreto elaborado. A continuación se presenta la tabla N° 2.4, que muestra una comparación entre las propiedades físicas de los dos tipos de arena a emplear en esta investigación, mediante datos históricos obtenidos.

Tabla No 2.4: Comparación entre las propiedades físicas de la arena natural del río Las Cañas y la arena natural lavada industrialmente del río Tihuapa.

PROPIEDAD FÍSICA	TIPO DE ARENA		TIPO DE ARENA	
	*Arena natural lavada industrialmente (Río Tihuapa)	**Arena natural (río Las Cañas)	+Arena natural lavada industrialmente (Río Tihuapa)	++Arena natural (río Las Cañas)
Absorción (%)	4.72	6.94	6.45	8.52(julio/diciembre)
Módulo de finura	2.57	2.76	2.66	2.66
Equivalente de arena (%)	85.6		89.4	-
Sanidad de los agregados (%)	1.42		5.70	12
Peso volumétrico (kg/m ³)			1150	-
% de grumos de arcilla y partículas desmenuzables	0.13	0.41	1.34	5
Partículas livianas en el agregado (%)	8.95	12.63	10.10	1
Gravedad específica sss	2.64	2.27	2.46	2.65
% de material que pasa la	-	3.91	-	1

malla No.200			
Impurezas orgánicas	Más claro que la placa No. 1	-	Más claro que la placa No. 3
			3ª graduación

Fuentes:

*Ensayos realizados por La Cantera S. A. de C.V. e ICIA S. A. de C.V. (Laboratorio de suelos y materiales), febrero 2013.

**"Influencia de la arena triturada, como agregado fino, en las propiedades en estado fresco y endurecido, de mezclas de concreto hidráulico", Ing. Jorge Rugamas Dinarte. El Salvador 2012.

++"Estudio de la calidad de los agregados para concreto en las canteras más importantes de El Salvador", Julio Cesar Argueta Alvarado, José Inés Portillo Vásquez, Arístides Sorto Gómez. El Salvador 1998.

+Ensayos realizados por La Cantera S. A. de C.V. (Laboratorio de suelos y materiales), marzo 2013.

2.11 EL CEMENTO.

El cemento portland es un polvo fino que cuando se mezcla con el agua se convierte en un pegamento que mantiene los agregados unidos en el concreto (ver figura No. 2.15).

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



Figura No. 2.15 Cemento Portland

El cemento no es un compuesto químico simple, sino una mezcla de muchos compuestos. Cuatro de ellos forman el 90 % o más del peso del cemento y son: el silicato tricálcico, el silicato dicálcico, el aluminato tricálcico y el aluminaferrito tetracálcico. (cap 2 PCA)

2.11.1 PROPIEDADES DEL CEMENTO.

2.11.1.1 FINURA.

Este es un factor que afecta la hidratación del cemento, sin importar la composición química del mismo. Entre más fino es la molienda mayor es el calor de hidratación y el resultante incremento de resistencia acelerada. La razón por la cual un cemento más fino resulta en una hidratación más rápida es debido a que en estos, el área superficial de los granos de cemento es mayor en relación con uno de granos de molido grueso, puesto que el agua está en una mayor área de contacto. El incremento en resistencia debido a la finura es evidente durante los primeros siete días.

La finura se mide por medio del ensaye del turbidímetro de Wagner (ASTM C115), el ensaye Blaine de permeabilidad al aire (ASTM C204), o con la malla

No 325 (45 micras) (ASTM C430). Aproximadamente del 85% al 95% de las partículas de cemento son menores de 45 micras.

2.11.1.2 SANIDAD.

Es la capacidad de un cemento mantener un volumen estable después del fraguado. Un cemento sin sanidad exhibirá agrietamiento, rotura y una eventual desintegración de la masa de material. Esta destrucción retrasada debido a la expansión es ocasionada por excesivas cantidades de cal libre o magnesio presente en el cemento. El ensayo corriente para la sanidad del cemento es el ensayo del Auto-clave de ASTM C 151

2.11.1.3 REACCIÓN AGUA-CEMENTO.

La hidratación es la reacción química que tiene lugar cuando el cemento portland y agua se mezclan juntos. Cuando el cemento se mezcla con agua forma una pasta fluida; la mezcla eventualmente se vuelve rígida y luego endurece; este proceso se llama fraguado.

2.11.1.4 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.

La resistencia a la compresión de los cementos se determina en cubos estándar de 2 pulgadas, ensayados de acuerdo a la norma ASTM C109. Los resultados de este ensayo son útiles para comparar resistencias de varios cementos en condición de pasta neta.

2.11.1.5 CONSISTENCIA.

La consistencia se refiere a la movilidad relativa de una pasta de cemento o mortero recién mezclado o bien a su capacidad de fluir. La consistencia normal del cemento se rige mediante la norma ASTM C187

2.11.1.6 .PESO ESPECÍFICO.

Se refiere a la gravedad específica del cemento la cual generalmente tiene un valor de 3.15 para un cemento puro; en nuestro caso se empleara el valor que resulte del desarrollo del ensayo de gravedad específica del cemento regido por la norma ASTM C 188. Cabe mencionar que no es un indicador de la calidad del cemento; su uso principal es en cálculos del proporcionamiento de mezclas.

2.11.1.7 PÉRDIDA POR IGNICIÓN.

El ensaye para la pérdida por ignición se lleva a cabo mediante la norma ASTM C114.

2.11.2 TIPOS DE CEMENTO.

Con la evolución de la tecnología del concreto en el tiempo se han ido cambiando las propiedades del cemento, ajustándolas a las necesidades que se presentan al ser humano para hacer elementos de concreto en particular, los cuales cumplan con determinadas características especiales, dichas propiedades del cemento están especificadas en normas que regulan todos los parámetros necesarios para fabricar los diferentes tipos de cemento; entre ellos podemos

mencionar los cementos mezclados los cuales se fabrican bajo la especificación ASTM C595(cementos con adiciones), la cual comprende los tipos IS, IP, P, I(PM), I(SM), S. Estos cementos consisten en mezclas, que se muelen juntas, de clinker y ceniza muy fina, puzolana natural o calcinada, o bien, escoria, dentro de los límites en porcentaje especificados de los componentes. También pueden consistir en mezclas de cal de escoria y cal de puzolana. En general, pero no necesariamente, estos cementos dan lugar a una resistencia mayor a la reacción álcali-agregado, al ataque por sulfato y al ataque del agua de mar, pero requieren un curado de mayor duración y tienden a ser menos resistentes a los daños por la sal para deshelar y descongelar. Dan lugar a una menor liberación de calor y es posible que ganen resistencia con mayor lentitud, en especial a bajas temperaturas.

Además, se encuentran aquellos elaborados según la especificación ASTM C150 (cementos Portland) los cuales resultan de la molienda conjunta de clinker más un porcentaje de yeso para regular el fraguado, esta especificación considera los tipos I, II, III, IV y V y sus correspondientes con inclusor de aire.

Por otro lado en los años 90 se crearon las especificaciones de desempeño para los cementos hidráulicos: ASTM C1157, "Especificación de Desempeño para Cementos Hidráulicos (Performance Specification for Hydraulic Cements)". Esta especificación se indica genéricamente para los cementos hidráulicos que

incluyen cemento portland, cemento portland modificado y cemento hidráulico mezclado. Los cementos en acuerdo con los requisitos de la norma ASTM C1157 satisfacen a los requisitos de ensayos de desempeño físico, oponiéndose a restricciones de ingredientes o de composición química del cemento, las cuales se pueden encontrar en otras especificaciones. La ASTM C 1157 presenta seis tipos de cementos hidráulicos: GU, HE, MS, HS, MH y LH.

Habiendo mencionado los diferentes tipos de cementos que se fabrican según la ASTM, es necesario destacar que en esta investigación se utilizará únicamente el tipo GU (de uso general) elaborado bajo la norma ASTM C1157; este tipo de material cementante fue seleccionado debido a que es adecuado para todas las aplicaciones donde las propiedades especiales de los otros tipos no sean necesarias, es decir, es un tipo empleado en una gran variedad de estructuras de obra gris. Se utiliza en concretos que no estén sujetos al ataque de factores agresivos tales como el ataque de sulfatos existentes en el suelo o en el agua o en concretos que tengan un aumento cuestionable de temperatura debido al calor generado durante la hidratación. Así pues, su uso en concreto incluye pavimentos, pisos, edificios en concreto armado, puentes, tuberías, productos de concreto prefabricado y otras aplicaciones donde se usa el cemento Tipo I.

A continuación se presenta la tabla No. 2.5 en la cual se muestra la especificación para el cemento a utilizar en esta investigación:

Tabla No 2.5: Especificación estándar para cemento ASTM C1157 tipo GU.

PROPIEDAD O CARACTERISTICA	METODO DE ENSAYO APLICABLE (ASTM)	CEMENTO TIPO GU
<i>Finura</i>	C 204	---
<i>Cambio de longitud en autoclave, (máx. %)</i>	C 151	0.80
<i>Tiempo de fraguado, ensayo de Vicat</i>	C 191	
<i>Inicial, no menor que, (minutos)</i>		45
<i>Final, no mayor que; (minutos)</i>		420
<i>Resistencia mínima a compresión Mpa (Psi)</i>	C 109/ C109 M	
<i>1 día</i>		---
<i>3 días</i>		13(1890)
PROPIEDAD O CARACTERISTICA	METODO DE ENSAYO APLICABLE (ASTM)	CEMENTO TIPO GU
<i>7 días</i>		20(2900)
<i>28 días</i>		28(4060)
<i>Calor de hidratación</i>	C 186	
<i>7 días</i>		
<i>Max. KJ/Kg (Kcal/Kg)</i>		---
<i>28 días</i>		
<i>Max. KJ/Kg (Kcal/Kg)</i>		---

<i>Expansión de barras de mortero 14 días, % máx.</i>	C 1038	0.020
<i>Expansión por sulfato (resistencia a los sulfatos)</i>	C 1012	
<i>6 meses máx. %</i>		---
<i>1 año máx. %</i>		---

Fuente: Norma ASTM C 1157: "Especificación de Desempeño para Cementos Hidráulicos (Performance Specification for Hydraulic Cements)".

2.12 AGUA PARA CONCRETO.

Prácticamente cualquier agua natural que sea potable (ver figura No. 2.16) y no presente fuerte sabor u olor se la puede usar como agua de mezcla (de mezclado, de amasado) para la preparación del concreto. Por otra parte cabe mencionar que se pueden emplear en concreto algunas aguas consideradas no potables; sin embargo el agua de mezclado para concreto debe cumplir con los requisitos de las normas ASTM C94: "Especificación estándar para concreto recién mezclado", ASTM C1602M: "Especificación estándar para agua de mezclado usada en la producción de concreto de cemento hidráulico" y ACI 318S-08: "Requisitos de reglamento para concreto estructural (capítulo 3.4)".



Figura No. 2.16 Agua de mezclado.

El agua que es buena para beber se considera apta para su empleo en el concreto.

La norma ASTM C 1602M permite el uso de agua potable sin practicarle ensayos e incluye métodos para calificar las fuentes de agua no potable, considerando los efectos en el tiempo de fraguado y la resistencia. Se establecen frecuencias de ensayo para asegurar el monitoreo continuo de la calidad del agua; también, incluye límites opcionales para los cloruros, sulfatos, álcalis y sólidos en el agua de mezclado (ver tabla No. 2.7) a los que se puede apelar cuando sea necesario. Entre las fuentes de agua que define la norma podemos mencionar:

- ✘ **Agua combinada:** Una mezcla de dos o más fuentes de agua combinadas juntas, antes o durante su introducción en la mezcla, para usarla como agua de mezclado en la producción de concreto.
- ✘ **No potable:** las fuentes de agua que no se ajustan para el consumo humano o que contienen cantidades de sustancias que la decoloran o

le den olor o sabor cuestionable, pero que no contienen agua de las operaciones de producción del concreto.

- ✘ **Agua potable:** agua aceptable para consumo humano.
- ✘ **Agua proveniente de las operaciones de producción del concreto:** agua recuperada del proceso de producción de concreto de cemento hidráulico, que incluye agua del lavado de mezclas o que fue parte de una mezcla de concreto, agua colectada en una cuenca como resultado de la esorrentía o agua de lluvia recolectada en un centro de producción de concreto, o agua que contiene cantidades de ingredientes de concreto.

Para poder emplear en concreto agua de dudosa calidad, se debe verificar su desempeño. Por ejemplo, se aconseja realizar cubos de mortero (ASTM C 109M o AASHTO T 106) preparados con el agua dudosa tengan la resistencia a los 7 días igual a por lo menos 90% de la resistencia de los especímenes de referencia preparados con agua potable o agua destilada. Además, se debe garantizar a través de ensayos del tiempo de fraguado que las impurezas en el agua de amasado no van a disminuir o aumentar adversamente el tiempo de fraguado del cemento (ver tabla No. 2.6).

Tabla No. 2.6: Requerimientos de desempeño del concreto para el agua de mezcla.

<i>Método de ensayo</i>	<i>Límites</i>	<i>Normativa</i>
<i>Resistencia a la compresión, %<i>min</i>, controlado a los 7 días</i>	90	C31/C31M,C 39/C39M
<i>Tiempo de fraguado, desviación de control, h:min</i>	Desde una 1:00 antes, hasta 1:30 más tarde.	C 403/C403M

Fuente: Norma ASTM C 109M: "Método de ensayo estándar para la resistencia a la compresión del mortero de cemento hidráulico".

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

Tabla N° 2.7: Límites Químicos opcionales para el agua de mezclado combinada^A.

	Limites	Método de ensayo
Concentración máxima en el agua de mezclado combinada; ppm^B		
A. Cloruros como Cl, ppm^B		
1. En concreto pre esforzado de puentes o designado de otra manera		
2. Otros concretos reforzados en ambientes húmedos o contenedores de aluminio empotrados o metales no semejantes o con metales galvanizados con la forma Stay in place	500 ^C	C 114
	1000 ^C	C 114
B. Sulfatos como SO₄ ppm		
	3000	C 114
C. Alcalis como (Na₂O+0.658 K₂O), ppm		
	600	C 114
D. Total de sólidos por masa, ppm		
	50,000	C 1603
A. Los límites especificados en esta tabla no son prohibitivos de esta especificación como ítem individual o en su totalidad del apartado 4.1.6 de la Especificación C 94		
B. ppm es la abreviatura de partes por millón		
C. Los requerimientos para concreto en ACI 318 gobernarán cuando el fabricante pueda demostrar que estos límites para el agua de mezclado puedan ser excedidos. Para condiciones que permitan el uso de un acelerante como el cloruro de calcio (CaCl ₂) en una mezcla, la limitación del cloruro será permitida por el comprador		

Fuente: Norma ASTM C 1602M: "Especificación para el agua de mezcla utilizada en la fabricación de concreto de cemento hidráulico".

El agua con menos de 2000 partes por millón (ppm) de sólidos disueltos puede utilizar satisfactoriamente para la preparación del concreto; no así el agua que contiene más de 2000 ppm de sólidos disueltos, la cual debe ser analizada para verificar su efecto sobre la resistencia y el tiempo de fraguado.

2.13 CONCRETO ELABORADO CON ARENA NATURAL VERSUS CONCRETO ELABORADO CON ARENA NATURAL LAVADA INDUSTRIALMENTE.

A continuación se presenta una comparación entre lo que se espera que sea el comportamiento del concreto elaborado con arena natural así como con uno elaborado con arena natural lavada industrialmente (ver tabla № 2.8)

Tabla No 2.8: Resultados esperados en el concreto elaborado.

CONCRETO ELABORADO CON ARENA NATURAL	CONCRETO ELABORADO CON ARENA NATURAL LAVADA INDUSTRIALMENTE.
Mayor demanda de agua debido al alto contenido de pómez observado.	Menor demanda de agua.
Disminución de la trabajabilidad.	Mejor trabajabilidad del concreto en estado fresco.
Mezclas menos densas.	Concreto más denso.
Menor resistencia a compresión del concreto endurecido.	Resistencias a la compresión relativamente más altas que con un concreto elaborado con arena sin tratamiento de lavado.
Concretos con poca resistencia a la abrasión.	Concretos con alta durabilidad.
Concreto con impurezas y por ende uno que no fragua en el tiempo normal esperado.	Concreto libre de impurezas orgánicas así como también libre de finos (limos y arcillas), las cuales podrían afectar el fraguado y el endurecimiento del mismo además de posibles deterioros.
Debido a que se trata de una arena sin ningún tipo de tratamiento, se corre un alto riesgo de tener presencia de gran cantidad de partículas ligeras, en este caso particular un alto contenido de pómez, lo cual es una de las características del río Las Cañas.	Debido a la remoción de partículas ligeras que tiene lugar en el proceso de lavado, se garantiza en cierta medida el contar con partículas durables, limpias, duras y resistentes; lo cual implica concretos resultantes más densos
Se tienen impactos ambientales que podrían ser, desde leves hasta muy significativos dependiendo de la envergadura de los proyectos que impliquen obra gris.	Con el empleo de este tipo de arena para elaborar concreto, estaríamos contribuyendo indirectamente a reducir el impacto ambiental que supone la extracción artesanal de ríos, donde es sabido que no existen controles para evitar el deterioro del medio ambiente.

Fuente: Los autores.

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 INTRODUCCIÓN.

En este capítulo se describe la metodología para el desarrollo de ésta investigación, definiendo parámetros fijos así como variables, los ensayos a realizar a los agregados así como la importancia de estos.

Los diseños de mezclas teóricos y definitivos 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”.

3.2 GENERALIDADES.

Para obtener concretos de buena calidad, es indispensable utilizar agregados que sean también de buena calidad, pues el concreto no es otra cosa que grava y arena cohesionados por el cemento, que toma la forma de los encofrados o moldes diseñados previamente a su colocación en toda obra civil; dicho en otras palabras la importancia de obtener arena y grava de óptima calidad, limpios y de alta resistencia, que cumplan con tamaños o granulometrías estipulados en las normas técnicas, permite lograr el concreto de mejor calidad.

Es indispensable que los agregados estén libres de toda impureza, como arcillas, sales, materias orgánicas, etc., puesto que éstos afectan al cemento y disminuyen la resistencia del concreto.

El proceso industrial de manufactura de un buen agregado debe ser cuidadosamente planificado y hecho bajo normas de control de calidad; se inicia con la selección del material extraído de la cantera, el cual pasa a ser triturado y por medio de cribado adecuado se preparan los productos de acuerdo a especificaciones técnicas a cumplir.

Con la grava y arena homogeneizadas se logra llenar mejor los espacios vacíos, ahorrando así cemento y alcanzando resistencias más altas del concreto.

Los agregados: grava y arena, constituyen el cuerpo o masa principal del concreto. Si se pudiera acomodar la grava en los moldes, de tal forma que no existieran espacios vacíos entre ella, la arena no sería necesaria. No obstante debido a la forma y tamaño de la grava esto no es posible, es recomendable utilizar agregados que no dejen esos espacios vacíos y tengan que ser llenados por la pasta cementante (cemento y agua), que es el componente más costoso del concreto.

El estudio adecuado de las propiedades físicas de los agregados nos proporciona la calidad de estos, las cuales influyen notablemente en la resistencia del concreto; además, los resultados que se obtengan en la investigación de los agregados nos servirá para desarrollar el diseño y proporcionamiento de la mezcla.

En la parte del diseño y proporcionamiento de la mezcla, se tomará como guía la metodología del comité ACI 211.1-91 “Práctica estándar para la selección del proporcionamiento de mezclas de concreto normal, pesado y masivo”.

Se realizarán doce diseños teóricos tomando como base la metodología del comité ACI 211.1-91, los cuales podrán estar sometidos a correcciones según sea necesario. Dentro de los doce se seleccionarán cuatro que serán aquellos que cumplan con los requisitos en estado fresco: Revenimiento ($4\pm 1''$), consistencia, apariencia adecuada de la mezcla y peso volumétrico del concreto; además en estado endurecido deberán cumplir con un $f'c$ de 280 kg/cm^2 (27.5 MPa).

Por consiguiente, obteniendo los resultados de los ensayos y con ellos las propiedades físicas de los agregados, podremos desarrollar los diseños y proporcionamientos de las mezclas para la parte experimental, con el fin de obtener los resultados de las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido.

3.3 PARAMETROS FIJOS Y VARIABLES.

3.3.1 PARAMETROS FIJOS.

En esta investigación se establecen los siguientes parámetros fijos los cuales serán aquellos que no presentarán cambios significativos durante el desarrollo de la misma, dichos parámetros se describen a continuación:

3.3.1.1 AGREGADOS.

AGREGADO GRUESO.

El agregado grueso será grava triturada que se obtiene de la fragmentación de la roca, el cual se utilizará en todas las mezclas, tendrá un tamaño máximo nominal (TMN) de 3/4" y pertenece a La Cantera S.A. de C.V. de San Diego, La Libertad.

3.3.1.2 CEMENTO.

Para todas las mezclas se utilizará un cemento hidráulico Tipo GU, elaborado según la norma ASTM C-1157.

3.3.1.3 AGUA.

En todas las mezclas se utilizará agua potable, proveniente de la red pública de ANDA (Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados), la cual abastece a la Universidad de El Salvador. La norma ASTM C-1602 (ver sección 2.12), referencia los requisitos de la calidad del agua para la elaboración de concretos de buena calidad. (Los requerimientos de ésta no se verificarán ya que se tienen antecedentes de buen desempeño con su uso en mezclas de concreto).

3.3.1.4 CONDICIONES DE LABORATORIO.

Todos los ensayos a realizar a las propiedades físicas de los agregados para el desarrollo de la investigación; así como también, la elaboración y ensayos a las

mezclas de concreto, tanto en estado fresco como endurecido, se realizarán en el Laboratorio de Suelos y Materiales "Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina ", de la Escuela de Ingeniería Civil en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador, Dichas pruebas de laboratorio serán efectuadas por el grupo de trabajo de graduación de esta investigación, realizando los ensayos a los agregados para determinar las propiedades físicas, además de las pruebas preliminares al concreto, para luego reproducir los cuatro diseños definitivos, todo por medio de la asesoría de los docentes directores de esta investigación; así como también, el aporte del personal técnico del laboratorio.

3.3.1.5 MÉTODO DE PROPORCIONAMIENTO DE LAS MEZCLAS.

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

3.3.1.6 RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN.

La resistencia a la compresión en estudio será de 280 kg/cm² para todos los especímenes, misma que se usará para el cálculo de diseño y proporcionamiento de las mezclas de concreto.

3.3.1.7 REVENIMIENTO.

Este parámetro se considera fijo, aunque tendrá una tolerancia de 4 ±1 pulgadas.

3.3.2 PARÁMETROS VARIABLES.

Los parámetros variables son aquellos que en el proceso experimental dentro de la investigación no se tendrá control sobre ellos; no obstante, estos pueden variar dependiendo de las condiciones ambientales del lugar y afectar el desarrollo del estudio y adicionalmente la calidad con que se elabore y desarrolle los diferentes ensayos por parte del grupo de estudio; por lo tanto, los parámetros variables se detallan a continuación:

- ✘ Humedad de los agregados.
- ✘ Temperatura del concreto.
- ✘ Contenido de aire.
- ✘ Peso volumétrico del concreto.
- ✘ Agregado fino: arena natural lavada industrialmente, arena natural del rio Las Cañas y las combinaciones de arena natural lavada industrialmente con arena natural del rio Las Cañas.

3.4 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN.

En lo referente a los diseños teóricos de las mezclas, partiendo de la metodología de diseño del comité ACI 211.1 - 91 se obtuvo para los requerimientos especificados del concreto a elaborar para un $f'c$ de 280 kg/cm² (a lo que corresponde un sobrediseño de $f'cr = 365$ kg/cm², equivalente a

35.81 MPa, para un concreto sin aire incluido), una relación A/C propuesta de 0.46, con la cual se procederá a elaborar 4 especímenes, los cuales serán ensayados 2 a los 7 días y 2 a los 28 días; de los resultados de resistencia a la compresión obtenidos a estas edades se decidirá si es necesario incrementar o disminuir la relación A/C, para posteriores diseños según sea necesario entre los cuales se espera encontrar los definitivos, tomando en cuenta que para los diseños de mezclas preliminares el comité ACI 318, sección 5.3.3.2 recomienda realizar mezclas de prueba para al menos tres relaciones agua - material cementante.

Con respecto a las combinaciones de agregado fino en los diseños preliminares se utilizará un porcentaje de arena natural con otro de arena natural lavada industrialmente y viceversa, dichas combinaciones serán definidas partiendo de las granulometrías de cada una de las arenas y desarrollando combinaciones granulométricas teóricas y de laboratorio.

Los especímenes elaborados para cada mezcla preliminar se identificarán con su respectivo número correlativo, su correspondiente relación A/C, fecha de elaboración y dosificación de agregado fino. Todos los elementos que conforman cada una de las mezclas como el agregado grueso, 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 tipo de agregado fino (arena natural del río Las Cañas y arena natural lavada industrialmente).

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

- ✘ Trabajabilidad, la cual se medirá con el ensayo de revenimiento (ASTM C-143) y se considerará un revenimiento de 4 pulgadas con una tolerancia de ± 1 pulgada.
- ✘ Peso volumétrico del concreto en estado fresco (ASTM C-138)

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

La metodología se dividirá en 9 etapas para su completo desarrollo investigativo; las que se mencionan a continuación:

Etapas 1: Selección de los materiales.

Etapas 2: Definición de los ensayos a realizar.

Etapas 3: Investigación de las propiedades físicas de los materiales.

Etapas 4: Diseño de mezclas preliminares.

Etapas 5: Ensayos a las mezclas preliminares en estado fresco y endurecido.

Etapas 6: Mezclas definitivas (reproducción de mezclas seleccionadas).

Etapa 7: Ensayos al concreto en estado fresco.

Etapa 8: Ensayos al concreto en estado endurecido.

Etapa 9: Análisis de resultados del trabajo experimental.

3.5.1 ETAPA 1. SELECCIÓN DE LOS MATERIALES.

En esta etapa se presentan los materiales a utilizar para el desarrollo de la investigación, con los cuales se espera obtener resultados confiables.

3.5.1.1 AGREGADOS.

Los materiales a utilizar en la elaboración de todas las mezclas de concreto en esta investigación proceden de dos fuentes, el agregado grueso (grava) y el agregado fino (arena natural lavada industrialmente), proceden de la empresa La Cantera S.A. de C.V, y la arena natural sin tratar procede del río Las Cañas.

3.5.1.2 CEMENTO.

El cemento hidráulico a utilizar será tipo GU (según ASTM C-1157).

3.5.1.3 AGUA.

El agua que se utilizará para elaborar todas las mezclas será potable, de la red de suministro de agua de ANDA, de la cual se cuenta con antecedentes que demuestran que su calidad es apropiada para la elaboración de mezclas de concreto hidráulico.

3.5.2 ETAPA 2. DEFINICIÓN DE ENSAYOS A REALIZAR.

Los ensayos de laboratorio se llevarán a cabo según los procedimientos señalados en las normas ASTM (Sociedad Americana para Ensayos de Materiales, por sus siglas en inglés). Estos se detallan en la tabla N° 3.1.

Tabla N° 3.1: Ensayos al concreto en estado fresco y endurecido.

ENSAYO	DESCRIPCION
ASTM C172-99:	Practica estándar para muestreo del concreto fresco
ASTM C143/C143M-00:	Método de ensayo estándar para revenimiento en concreto hidráulico.
ASTM C1064/C1064M-01:	Método de ensayo estándar para la medición de temperatura en concreto recién mezclado.
ASTM C138/C138M-01a:	Método de ensayo estándar para la medición de la densidad (peso volumétrico), volumen producido (rendimiento) y contenido de aire.
ASTM C192/C192M-02:	Práctica estándar para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio.
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.

Fuente: Normas ASTM

3.5.3 ETAPA 3. INVESTIGACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS MATERIALES.

En esta etapa se estudiarán las propiedades físicas de los agregados que influyen en gran medida en el proporcionamiento de los componentes de la mezcla.

En esta investigación se tomarán en cuenta: la gravedad específica, la absorción y los pesos volumétricos (suelos y varillados). Para la obtención de dicha información, se realizarán las pruebas respectivas a los agregados (según las normas ASTM), asimismo se realizarán los ensayos de impurezas orgánicas (solamente a las arenas) y el análisis granulométrico para determinar la calidad de los agregados. En la tabla N° 3.2 se presentan los ensayos a realizar a los agregados en esta investigación para verificar su calidad.

Tabla N° 3.2: Ensayos a los agregados

Criterio de Calidad	Especificación aplicable	Norma ASTM
Absorción	Absorción de agregados finos	C- 128
	Absorción de agregados gruesos	C- 127
Análisis granulométrico	Análisis granulométrico para agregados finos, gruesos y combinaciones de agregado fino.	C- 136
Finos	Materiales más finos que malla No. 200	C- 117

Gravedad específica	Gravedad específica para agregados finos y agregados gruesos	C- 128 C- 127
Impureza orgánica	Impureza de materia orgánica en agregados finos para concreto	C- 40
Módulo de finura	Análisis de módulo de finura	C-33
Obtención de muestras representativas	Reducción de muestra a tamaño de prueba	C-702
Propiedades físicas	Especificación de agregados para concreto	C- 33

Fuente: Los autores

3.5.3.1 PROCEDIMIENTO A SEGUIR PARA LA SELECCIÓN DE LAS COMBINACIONES A IMPLEMENTAR.

3.5.3.1.1 COMBINACIÓN GRANULOMÉTRICA TEÓRICA.

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

- ✘ Definir los porcentajes que se requieren combinar para cada tipo de arena. En este caso se tomó a bien realizar las siguientes combinaciones teóricas: (0-100, 25-75, 40 -60, 50-50, 60- 40, 75-25, 100-0).
- ✘ Multiplicar el % acumulado que pasa en cada malla por su respectiva fracción definida en el paso anterior.

- ✘ Sumar los productos obtenidos en el mismo N^o malla para cada tipo de arena, obteniéndose así el porcentaje teórico acumulado que pasa.
- ✘ Repetir el paso anterior para cada malla.
- ✘ Graficar porcentaje teórico acumulado que pasa vrs abertura de la malla en milímetros.
- ✘ Comparar los resultados de las granulometrías teóricas con las prácticas.

3.5.3.1.2 COMBINACION 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 muestran a continuación en la tabla N^o 3.3.

Tabla N^o 3.3: Porcentajes de agregado fino a combinar

Arena Natural del río Las Cañas (%)	Arena Lavada industrialmente (%)
0	100
25	75
40	60
50	50
60	40
75	25
100	0

Fuente: Los autores

De los resultados que se obtengan se seleccionará el que mejor se adapte a la curva granulométrica dada por el promedio de los límites establecidos en la especificación ASTM C-33, y a partir de esto se seleccionarán dos combinaciones de agregado fino con las cuales se realizará su respectivo diseño de mezclas.

3.5.4 ETAPA 4. DISEÑO DE MEZCLAS PRELIMINARES DE CONCRETO SIGUIENDO EL PROCEDIMIENTO DEL COMITÉ ACI 211.1 PRÁCTICA ESTÁNDAR PARA SELECCIONAR PROPORCIONES PARA CONCRETO DE PESO NORMAL (ACI 211.1).

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 № 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 es de 4 ± 1 pulgadas.

Tabla Nº 3.4: Revenimientos recomendados para varios tipos de construcción

Tipos de Construcción	Revenimiento, cm	
	Máximo ¹	Mínimo
Muros de cimentación y zapatas reforzadas	7.5	2.5
Zapatas, campanas y muros de subestructura	7.5	2.5
Vigas y muros reforzados	10	2.5
Columnas para edificios	10	2.5
Pavimentos y losas	7.5	2.5
Concreto masivo	5	2.5

Fuente: Apéndice 5, manual de la práctica del concreto, 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

¹ Puede incrementarse en 1 pulgada cuando no se usa vibración para consolidar concreto

- c. $\frac{3}{4}$ 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 N° 3.5 la cual permite calcular la resistencia requerida según la resistencia de diseño especificada.

Tabla N° 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 ²	Resistencia a compresión media requerida $f'cr$, kg/cm ²
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 N° 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 TMN² de agregado grueso.

AGUA, Kg/m ³ PARA EL CONCRETO DE AGREGADO TMN (mm) INDICADO								
REVENIMIENTO (cm)	TMN (mm)							
	9.5	12.5	19	25	38	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 aire en concreto sin aire incluido (%)	3	2.5	2	1	1	0.5	0.3	0.2

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

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

² TMN: Tamaño máximo nominal del agregado grueso.

y relativamente conservadores para concretos elaborados con cemento Portland Tipo I pueden tomarse de la Tabla N° 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 N° 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, (MPa) *	Relación agua / cemento (A / C) por peso	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
40	0.42	----
35	0.47	0.39
30	0.54	0.45
25	0.61	0.52
20	0.69	0.60
15	0.79	0.70

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

(*) 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.

Las relaciones dadas en esta tabla asumen un tamaño nominal máximo del agregado de 3/4" a 1". Para una fuente de agregados dada, la resistencia producirá una relación A/C o A/ (C+ P) que se incrementará en la medida que se reduzca el tamaño máximo del agregado.

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 N^o 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 N° 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 N° 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 distintos módulos de finura de arena.			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8 (10)	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2 (12.5)	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4 (20.0)	0.66	0.64	0.62	0.60
1 (25.0)	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2 (40.0)	0.75	0.73	0.71	0.69
2 (50.0)	0.78	0.76	0.74	0.72
3 (70.0)	0.82	0.80	0.78	0.76
6 (150.0)	0.87	0.85	0.83	0.81

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

() Los volúmenes están basados en agregados en condición varillado 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 termino del paso 7 se han estimado todos los componentes del concreto, excepto el agregado fino, cuya cantidad se determina por diferencia restando de 1m^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 N° 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. Deben verificarse el Peso Unitario y la Fluencia (ASTM C 138), 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 m³. 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 de la Tabla No 3.8, para obtener una trabajabilidad adecuada.

3.5.5 ETAPA 5. ENSAYOS A LAS MEZCLAS PRELIMINARES.

A continuación se presentan los ensayos a realizar a realizar a las mezclas preliminares.

Ensayos al concreto en estado fresco:

- ✘ Ensayo de revenimiento del concreto fresco (ASTM C-143).

- ✘ Ensayo de peso volumétrico del concreto fresco (ASTM C-138).

- ✘ Elaboración y curado de especímenes de concreto hidráulico (ASTM C-192).

Ensayos al concreto en estado endurecido:

- ✘ Resistencia a la compresión a los 7 y 28 días (ASTM C-39).

3.5.6 ETAPA 6. MEZCLAS DEFINITIVAS (reproducción de mezclas seleccionadas).

Partiendo de las mezclas preliminares se procederá a reproducir aquellos diseños cuyas características fueron acordes con los requisitos especificados en este trabajo de graduación; cabe aclarar que algunas de las mezclas seleccionadas fueron sometidas a modificaciones para cumplir con los parámetros requeridos. De los cuatro diseños de mezcla a seleccionar se elaborarán 25 pares de especímenes cilíndricos por cada uno, ensayándose 10 pares a las edades de 7 días y 15 pares a 28 días; asimismo se elaborarán 3 pares de viguetas por cada diseño las cuales serán ensayadas a flexión, únicamente a la edad de 28 días. La resistencia a la compresión será medida en cilindros de 6 pulgadas de diámetro y 12 pulgadas de altura (15 cm y 30 cm, respectivamente); todos los especímenes serán curados según lo establece la norma ASTM C-192 hasta el día de su ensayo.

3.5.7 ETAPA 7. ENSAYOS AL CONCRETO EN ESTADO FRESCO.

ASTM C-143: Ensayo de revenimiento.

Se seguirá lo señalado por la norma ASTM C-143 “Método de ensayo estándar para revenimiento del concreto de cemento hidráulico”; este ensayo proporcionará resultados variables en la investigación, pero siempre dentro del rango que se fijó de $4'' \pm 1$; pues de lo contrario, las mezclas serán descartadas.

•ASTM C-1064: 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”.

•ASTM C-138: Realización del método de ensayo estándar para la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (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”.

3.5.8 ETAPA 8. ENSAYOS AL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO.

•ASTM C-39: Ensayo de resistencia a la compresión.

Este método de ensayo se utiliza para determinar la resistencia a la compresión de probetas cilíndricas preparadas y curadas de conformidad con las prácticas ASTM C192/C192M. Los resultados de este método de ensayo se utilizan como

base para el control de calidad de la dosificación de concreto mezclado y operaciones de colocación, así como para la determinación del cumplimiento de las especificaciones, en el diseño de mezclas de concreto hidráulico.

• **ASTM C-78: Ensayo de resistencia a la flexión del concreto (Usando una Viga Simple con Carga al Tercio Medio).**

Este método de ensayo es usado para determinar la resistencia a la flexión de especímenes preparados y curados de acuerdo con los métodos de ensayos ASTM C-192.

3.5.9 ETAPA 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, estos serán estudiados en el capítulo N° 4, para mezclas preliminares, y en el capítulo N° 5 para las mezclas definitivas.

3.6 NORMATIVAS Y ESPECIFICACIONES A IMPLEMENTAR EN EL ESTUDIO DEL CONCRETO Y SUS COMPONENTES.

Para el desarrollo experimental del estudio de las propiedades físicas de los materiales; así como las propiedades del concreto en su estado fresco y endurecido, considerar y regirse por normativas (ver tabla N° 3.9) es de ayuda idónea para que los resultados reflejados sean confiables y precisos.

Tabla No 3.9: Normativas y reglamentos para el control de calidad de los agregados.

SIGLAS	DESCRIPCION
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ACI	American Concrete Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials

Fuente: Los autores

3.6.1 REQUISITOS DEL AGREGADO FINO.

Los requisitos que debe cumplir el agregado fino: (arena natural río Las Cañas, arena natural lavada industrialmente “Río Tihuapa”, y la combinación de ambas) para su calidad y su correcta aplicación como componente del concreto son los que se mencionan a continuación en la tabla No. 3.10 y en la Tabla No. 3.11:

Tabla No. 3.10: Especificaciones del agregado fino.

Prueba de laboratorio	Requisitos
Análisis granulométrico	ASTM C-33
Gravedad específica y absorción	$2.4 < G_s < 2.9$ Abs% $< 6.0\%$
Impurezas orgánicas	Color estándar 3 Máximo

Fuente: “Influencia de la arena triturada, como agregado fino, en las propiedades en estado fresco y endurecido, de mezclas de concreto hidráulico “Capítulo III, Apartado 3.6.2, Tabla No 3.4, Ing. Jorge Rugamas Dinarte. El Salvador 2012.

Tabla N° 3.11: Limites de la norma ASTM C-33, para agregado fino.

Abertura de la malla	Porcentaje que pasa en peso
9.52 mm (3/8")	100
4.75 mm (N° 4)	95-100
2.36 mm (N° 8)	80-100
1.18 mm (N° 16)	50-85
0.60 mm (N° 30)	25-60
0.30 mm (N° 50)	5-30
0.15 mm (N° 100)	0-10

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

3.6.2 REQUISITOS DEL AGREGADO GRUESO.

Los requisitos que debe cumplir el agregado grueso para su calidad y su correcta aplicación como componente del concreto son los que se mencionan a continuación en la tabla N° 3.12:

Tabla N° 3.12: Calidad de los agregados gruesos (especificaciones).

Ensayos de laboratorio	Requisitos
Análisis Granulométrico	Según ASTM C 33
Peso Unitario	1260-1750 kg/ m ³
Gravedad específica y absorción	2.4 < G _s < 2.9 Abs% < 4%

Fuente: "Influencia de la arena triturada, como agregado fino, en las propiedades en estado fresco y endurecido, de mezclas de concreto hidráulico "Capítulo III, Apartado 3.6.2, Tabla N° 3.5, Ing. Jorge Rugamas Dinarte. El Salvador 2012.

Cuando se habla de una clasificación de tamaños de partículas se usa el número de tamaño de la granulometría (o tamaño de granulometría). El número de tamaño se aplica a la cantidad colectiva de agregado que pasa a través de un arreglo de mallas como se muestra en la tabla N° 3.13. La cantidad de agregados que pasa las mallas respectivas está en porcentaje y también se denomina análisis de mallas.

Tabla No 3.13: Tamaños estándar de agregado grueso

Tamaño	Tamaño Nominal (pulgadas)	Tamaño nominal (mm)	Cantidades más pequeñas que cada malla (Aberturas Cuadradas), porcentaje de pesos													
			4" (100mm)	3W" (90mm)	3" (75mm)	2W" (63mm)	2" (50mm)	1W" (37.5mm)	1" (25mm)	3/4" (19mm)	1/2" (12.5mm)	3/8" (9.5mm)	No. 4 (4.75mm)	No. 8 (2.36mm)	No. 16 (1.18mm)	No. 50 (30mm)
1	3 1/2 a 1 1/2	90 a 37.5	100	90 a 100		25 a 60		0 a 15		0 a 5						
2	2 1/2 a 1 1/2	63 a 37.5			100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5						
24	2 1/2 a 5/4	63 a 19.0			100	90 a 100		25 a 60		0 a 10	0 a 5					
3	2 a 1	50 a 25.0				100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5					
357	2 a No. 4	50 a 4.75				100	95 a 100		35 a 70		10 a 30		0 a 5			
4	1 1/2 a 3/4	37.5 a 19.0					100	90 a 100	20 a 55	0 a 15		0 a 5				
467	1 1/2 a No. 4	37.5 a 4.75					100	95 a 100		35 a 70		10 a 30	0 a 5			
5	1 a 1/2	25.0 a 12.5						100	90 a 100	20 a 35	0 a 10	0 a 5				
56	1 a 3/8	25.0 a 9.5						100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5			
57	1 a No. 4	25.0 a 4.75						100	95 a 100		25 a 60		0 a 10	0 a 5		
6	3/4 a 3/8	19.0 a 9.5							100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5			
67 ³	3/4 a No. 4	19.0 a 4.75							100	90 a 100		20 a 55	0 a 10	0 a 5		
68	3/4 a No. 8	19.0 a 2.36								90 a 100		30 a 65	5 a 25	0 a 10	0 a 5	
7	1/2 a No. 4	12.5 a 4.75								100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5		
78	1/2 a No. 8	12.5 a 2.36									90 a 100	40 a 75	5 a 25	0 a 10	0 a 5	
8	3/8 a No. 8	9.5 a 2.36									100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	
89	3/8 a No. 16	9.5 a 1.18									100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9	No. 4 a No.16	4.75 a 1.18										100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5
10	No. 4 a No.O	4.75										100	85 a 100			

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

³ Tamaño de granulometría que se obtuvo para el agregado grueso utilizado en esta investigación.

3.6.3 REQUISITOS DEL AGUA.

En la sección N^o 2.12 se mencionan algunos requisitos para la aceptación del agua para producir concreto.

3.6.4 REQUISITOS DEL CEMENTO.

Los requerimientos que debe cumplir el cemento que se utilizará para realizar las mezclas de concreto en esta investigación estarán determinados por la norma ASTM C-1157, para el cemento hidráulico Tipo GU, según lo especificado en la sección N^o 2.11 de este documento.

3.6.5 REQUISITOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO.

En la tabla N^o 3.14 se muestran los requerimientos que deberá cumplir el concreto en estado fresco.

Tabla 3.14: Ensayos al concreto en estado fresco

Pruebas de laboratorio	Requisitos
Hechura y curado de especímenes de concreto en laboratorio	Según ASTM C-192
Temperatura del concreto	32 °C Máxima (según ASTM C-94)
Revenimiento	4 Pulgadas (± 1 plg)
Contenido de aire	2 % de aire atrapado. ⁴

Fuente: Los autores

⁴ Adaptación de la tabla 9-5 del capítulo 9 del libro de Tecnología del Concreto de la PCA, que a su vez fue tomada del ACI 211.1 y del ACI 318.

3.7 DISEÑO DE MEZCLA TEÓRICO DE CONCRETO SEGÚN COMITÉ

A.C.I 211.

A manera de ejemplo se desarrollará un diseño de mezcla de concreto para 1m^3

(Considerando 100% Arena natural del río Las Cañas).

a. DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES.

Las características de los materiales son obtenidos de los resultados de laboratorio mostrados en el capítulo IV de este documento, los cuales se presentan a continuación:

→ CARACTERÍSTICAS DE AGREGADO GRUESO.

- ✘ **Tamaño Máximo: 1"**
- ✘ **Tamaño Máximo Nominal: 3/4"**
- ✘ **Gravedad Especifica(seca): 2.51**
- ✘ **Absorción: 1.5 %**
- ✘ **Peso Volumétrico Varillado: 1500 kg/m³**

→ CARACTERÍSTICAS DE AGREGADO FINO.

- ✘ **Módulo de Finura: 2.76**
- ✘ **Gravedad Especifica(Seca): 2.10**

✘ Absorción: 7.8%

→ **CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL CEMENTANTE.**

✘ Tipo de Cemento: **ASTM C-1157 tipo GU**

✘ Gravedad Especifica: **2.90**

→ **CARACTERÍSTICAS DEL ELEMENTO.**

✘ Tipo de Elemento: **Columna**

✘ Resistencia Requerida: **280 Kg/cm²**

Condiciones de Intemperismo: **Normales**

✘ Aire Incluido: **No**

✘ Revenimiento requerido: **4±1"**

b. RESISTENCIA DE DISEÑO (f'_{cr}).

De la tabla N° 3.5 se obtiene la resistencia de diseño, la cual depende de la resistencia requerida como se muestra a continuación:

$$f'_{cr} = f'_c + 85$$

$$f'_{cr} = 280 + 85$$

$$f'_{cr} = 365 \text{ Kg/cm}^2$$

c. REVENIMIENTO.

El revenimiento especificado es de $4\pm 1''$. Por lo que el valor máximo será de $5''$ y el mínimo de $3''$.

d. AGUA DE MEZCLADO Y CONTENIDO DE AIRE ATRAPADO.

De la tabla N^o 3.6 se obtiene el agua de mezclado y el contenido de aire atrapado, los cuales dependen del revenimiento ($4''$) y del tamaño máximo nominal ($3/4''$) del agregado, como se muestra a continuación:

Cantidad de Agua = 205 Kg/m³

Cantidad de Aire Atrapado = 2.0 %

e. RELACIÓN A/C.

De la tabla N^o 3.7 se obtiene la relación A/C, la cual está determinada por los requisitos de resistencia (35.8 MPa) así como también por las condiciones a las que estará expuesta la estructura, como se muestra a continuación:

$$f'_{cr} = 365 \times 9.81 \times 100^2$$

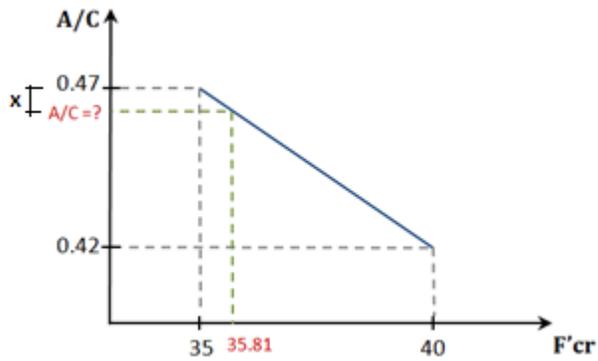
$$f'_{cr} = 35.8 \text{ MPa}$$

✱ De la tabla N^o 3.7 se obtiene los siguientes datos:

$$\checkmark 40 \text{ MPa} \rightarrow 0.42$$

$$\checkmark 35 \text{ MPa} \rightarrow 0.47$$

✧ Interpolando se tiene:



$$\frac{0.47 - 0.42}{40 - 35} = \frac{x}{35.81 - 35}$$

$$x = 0.0081$$

$$A/C = 0.47 - x$$

$$A/C = 0.47 - 0.0081$$

$$A/C = \mathbf{0.46}$$

f. CONTENIDO DE CEMENTO.

El cemento requerido es igual al contenido estimado de agua de mezclado dividida entre la relación A/C, como se muestra a continuación:

$$C = \frac{\text{Agua}}{A/C}$$

$$C = \frac{205}{0.46}$$

$$C = 445.65 \text{ Kg/m}^3$$

$$C = \mathbf{446 \text{ Kg/m}^3}$$

g. CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO.

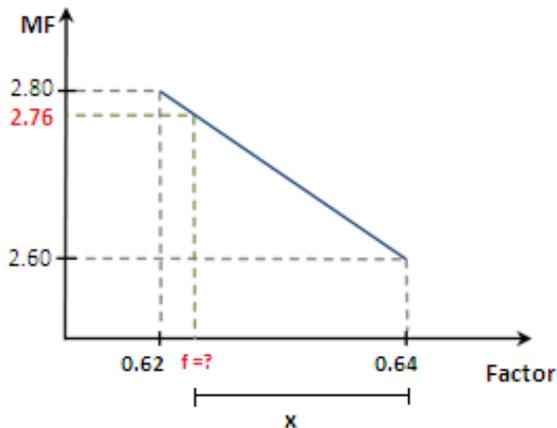
De la tabla N^o 3.8 se obtiene la cantidad de agregado grueso, la cual está determinada por el tamaño máximo nominal del agregado (3/4") y el módulo de finura de la arena, como se muestra a continuación:

- ✧ En la tabla N^o 3.8 entramos con un Tamaño máximo nominal del agregado grueso de 3/4" y un módulo de finura de la arena de 2.76 :

✓ $MF = 2.60 \rightarrow 0.64$

✓ $MF = 2.80 \rightarrow 0.62$

- ✧ Interpolando se tiene:



$$\frac{0.64 - 0.62}{2.80 - 2.60} = \frac{x}{2.76 - 2.60}$$

$$x = 0.016$$

$$Factor = 0.64 - x$$

$$Factor = 0.64 - 0.016$$

$$Factor = 0.624$$

$$Factor = 0.62$$

- ✧ La cantidad de grava sería:

$$Grava = Factor \times P.V.V.$$

$$Grava = 0.62 \times 1500$$

$$Grava = 930 \text{ kg/m}^3$$

$$Grava \text{ (seca)} = 930 \text{ kg/m}^3$$

- ✧ Convirtiendo Pesos a Volúmenes:

Para convertir los pesos a volúmenes se dividen estos por su respectiva gravedad específica, tomando en cuenta que para los agregados se utilizará la gravedad específica seca.

$$Agua = \frac{205}{1.0} = 205.00 \text{ l}$$

$$Cemento = \frac{446}{2.9} = 153.79 \text{ l}$$

$$Grava = \frac{930}{2.51} = 370.52 \text{ l}$$

$$Aire = 2.0\% \times 1000 \text{ l} = 20.00 \text{ l}$$

h. CONTENIDO DE AGREGADO FINO.

El contenido de Agregado Fino se obtiene al dividir los pesos de los materiales de la mezcla para 1m^3 (a excepción de la arena porque es lo que queremos determinar) por su respectiva gravedad específica, de este modo estaremos pasando los pesos de los materiales por m^3 a volúmenes; dichos volúmenes así

encontrados son sumados y este total calculado es restado de 1 m³ (1000 l) encontrando así el volumen en litros de la arena necesaria para el diseño de 1 m³, por último solo queda multiplicar el volumen de arena calculado por la gravedad específica de la arena seca y obtenemos así el peso por m³ de arena en nuestro diseño como se detalla a continuación:

✘ El volumen de Arena sería:

$$\text{Vol. Arena} = 1000 - \text{Vol. Agua} - \text{Vol. Cemento} - \text{Vol. Grava} - \text{Vol. Aire}$$

$$\text{Vol. Arena} = 1000 - 205.00 - 153.79 - 370.52 - 20.00$$

$$\text{Vol. Arena} = 250.69 \text{ l}$$

✘ El peso de Arena a utilizar sería:

$$\text{Arena} = \text{Vol. Arena} \times G_{\text{seca}}$$

$$\text{Arena} = 250.69 \times 2.10$$

$$\text{Arena} = 526.45 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Arena seca} = 526 \text{ kg/m}^3$$

i. CANTIDAD DE MATERIALES PARA 1 m³.

La cantidad de materiales a utilizar por m³ se presentan en la tabla № 3.15:

Tabla Nº 3.15: Pesos y volúmenes de materiales para la mezcla de 1m³, agregados en condición seca.

Material	Peso seco (Kg/m ³)	Gs(seca)	Volumen(l)
Cemento	446	2.9	153.79
Agua	205	1.0	205
Aire	2%	-	20
Grava (seca)	930	2.51	370.52
A. Las Cañas (seca)	526	2.10	250.69
		∑	1000 l.

Fuente: Los autores.

a. HUMEDADES DE LOS AGREGADOS.

Contenido de humedad (ω): De los materiales a utilizar se toman muestras representativas para obtener su contenido de humedad inicial.

$$\omega = \frac{W_{humedo} - W_{seco}}{W_{seco}} \times 100\%$$

✧ Grava

✓ Muestra No 1

$$\omega = \frac{590.5 - 586.2}{586.2} \times 100$$

$$\omega = 0.73\%$$

✓ Muestra No 2

$$\omega = \frac{631.9 - 627.8}{627.8} \times 100$$

$$\omega = 0.65\%$$

$$\omega_{prom} = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} = \frac{0.73 + 0.65}{2}$$

$$\omega_{prom} = 0.69\%$$

$$\omega_{prom} = 0.7 \%$$

✘ Arena

$$\omega = \frac{W_{humedo} - W_{seco}}{W_{seco}} \times 100$$

✓ Muestra No 1

$$\omega = \frac{312.3 - 295.9}{295.9} \times 100$$

$$\omega = 5.54 \%$$

✓ Muestra No 2

$$\omega = \frac{369.0 - 350.7}{350.7} \times 100$$

$$\omega = 5.22 \%$$

$$\omega_{prom} = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} = \frac{5.54 + 5.22}{2}$$

$$\omega_{prom} = 5.38 \%$$

$$\omega_{prom} = 5.4 \%$$

○ *Agregados en condición húmeda para 1m³:*

$$Grava h. = W_{Grava seca}(1 + \omega)/100$$

$$Grava h. = 931 \times 1.007 = 937.52 \text{ kg/m}^3$$

$$Arena h. = W_{arena seca}(1 + \omega)/100$$

$$Arena h. = 526 \times 1.054 = 554.40 \text{ kg/m}^3$$

b. CORRECCIONES POR HUMEDAD Y ABSORCIÓN.

Cantidad de agua que aportan o quitan los agregados a la mezcla:

✘ Grava:

✓ Absorción: 1.5 %

- ✓ Contenido de Humedad: 0.7 %

$$Grava = W_{Grava\ seca} \left(\frac{abs - \omega}{100} \right)$$

$$Grava = 930 \left(\frac{1.5 - 0.7}{100} \right) = 7.44 \text{ kg de agua}$$

$CH < Abs \Rightarrow$ Añadir agua

✘ Arena:

- ✓ Absorción: 7.8 %
- ✓ Contenido de Humedad: 5.4 %

$$Arena = W_{arena\ seca} \left(\frac{abs - \omega}{100} \right)$$

$$Arena = 526 \left(\frac{7.8 - 5.4}{100} \right) = 12.62 \text{ kg de agua}$$

$CH < Abs \Rightarrow$ Añadir agua

El agua a agregar para 1m³ es:

$$Agua = 205 + 7.44 + 12.62 = 225.06 \text{ kg/m}^3$$

$$Agua = 225 \text{ kg/m}^3$$

A continuación se presentan en la tabla N^o 3.16 los pesos de los materiales para un metro cúbico considerando los agregados en condición húmeda.

Tabla No 3.16: Pesos y volúmenes de materiales para la mezcla de 1m³, agregados en condición húmeda.

Material	Peso (kg/m ³)
Cemento	446
Agua	225
Aire	2%
Grava (húmeda)	938
A. Las Cañas (húmeda)	554

Fuente: Los autores.

DISEÑO DE MEZCLA DE LABORATORIO.

✧ MEZCLA PARA ELABORACIÓN DE CILINDROS.

c. VOLUMEN DE LA MEZCLA.

El volumen requerido para la elaboración de los especímenes cilíndricos es el necesario para realizar 4 cilindros de concreto, más 1 revenimiento, más un peso volumétrico del concreto fresco y afectado por un factor de desperdicio:

$$\text{Volumen} = 4 \text{ Cilindros} + 1 \text{ Revenimiento} + 1 \text{ Peso volum.} + 20\% \text{ de Desperdicio}$$

$$\text{Volumen Revenimiento} \approx \text{Volumen de Cilindro}$$

Volumen Peso volum. ≈ Volumen de 2 Cilindros

Volumen = 7 Cilindros + 20% de Desperdicio

✘ El volumen de los cilindros sería:

$$V = 7 \times \frac{\pi}{4} \times D^2 \times H$$

$$V = 7 \times \frac{\pi}{4} \times 15^2 \times 30$$

$$V = 37110.06 \text{ cm}^3$$

✘ El volumen total sería:

$$V_T = 1.2 \times V$$

$$V_T = 1.2 \times 37110.06$$

$$V_T = 44532.08 \text{ cm}^3$$

$$V_T = 0.04453 \text{ m}^3$$

$$\mathbf{V_T \approx 0.045 \text{ m}^3}$$

d. PESOS DE MATERIALES.

Los pesos de los materiales para el volumen de la mezcla de laboratorio se obtienen al multiplicar el peso de los materiales para 1 m³ (en la condición húmeda en que se encuentran) por el volumen de la mezcla de laboratorio calculado, como se detalla a continuación.

$$\text{Agua} = 225 \times 0.045 = 10.12 \text{ kg}$$

$$\text{Cemento} = 446 \times 0.045 = 20.07 \text{ Kg}$$

$$\text{Grava} = 938 \times 0.045 = 42.21 \text{ Kg}$$

$$\text{Arena} = 554 \times 0.045 = 24.93 \text{ Kg}$$

Al reproducir esta mezcla resultó un revenimiento de 4½" cumpliendo con el especificado; además se obtuvo un peso volumétrico del concreto fresco de 2236 kg/m³.

A continuación se refleja un diseño de mezcla de la combinación 25% Arena Lavada y 75% Arena natural del río Las Cañas; dicha mezcla se calculó para una relación agua/cemento propuesta de a/c=0.50 partiendo de una mezcla que no cumplió con el revenimiento especificado por lo que se reflejan las respectivas correcciones.

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PARA 1 m³.

(Considerando 25% Arena Lavada y 75% Arena natural del río Las Cañas)

e. DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES.

Las características de los materiales son las mismas presentadas en el diseño anterior, las cuales fueron obtenidas de los resultados de laboratorio realizados.

Se hace necesario mencionar que este diseño iniciará a partir de otro que no cumplía con el revenimiento especificado ($4\pm 1''$), resultando este un valor de 16 cm, que es aproximadamente 6.3"; en dicho diseño la suma total de los materiales en la mezcla resultó ser de 61.35 kg con un peso volumétrico del concreto fresco de 2216.0 kg/m³.

Las características de los materiales son obtenidos de los resultados de laboratorio realizados anteriormente, los cuales se presentan a continuación:

→ **CARACTERÍSTICAS DE AGREGADO GRUESO.**

- ✘ Tamaño Máximo: **1''**
- ✘ Tamaño Máximo Nominal: **3/4''**
- ✘ Gravedad Especifica(seca): **2.51**
- ✘ Absorción: **1.5 %**
- ✘ Peso Volumétrico Varillado: **1500 kg/m³**

→ **CARACTERÍSTICAS DE AGREGADO FINO.**

- ✘ Módulo de Finura de la combinación: **2.73**
- ✘ Gravedad Específica A. Las Cañas (Seca): **2.10**
- ✘ Gravedad Específica A. Lavada Industrialmente(seca): **2.52**
- ✘ Absorción: **7.8%**

→ **CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL CEMENTANTE.**

- ✘ Tipo de Cemento: **ASTM C-1157 tipo GU**
- ✘ Gravedad Especifica: **2.90**

→ **CARACTERÍSTICAS DEL ELEMENTO.**

- ✘ Tipo de Elemento: **Columna**
- ✘ Resistencia Requerida: **280 Kg/cm²**
- ✘ Condiciones de Intemperismo: **Normales**
- ✘ Aire Incluido: **No**
- ✘ Revenimiento requerido: **4±1"**

f. RESISTENCIA DE DISEÑO.

La resistencia requerida se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$f'_{cr} = f'_c + 85$$

$$f'_{cr} = 280 + 85$$

$$f'_{cr} = \mathbf{365 Kg/cm^2}$$

g. REVENIMIENTO.

El revenimiento especificado es de 4±1". Por lo que el valor máximo será de 5" y el mínimo de 3".

h. AGUA DE MEZCLADO Y CONTENIDO DE AIRE.

De la tabla N^o 3.6 con el revenimiento especificado y el tamaño máximo nominal del agregado, se tiene un valor de contenido de aire atrapado; no obstante el contenido de agua de mezclado se consideró en base a observaciones en las mezclas y ensayos de revenimiento de mezclas anteriores como se muestra a continuación:

$$\text{Cantidad de Agua} = 199 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Cantidad de Aire Atrapado} = 2.0 \%$$

i. RELACIÓN A/C.

La relación agua/cemento para este diseño fue de 0.50, debido a que es una mezcla de prueba.

$$\frac{a}{c} = 0.50$$

j. CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO.

- ✘ De la tabla N^o 3.8 se obtuvo de igual manera que en el diseño presentado anteriormente (por interpolación), con un Tamaño máximo nominal de la grava de 3/4" y un módulo de finura de la combinación de las arenas de 2.73 un factor de agregado grueso de $f=0.63$.
- ✘ La cantidad de grava sería:

$$\text{Grava} = \text{Factor} \times P.V.V.$$

$$\text{Grava} = 0.63 \times 1500$$

$$\text{Grava} = 945 \text{ kg/m}^3$$

A continuación se muestran la tabla N° 3.17 donde se muestran los pesos y volúmenes del diseño en mención para 1 m³ con agregados en condición seca. Cabe aclarar que el volumen total de arena se obtiene diferencia restando de 1m³ (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.

Tabla N° 3.17: Pesos y volúmenes de materiales para la mezcla de 1m³, agregados en condición seca.

Material	Peso seco (Kg/m ³)	Gs(seca)	Volumen(l)
Cemento	398	2.9	137
Agua	199	1.0	199
Aire	2%	-	20
Grava (seca)	945	2.51	376.5
A. Las Cañas (seca)	421	2.10	200.6 ⁵
A. Lavada Industrialmente(seca)	169	2.52	66.9 ⁶
		Σ	1000 l

Fuente: Los autores

⁵ Este valor se obtiene de calcular $267.5 \times 0.75 = 200.6 \text{ l}$

⁶ Este valor se obtiene de calcular $267.5 \times 0.25 = 66.9 \text{ l}$

Los contenidos de humedad y de absorción de los agregados resultaron ser:

$$\omega_{Grava} = 0.4\% ; Abs_{Grava} = 1.5\%$$

$$\omega_{A.Las Cañas} = 5.2\% ; Abs_{A.Las Cañas} = 7.8\%$$

$$\omega_{A.Lavada} = 3.9\% ; Abs_{A.Lavada} = 4.7\%$$

Después de haber realizado las respectivas correcciones por humedad y absorción se tienen en la tabla N^o 3.18 los pesos por metro cúbico de los componentes de la mezcla para 1 m³ con sus agregados en condición húmeda:

Tabla N^o. 3.18: Pesos de materiales en la mezcla de concreto para 1 m³ con agregados en condición húmeda.

Material	Peso (Kg/m ³)
Cemento	398
Agua	221.7
Aire	(2%)
Grava (húmeda)	949
A. Las Cañas (húmeda)	441
A. Lavada Industrialmente(húmeda)	176

Fuente: Los autores

A continuación se presenta en la tabla N^o 3.19 los pesos de la mezcla de prueba en laboratorio para un volumen = 0.028 m³.

Tabla N° 3.19: Volumen de la mezcla de prueba= 0.028m³.

Material	Peso (kg)
Cemento	11.14
Grava húmeda	26.57
A. Las Cañas húmeda	12.35
A. Lavada húmeda	4.93
Agua	6.21
Σ	61.20

Fuente: Los autores.

Mezcla de prueba que resultó con revenimiento de 16cm:

$$P.V.C.F = 2216.0 \text{ kg/m}^3$$

$$Rendimiento = \frac{61.20}{2216.0} = 0.02762$$

Debido a que la cantidad de agua añadida a la mezcla (6.21 kg) será de un valor obtenido mediante correcciones por humedad y absorción a los agregados, se requiere la obtención de la cantidad real de agua contenida en dicha mezcla.

Cantidad de agua en mezcla de prueba:

Cantidad de agua que aportan o restan los agregados a la mezcla:

$$\text{Agua que aportan o restan los agregados} = \frac{W_{\text{humedo}}}{(1 + \omega)/100} \times \left(\frac{\text{abs} - \omega}{100} \right)$$

Dónde:

W_{humedo} : Peso húmedo del agregado en la mezcla de prueba.

abs: % de absorción de los agregados.

ω : Contenido de humedad de los agregados de la mezcla de prueba (%).

✘ Grava:

✓ Absorción: 1.5 %

✓ Contenido de Humedad: 0.4 %

$$\text{Grava} = \frac{26.57}{1.004} \left(\frac{1.5 - 0.4}{100} \right) = 0.29 \text{ kg de agua}$$

✘ Arena Las Cañas:

✓ Absorción: 7.8 %

✓ Contenido de Humedad: 5.2 %

$$\text{Arena Las Cañas} = \frac{12.35}{1.052} \left(\frac{7.8 - 5.2}{100} \right) = 0.30 \text{ kg de agua}$$

✘ Arena Lavada:

✓ Absorción: 4.7 %

✓ Contenido de Humedad: 3.9 %

$$\text{Arena Lavada} = \frac{4.93}{1.039} \left(\frac{4.7 - 3.9}{100} \right) = 0.04 \text{ kg de agua}$$

Debido a que en el respectivo diseño para 1m^3 los tres agregados (grava, arena las cañas y arena lavada industrialmente) restaban agua a la mezcla (por ser su absorción mayor que su contenido de humedad) hubo que añadirse dicha cantidad; por ende, para obtener la cantidad de agua neta sin correcciones en la mezcla de laboratorio debemos restar esa agua añadida.

El agua real en la mezcla de prueba es:

$$\text{Agua} = 6.21 - 0.29 - 0.30 - 0.04 = 5.58 \text{ kg}$$

La cantidad de agua correspondiente para una mezcla de 1m^3 se obtiene dividiendo el agua en la mezcla de prueba por el rendimiento calculado como se muestra a continuación:

$$\text{Cantidad de agua de mezcla por } 1\text{m}^3 = \frac{5.58}{0.02762}$$

$$\text{Cantidad de agua de mezcla por } 1\text{m}^3 = 202.03 \text{ kg/m}^3$$

Corrección por revenimiento:

Revenimiento resultante: 16 cm.

Debido a que el revenimiento de la mezcla de prueba no fue el especificado, se requiere incrementar o reducir al nuevo contenido estimado de agua 2 kg/m^3

para cada centímetro de incremento o reducción del revenimiento respectivamente.

Para obtener un valor aceptable de revenimiento por ejemplo: 9.5 cm (aproximadamente 3.74", el cual se encuentra en el rango especificado de 3" a 5") se requiere reducir el revenimiento de 16 - 9.5 obteniéndose de esta diferencia un exceso de 6.5 cm el cual deberá ser restado con su equivalente en agua según lo explicado anteriormente, por lo que se tiene un valor de agua corregido de:

$$Agua = 202.03 - (6.5cm \times 2 kg/cm)$$

$$Agua = 189.03 kg/m^3$$

k. CONTENIDO DE CEMENTO.

Se calculará el nuevo contenido de cemento para mantener la relación A/C que es igual al contenido estimado de agua de mezclado dividida entre la relación A/C, como se mostrará a continuación.

$$C = \frac{Agua}{A/C} ; \quad C = \frac{189.03}{0.5}$$

$$C = 378.06 Kg/m^3$$

1. CONTENIDO DE AGREGADO FINO.

El contenido de Agregado Fino se obtiene al pasar los pesos de los materiales por m³ a volúmenes por medio de su gravedad específica y luego por diferencia se obtiene el volumen de arena, para luego al multiplicarlo por su gravedad específica obtener el peso de la arena, como se detalla a continuación:

✧ Convirtiendo Pesos a Volúmenes:

$$Agua = \frac{189.03}{1.0} = 189.03 \text{ l}$$

$$Cemento = \frac{378.06}{2.9} = 130.37 \text{ l}$$

$$Grava (seca) = \frac{9457}{2.51} = 376.49 \text{ l}$$

$$Aire = 2.0\% \times 1000 \text{ l} = 20.00 \text{ l}$$

✧ El volumen total de Arena sería:

$$Vol. Arena = 1000 - Vol. Agua - Vol. Cemento - Vol. Grava - Vol. Aire$$

$$Vol. Arena = 1000 - 189.03 - 130.37 - 376.49 - 20.00$$

$$Vol. Arena (seca) = 284.11 \text{ l}$$

✧ El peso de Arena a utilizar sería:

$$Arena = Vol. Arena \times Gs$$

$$Arena Lavada(25\%) = 284.11 \times 0.25 = 71.03 \text{ l}$$

⁷ El contenido de grava no se modificó puesto que la apariencia de la mezcla se observaba con una cuantía de agregado grueso adecuada y una consistencia plástica.

$$\text{Arena Lavada}(25\%) = 71.03l \times 2.52 = 179.00 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Arena lavada (seca)} = 179.00 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Arena Las Cañas}(75\%) = 284.11 \times 0.75 = 213.08 \text{ l}$$

$$\text{Arena Las Cañas}(75\%) = 213.08l \times 2.10 = 447.47 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Arena Las Cañas (seca)} = 447.47 \text{ Kg/m}^3$$

m. CANTIDAD DE MATERIALES PARA 1 m³.

La cantidad de materiales a utilizar por m³ se presentan en la siguiente tabla N^o 3.20:

Tabla N^o 3.20: Pesos y volúmenes de materiales para 1m³ en el diseño de la mezcla.

Material	Peso seco (kg/m ³)	Gs(seca)	Volumen(l)
Cemento	378	2.9	130.5
Agua	189	1.0	189
Aire	2%	-	20
Grava (seca)	945	2.51	376.5
A. Lavada (seca)	179	2.52	71
A. Las Cañas (seca)	447	2.10	213
		∑	1000 l

Fuente: Los autores.

El revenimiento obtenido para una nueva mezcla de prueba realizada a partir de los valores anteriores para 1m³ resultó de 4½" cumpliendo así con lo especificado.

CAPITULO IV

ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE LOS ENSAYOS A

LOS COMPONENTES DEL CONCRETO Y

DISEÑOS PRELIMINARES

4.1 INTRODUCCION.

El presente capítulo contiene los diferentes resultados de las propiedades y características físicas de los agregados; para el análisis granulométrico se muestran sus respectivos gráficos para cada tipo de arena y para todas las combinaciones de arena que se realizaron, además se detalla los diferentes diseños de mezclas teóricos.

Además se exponen los resultados obtenidos en los ensayos realizados a las mezclas preliminares de concreto en estado fresco y endurecido según lo mencionado en la sección 4.7.

Para evaluar el comportamiento del concreto de las mezclas preliminares en estado fresco, se realizaron ensayos de revenimiento, contenido de aire y peso volumétrico; lo que nos permitió determinar la trabajabilidad, apariencia y consistencia del concreto elaborado con arena natural, arena natural lavada industrialmente y con combinaciones de ambas.

En cuanto al concreto en estado endurecido, se expondrán los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión realizados a 7 y 28 días⁸

Asimismo se muestran los gráficos de relación Resistencia - A/C para cada mezcla preliminar.

⁸ *Un par a los 7 días y otro par a los 28 días para cada diseño de mezcla preliminar.*

4.2 DETERMINACION DE LAS PROPIEDADES FISICAS DE LOS AGREGADOS.

4.2.1 METODO DE ENSAYO ESTANDAR PARA ANALISIS POR TAMIZADO DE AGREGADOS GRUESOS (BASADO EN ASTM C-136).

DEFINICIÓN.

Es el procedimiento por el cual se clasifica un material atendiendo a la distribución de los diferentes tamaños de las partículas que lo constituyen, cuando se determinan los porcentajes de masa que pasan y se retienen, a través de una serie de tamices graduados.

OBJETIVO.

Conocer la distribución granulométrica de los tamaños de partículas de una muestra para determinar la graduación del material propuesto para su utilización como agregado.

A continuación se presenta los resultados del ensayo granulométrico realizado a dos muestras de agregado grueso (Ver tablas N° 4.1 y N° 4.2); además, se muestran sus respectivos gráficos (ver figura N° 4.1y N° 4.2) de distribución.

Tabla No 4.1: Ensayo granulométrico de agregado grueso.

<p>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"</p>							
<p>Proyecto: <i>DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO, UTILIZANDO ARENA NATURAL, ARENA LAVADA INDUSTRIALMENTE Y LA COMBINACIÓN DE LAS MISMAS</i></p>							
Ubicación: <u>Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil</u>				Reporte No: <u>1</u>			
Procedencia: <u>La Cantera S.A</u>				Hoja No: <u>1</u>			
Ensayo No: <u>1</u>				Fecha: <u>Marzo2013</u>			
Muestra No: <u>1</u>							
<p>ENSAYO GRANULOMETRICO DEL AGREGADO GRUESO (ASTM C-136)</p>							
Peso inicial: <u>6236.00</u> g							
MALLA	Abertura (mm)	PESO RETENIDO (g)	PESO RETENIDO AJUSTADO (g)	% RETENIDO			% ACUMULADO QUE PASA
				PARCIAL	ACUMULADO		
1"	25.00	0	0	0.00	0	0	100
¾"	19.00	705	705	11.31	11	11	89
½"	12.50	3115	3108	49.84	50	61	39
3/8"	9.50	814	814	13.05	13	74	26
No 4	4.75	1351	1351	21.66	22	96	4
No 8	2.36	218	218	3.50	3	99	1
Fondo		40	40	0.64	1	100	0
		6243	6236				
OBSERVACIONES: _____ _____ _____							

Figura No 4.1: Curva granulométrica del agregado grueso (ensayo No1)

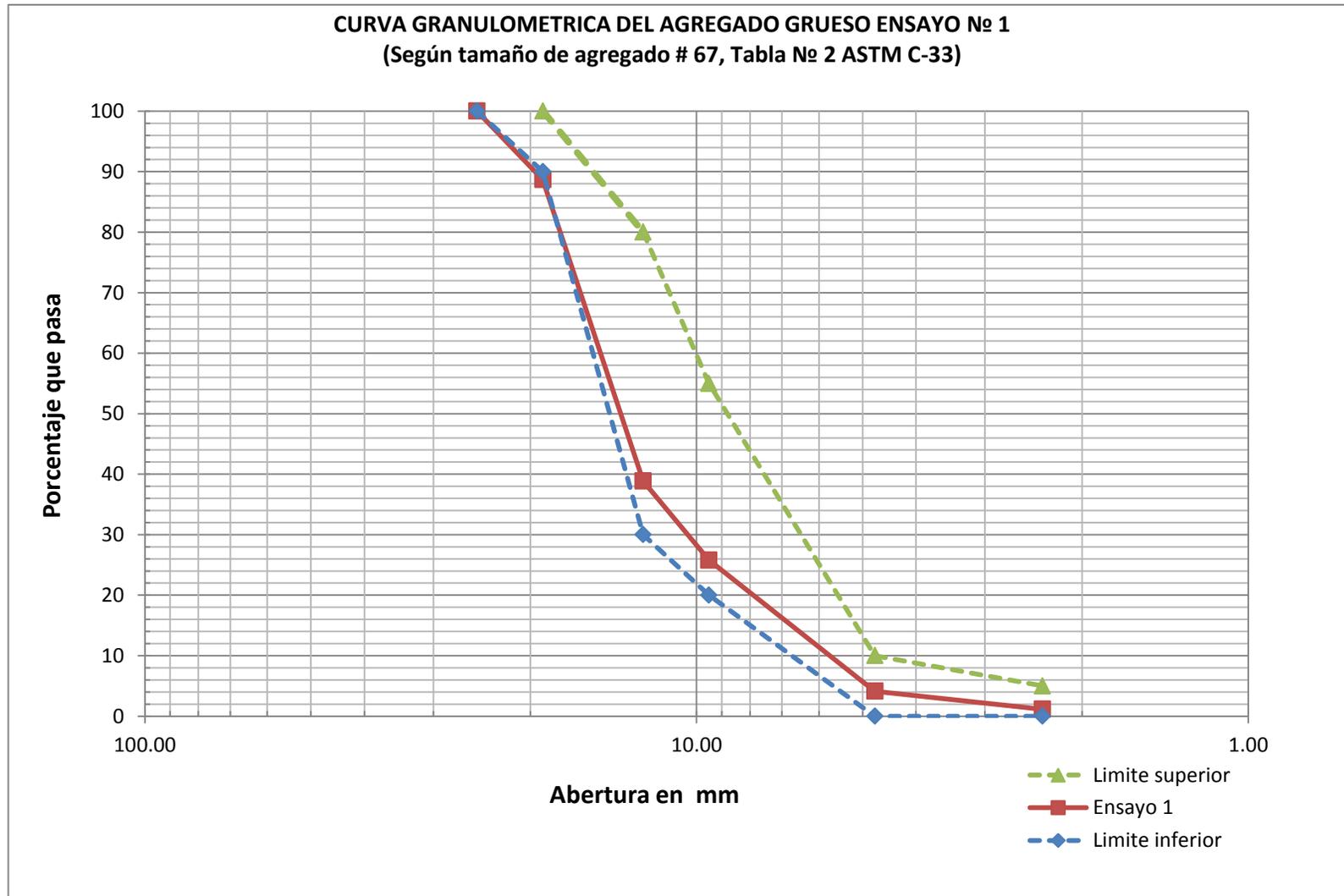
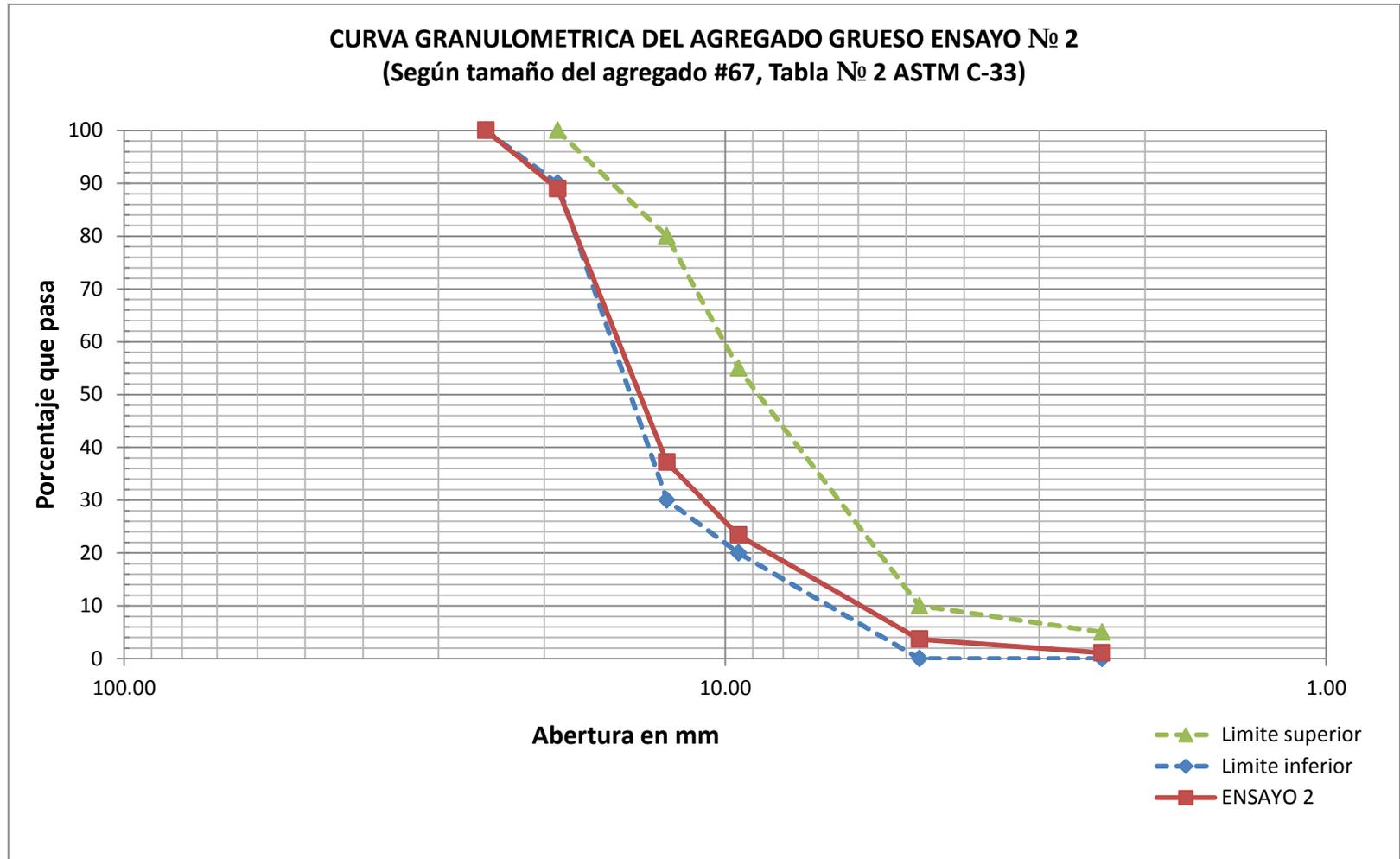


Tabla No 4.2: Ensayo granulométrico de agregado grueso.

<p>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"</p>							
<p>Proyecto: <i>DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO, UTILIZANDO ARENA NATURAL, ARENA LAVADA INDUSTRIALMENTE Y LA COMBINACIÓN DE LAS MISMAS</i></p>							
Ubicación: <u>Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil</u>				Reporte No: <u>1</u>			
Procedencia: <u>La Cantera S.A</u>				Hoja No: <u>2</u>			
Ensayo No: <u>2</u>				Fecha: <u>Marzo 2013</u>			
Muestra No: <u>1</u>							
<p>ENSAYO GRANULOMETRICO DEL AGREGADO GRUESO (ASTM C-136)</p>							
Peso inicial: <u>7115.00</u> g							
MALLA	Abertura (mm)	PESO RETENIDO (g)	PESO RETENIDO AJUSTADO (g)	% RETENIDO			% ACUMULADO QUE PASA
				PARCIAL		ACUMULADO	
1"	25.00	0	0	0.00	0	0	100
3/4"	19.00	756	756	10.63	10	10	89
1/2"	12.50	3700	3688	51.83	52	62	37
3/8"	9.50	983	983	13.82	14	76	23
No 4	4.75	1400	1400	19.68	20	96	4
No 8	2.36	242	242	3.40	3	99	1
Fondo		46	46	0.65	1	100	0
		7127	7115	100.00			
OBSERVACIONES: _____ _____ _____							

Figura No 4.2: Curva granulométrica del agregado grueso (ensayo No2)



4.2.2 MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) DE AGREGADO GRUESO (ASTM C-127).

DEFINICIÓN.

Es la relación entre el peso unitario de una sustancia y el peso unitario de otra que se toma como referencia (agua a 4°C). Su valor es adimensional.

OBJETIVO.

Conocer el valor de la gravedad específica para la determinación del cálculo de los pesos de los componentes del concreto, además de obtener el volumen absoluto deseado de un material en el diseño de mezclas.

A continuación se presentan los resultados del ensayo estándar para la densidad relativa (gravedad específica) de agregado grueso (ver tablaNº 4.3).

4.2.3 ENSAYO ESTÁNDAR PARA ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS (ASTM C-127).

DEFINICIÓN.

Es el proceso por el cual un líquido (agua) penetra y tiende a llenar los poros permeables de un cuerpo sólido, aumentando la masa del agregado debido a la penetración de este, pero sin incluir el agua adherida a la superficie exterior de las partículas, expresado como un porcentaje de la masa seca.

OBJETIVO.

Conocer el porcentaje de agua necesaria para llenar los poros de material y poderla suministrar adicionalmente en la elaboración del concreto para no alterar la relación agua-cemento.

A continuación se presenta los resultados del ensayo absorción del agregado grueso (ver tablaNº 4.3).

Tabla No 4.3: Determinación de la gravedad específica y absorción del agregado grueso.

<p>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES “ING. MARIO ÁNGEL GUZMÁN URBINA”</p>				
<p>Proyecto: <i>DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO, UTILIZANDO ARENA NATURAL, ARENA LAVADA INDUSTRIALMENTE Y LA COMBINACIÓN DE LAS MISMAS</i></p>				
Ubicación:	<u>Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil</u>	Reporte Nº:	<u>1</u>	
Procedencia:	<u>La Cantero S.A</u>	Hoja Nº:	<u>1</u>	
Ensayo Nº:	<u>1,2,3</u>	Fecha:	<u>03/03/2013</u>	
Muestra Nº:	<u>1</u>			
<p>DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO (ASTM C-127)</p>				
ENSAYO No.	1	2	3	
MUESTRA No.	1	1	1	
Peso de la grava saturada con superficie seca g.	3443.00	3345.00	3650.00	
Peso de la grava sumergida g.	2093.60	2037.00	2218.10	
Gravedad especifica en base al agregado seco	2.51	2.52	2.51	
Gravedad especifica en base al agregado seco promedio	2.51			
Peso Seco de la Grava g.	3389.00	3302.00	3589.00	
Peso del agua desplazada g.	1349.4	1308.0	1431.9	
Gravedad especifica aparente	2.62	2.61	2.62	
Gravedad especifica aparente promedio	2.61			
Gravedad especifica sss	2.55	2.56	2.55	
Gravedad especifica sss promedio	2.55			
Absorción %	1.59	1.30	1.70	
Promedio de Absorción %	1.53			
<p>OBSERVACIONES: _____ _____ _____</p>				

4.2.4 ENSAYO ESTÁNDAR PARA DENSIDAD BULK Y VACÍOS EN LOS AGREGADOS (BASADO EN ASTM C-29).

DEFINICIÓN.

El peso volumétrico es la relación entre el peso del material y el volumen ocupado por el mismo, expresado en kg/m^3 ; lb/ft^3 .

Dependiendo del acomodamiento que se le haya dado al material en la prueba, se le llamará:

Peso volumétrico varillado (Ver resultados en tabla N° 4.4)

Peso volumétrico suelto (Ver resultados en tabla N° 4.5)

PESO VOLUMÉTRICO SUELTO.

Su valor se implementara para la conversión de peso a volumen; es decir, para conocer la cantidad de agregados por metro cubico de concreto.

PESO VOLUMÉTRICO VARILLADO.

Este valor es usualmente utilizado para el conocimiento de volúmenes de materiales apilados y que están sujetos a acomodamientos o asentamientos provocados por el movimiento (tránsito) de ellos, o por la acción del tiempo.

Tabla No 4.4: Peso volumétrico varillado del agregado grueso

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



Proyecto: DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO, UTILIZANDO ARENA NATURAL, ARENA LAVADA INDUSTRIALMENTE Y LA COMBINACIÓN DE LAS MISMAS

Ubicación: Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil

Procedencia: Cantera S.A

Ensayo Nº: 1,2,3,4,5

Muestra Nº: 1

Reporte Nº: 1

Hoja Nº: 1

Fecha: Marzo 2013

DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO VARILLADO
(ASTM C-29)

Material: GRAVA

de molde: 1

Volumen de molde (m³): 0.010040

ENSAYO No		1	2	3	4	5
Peso de molde	Kg	5.932	5.932	5.932	5.932	5.932
Peso de molde + material	Kg	21.055	21.017	20.975	20.899	21.056
Peso de material	Kg	15.123	15.085	15.043	14.967	15.124
Volumen de molde	m ³	0.010040	0.010040	0.010040	0.010040	0.010040
Peso volumetrico suelto	Kg/m ³	1506	1502	1498	1491	1506
Promedio	Kg/m ³	1500				

OBSERVACIONES:

Tabla No 4.5: Peso volumétrico suelto del agregado grueso.

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



Proyecto: DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO, UTILIZANDO ARENA NATURAL, ARENA LAVADA INDUSTRIALMENTE Y LA COMBINACIÓN DE LAS MISMAS

Ubicación: Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil

Procedencia: La Cantera S.A

Ensayo Nº: 1,2,3,4,5

Muestra Nº: 1

Reporte Nº: 1

Hoja Nº: 1

Fecha: Marzo 2013

**DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO SUELTO
(ASTM C-29)**

Material: GRAVA

de molde:

2

Volumen de molde (cm³):

0.010040

ENSAYO No	1	2	3	4	5
Peso de molde kg	5.932	5.932	5.932	5.932	5.932
Peso de molde + material kg	19.939	19.733	19.749	19.573	19.668
Peso de material kg	14.007	13.801	13.817	13.641	13.736
Volumen de molde m ³	0.010040	0.010040	0.010040	0.010040	0.010040
Peso volumétrico suelto kg/m ³	1395	1375	1376	1359	1368
Promedio kg/m ³	1375				

OBSERVACIONES: _____

4.2.5 ENSAYO ESTÁNDAR PARA ANÁLISIS POR TAMIZADO DE AGREGADOS FINOS (ASTM C-136).

DEFINICIÓN.

Es el procedimiento por el cual se clasifica un material atendiendo a la distribución de los diferentes tamaños de las partículas que lo constituyen, cuando se determinan los porcentajes de masa que pasan y se retienen, a través de una serie de tamices graduados.

OBJETIVO.

Conocer la distribución granulométrica de los tamaños de partículas de una muestra para determinar la graduación del material propuesto para su utilización como agregado fino.

A continuación se presentan los resultados del análisis granulométrico realizado a la arena natural del río Las Cañas así como su respectivo gráfico (Ver Tabla Nº 4.6 y Tabla Nº 4.7 - Figura Nº 4.3 y Figura Nº 4.4), asimismo para arena natural lavada industrialmente (Ver Tabla Nº 4.8 y Tabla Nº 4.9 - Figura Nº 4.5 y Figura Nº 4.6) y para las combinaciones de agregado fino (Ver Tabla Nº 4.10 - Tabla Nº 4.14 y Figura Nº 4.7 - Figura Nº 4.11).

Tabla No 4.6: Ensayo granulométrico del agregado fino: arena natural.

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



Proyecto: DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO, UTILIZANDO ARENA NATURAL, ARENA LAVADA INDUSTRIALMENTE Y LA COMBINACIÓN DE LAS MISMAS

Ubicación: Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil Reporte Nº: 1

Procedencia: Río Las Cañas. Hoja Nº: 1

Ensayo Nº: 1 Fecha: Marzo 2013

Muestra Nº: 1

ENSAYO GRANULOMETRICO
DEL AGREGADO FINO ARENA LAS CAÑAS
(ASTM C-136)

Peso inicial: 554.50 g

MALLA	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	PESO RETENIDO AJUSTADO (g)	% RETENIDO		% ACUMULADO QUE PASA	
				PARCIAL	ACUMULADO		
3/8"	100.00	0.00	0.00	0.00	0	0	100
# 4	4.75	20.10	20.10	3.62	4	4	96
# 8	2.36	61.90	61.90	11.16	11	15	85
# 16	1.18	80.70	80.70	14.55	14	29	71
# 30	0.60	120.80	120.80	21.79	22	51	49
# 50	0.30	155.80	154.50	27.86	28	79	21
# 100	0.15	94.60	94.60	17.06	17	96	4
FONDO		21.90	21.90	3.95	4	100	0
TOTAL		555.80	554.50	100.00	100		

CALCULO DEL MODULO DE FINURA

MF = $\frac{\sum \% \text{Acumulado retenido \#4 - \#100}}{100} = 2.74$

OBSERVACIONES: _____

Figura N° 4.3: Curva granulométrica del agregado fino: arena natural (ensayo N°1)

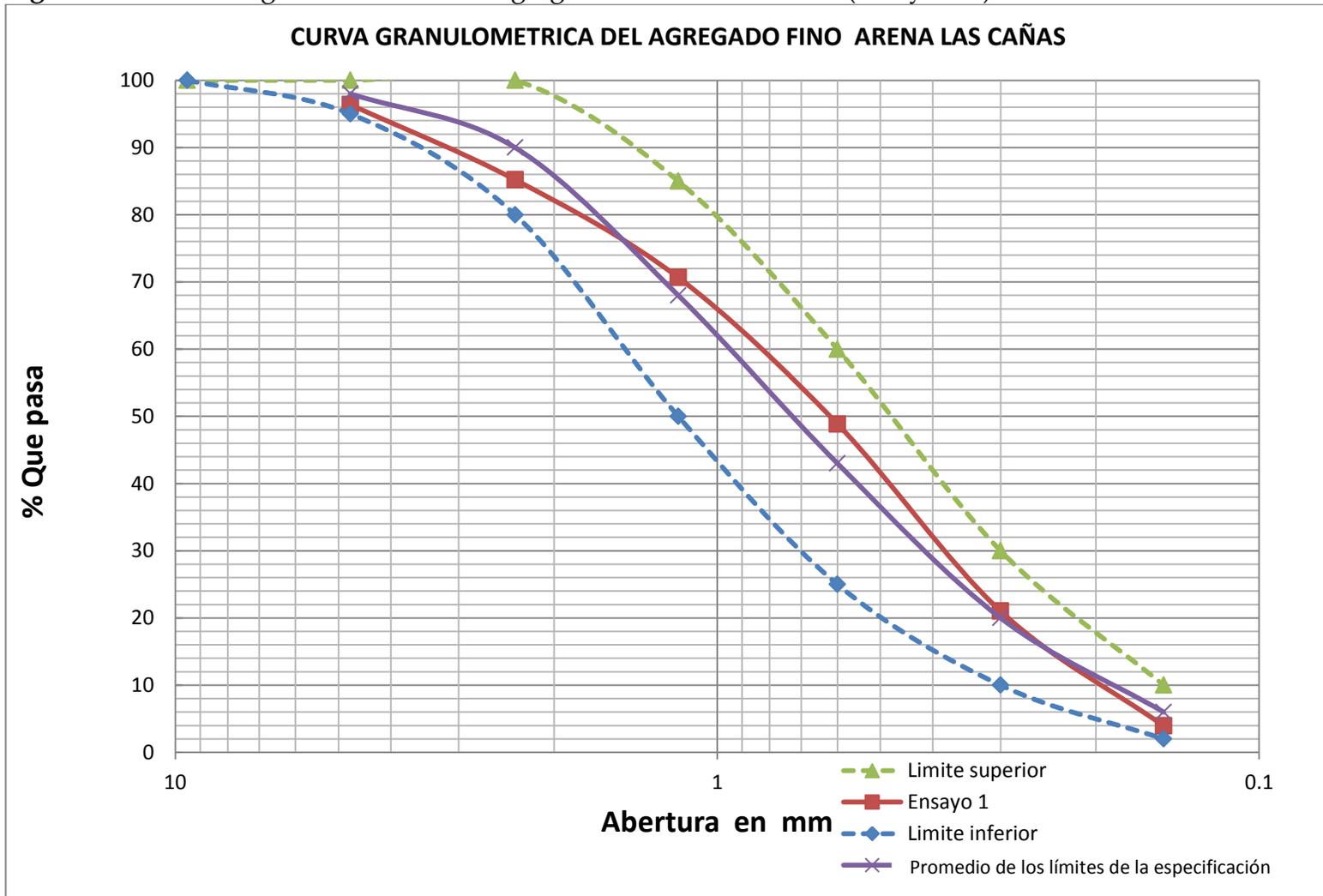


Tabla No 4.7: Ensayo granulométrico del agregado fino: arena natural.

<p>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"</p>							
<p>Proyecto: DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO, UTILIZANDO ARENA NATURAL, ARENA LAVADA INDUSTRIALMENTE Y LA COMBINACIÓN DE LAS MISMAS</p>							
Ubicación: <u>Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil</u>				Reporte Nº: <u>1</u>			
Procedencia: <u>Río Las Cañas.</u>				Hoja Nº: <u>2</u>			
Ensayo Nº: <u>2</u>				Fecha: <u>Marzo 2013</u>			
Muestra Nº: <u>1</u>							
<p>ENSAYO GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO ARENA LAS CAÑAS (ASTM C-136)</p>							
Peso inicial: <u>631.00</u> g							
MALLA		PESO RETENIDO (g)	PESO RETENIDO AJUSTADO (g)	CANTIDAD RETENIDA		ACUMULADO	% ACUMULADO QUE PASA
				PARCIAL			
3/8"	100	0.00	0.00	0.00	0	0	100
# 4	4.75	28.60	28.60	4.53	5	5	95
# 8	2.36	68.40	68.40	10.84	11	16	84
# 16	1.18	89.60	89.60	14.20	14	30	70
# 30	0.6	134.40	133.90	21.22	21	51	49
# 50	0.3	178.00	178.00	28.21	28	79	21
# 100	0.15	106.90	106.90	16.94	17	96	4
FONDO		25.60	25.60	4.06	4	100	0
TOTAL		631.50	631.00	100	100		
<p>CALCULO DEL MODULO DE FINURA</p>							
$MF = \frac{\sum \% \text{Acumulado retenido \#4 - \#100}}{100} = \frac{277}{100} = 2.77$							
OBSERVACIONES: _____ _____ _____							

Figura No 4.4: Curva granulométrica del agregado fino: arena natural (ensayo No2)

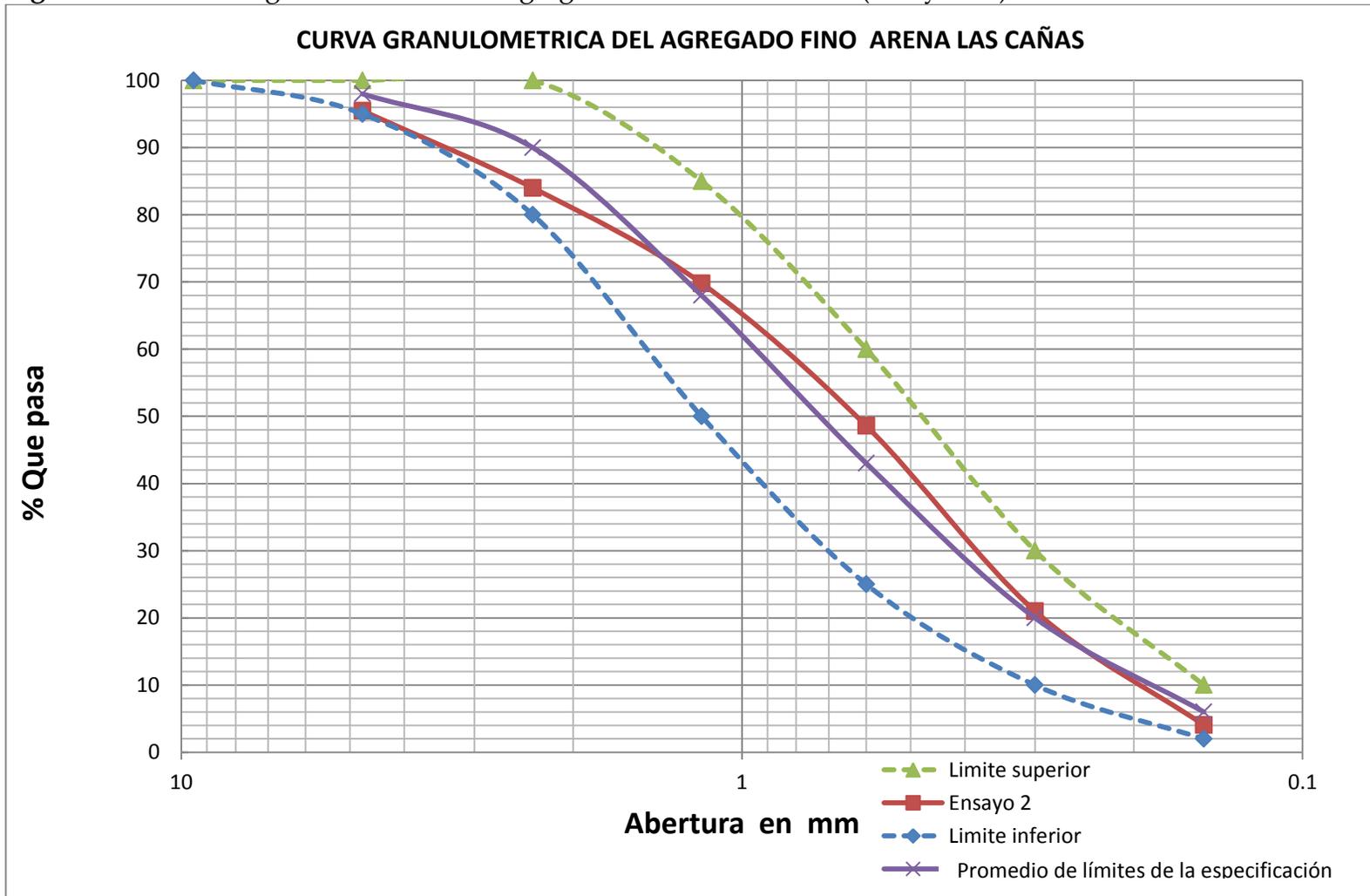


Tabla No 4.8: Granulometría del agregado fino: arena lavada industrialmente.

<p>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"</p>							
Proyecto: <i>DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO, UTILIZANDO ARENA NATURAL, ARENA LAVADA INDUSTRIALMENTE Y LA COMBINACIÓN DE LAS MISMAS</i>							
Ubicación: <u>Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil</u>					Reporte Nº: <u>1</u>		
Procedencia: <u>La Cantera S.A</u>					Hoja Nº: _____		
Ensayo Nº: <u>1</u>					Fecha: <u>Marzo 2013</u>		
Muestra Nº: <u>1</u>							
<p>ENSAYO GRANULOMETRICO DEL AGREGADO FINO ARENA LAVADA (ASTM C-136)</p>							
Peso inicial: <u>491.60</u> g							
MALLA	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	PESO RETENIDO (g)	CANTIDAD RETENIDA		% ACUMULADO QUE PASA	
				PARCIAL	ACUMULADO		
3/8"	100.00	0.00	0.00	0.00	0	0	100
# 4	4.75	18.80	18.80	3.82	4	4	96
# 8	2.36	51.30	51.30	10.44	10	14	86
# 16	1.18	68.70	68.70	13.97	14	28	72
# 30	0.60	125.80	125.80	25.59	26	54	46
# 50	0.30	149.20	149.80	30.47	31	85	15
# 100	0.15	66.20	66.20	13.47	13	98	2
FONDO		11.00	11.00	2.24	2	100	0
TOTAL		491.00	491.60	100.00	100		
CALCULO DEL MODULO DE FINURA							
$MF = \frac{\sum \%Acumulado\ retenido\ \#4 - \#100}{100} = \frac{283}{100} = 2.83$							
OBSERVACIONES: _____ _____							

Figura Nº 4.5: Curva granulométrica del agregado fino: arena natural lavada industrialmente (ensayo Nº1)

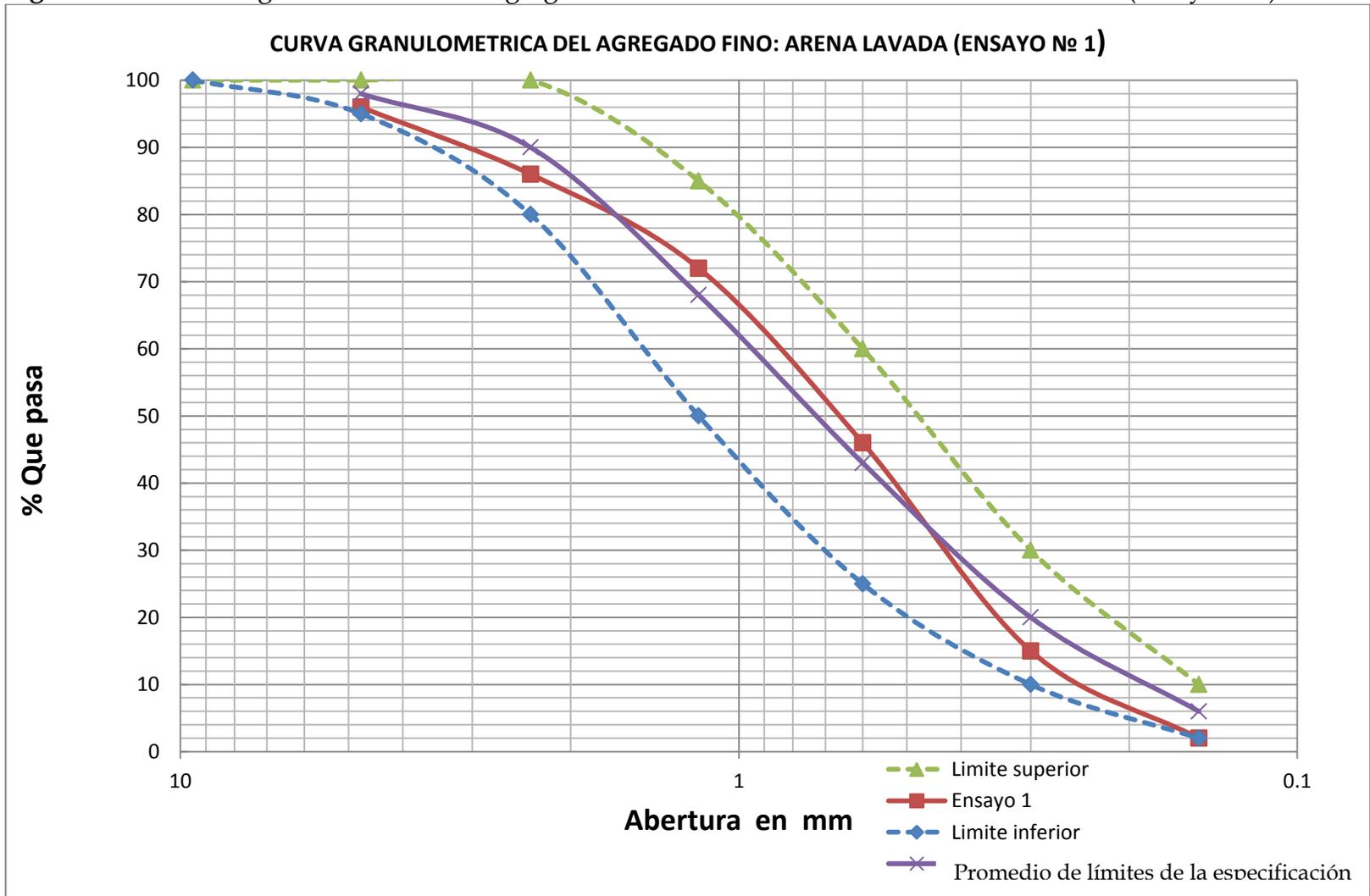


Tabla No 4.9: Granulometría del agregado fino: arena lavada industrialmente

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



Proyecto: *DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO, UTILIZANDO ARENA NATURAL, ARENA LAVADA INDUSTRIALMENTE Y LA COMBINACIÓN DE LAS MISMAS*

Ubicación: Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil Reporte No: _____

Procedencia: La Cantera S.A Hoja No: _____

Ensayo No: 2 Fecha: Marzo 2013

Muestra No: 1

ENSAYO GRANULOMETRICO
DEL AGREGADO FINO ARENA LAVADA
(ASTM C-136)

Peso inicial: 368.40 g

MALLA	ABERTURA MALLA (mm)	PESO RETENIDO (g)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO		% ACUMULADO QUE PASA
				PARCIAL	ACUMULADO	
3/8"	100	0.00	0.00	0.00	0	100
# 4	4.75	15.20	15.20	4.13	4	96
# 8	2.36	37.20	37.20	10.10	10	86
# 16	1.18	48.30	48.30	13.11	13	73
# 30	0.6	83.70	83.70	22.72	23	50
# 50	0.3	112.00	113.00	30.67	31	19
# 100	0.15	58.70	58.70	15.93	16	3
FONDO		12.30	12.30	3.34	3	0
TOTAL		367.40	368.40	100		

CALCULO DEL MODULO DE FINURA

MF = $\frac{\sum \% \text{Acumulado retenido \#4 - \#100}}{100} = \frac{273}{100} = 2.73$

OBSERVACIONES: _____

Figura Nº 4.6: Curva granulométrica del agregado fino: arena natural lavada industrialmente (ensayo Nº2)

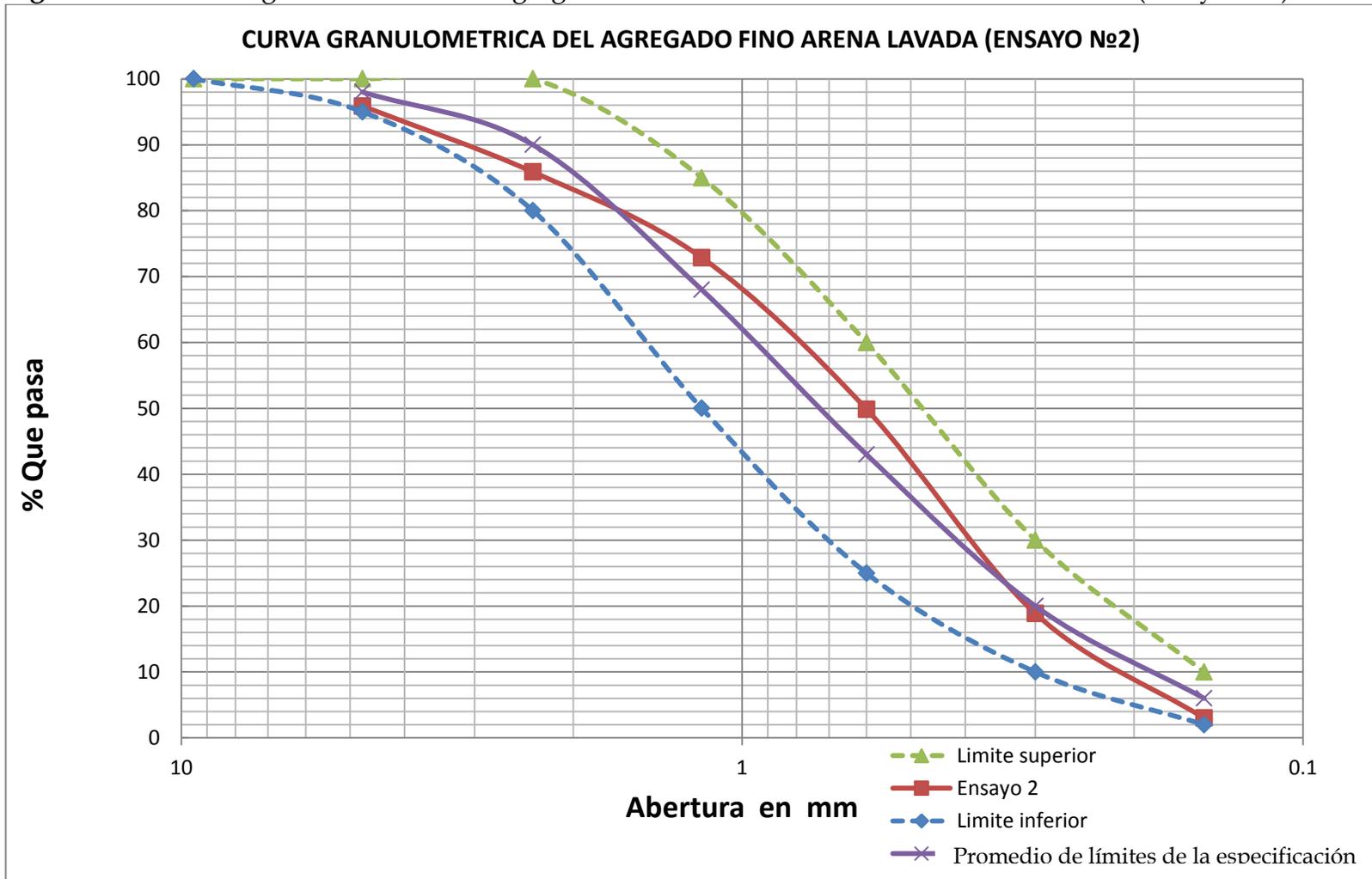


Tabla No 4.10: Granulometría del agregado fino: arena natural (75%) y arena lavada industrialmente (25%).

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"							
Proyecto: <u>DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO, UTILIZANDO ARENA NATURAL, ARENA LAVADA INDUSTRIALMENTE Y LA COMBINACIÓN DE LAS MISMAS</u>				Reporte No: <u>1</u>			
Ubicación: <u>Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil</u>				Hoja No: <u>1</u>			
Procedencia: <u>La Cantera S.A – Río las Cañas.</u>				Fecha: <u>Marzo 2013</u>			
Ensayo No: <u>1</u>							
Muestra No: <u>1</u>							
ENSAYO GRANULOMETRICO COMBINACION 75% LAS CAÑAS - 25% TIHUAPA (ASTM C-136)							
Peso inicial: <u>300.00</u>				g			
MALLA	ABERTURA	PESO RETENIDO (g)	PESO RETENIDO AJUSTADO (g)	% RETENIDO			% ACUMULADO QUE PASA
	(mm)			PARCIAL	ACUMULADO		
3/8"	100.00	0.00	0.00	0.00	0	0	100
# 4	4.75	10.70	10.70	3.57	4	4	96
# 8	2.36	29.60	29.60	9.87	10	14	86
# 16	1.18	44.70	44.70	14.90	15	29	71
# 30	0.60	62.80	62.80	20.93	21	50	50
# 50	0.30	88.00	88.5	29.47	29	79	21
# 100	0.15	53.90	53.90	17.97	18	97	3
FONDO		9.9	9.9	3.3	3	100	0
TOTAL		299.6	300.00		100		
CALCULO DEL MODULO DE FINURA							
MF =	$\frac{\sum \% \text{Acumulado retenido \#4 - \#100}}{100}$			=	$\frac{273}{100}$	=	2.73
OBSERVACIONES: _____							

Figura No 4.7: Curva granulométrica del agregado fino: arena natural (75%) y arena lavada industrialmente (25%)

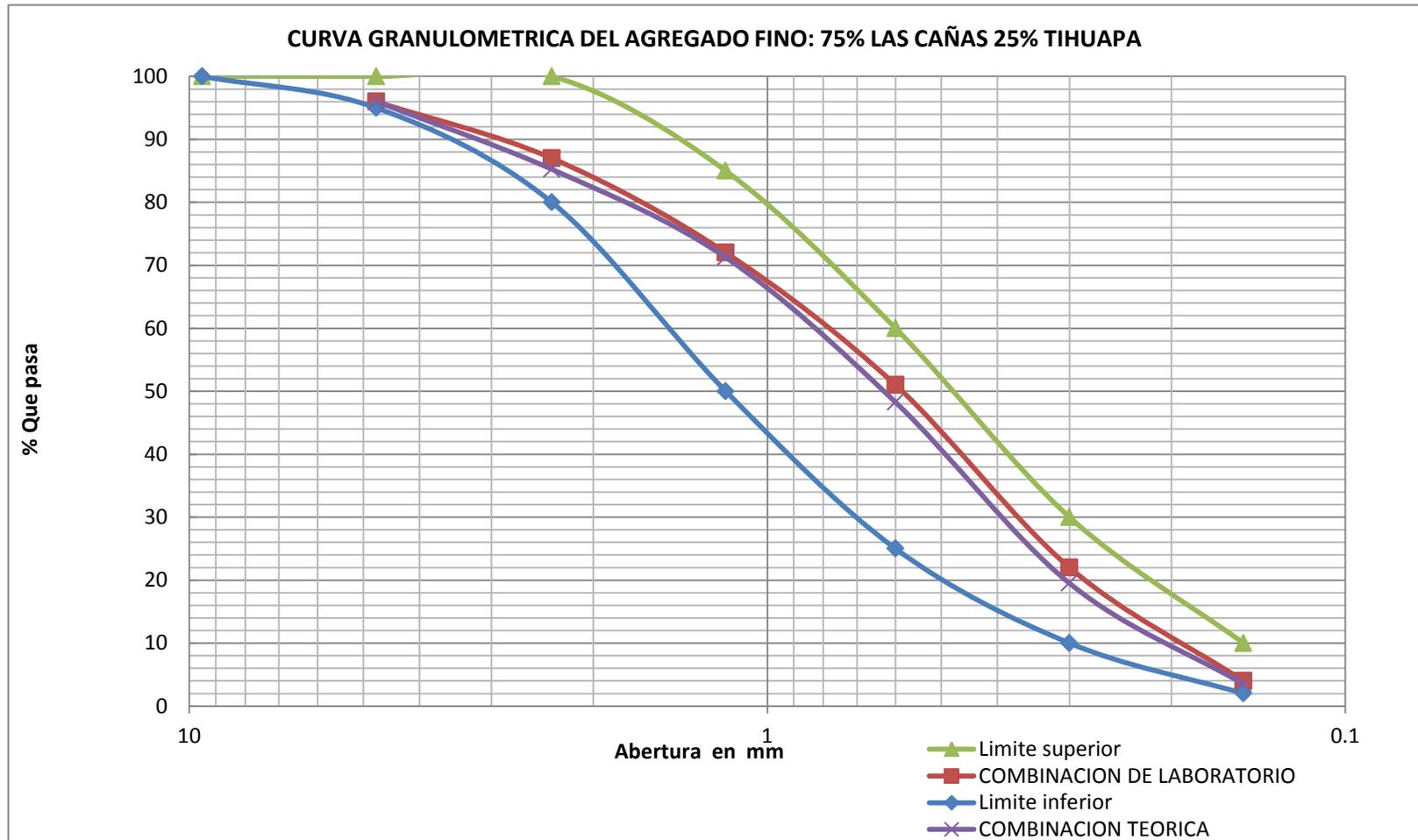


Tabla Nº 4.11: Granulometría del agregado fino: arena natural (25%) y arena lavada industrialmente (75%)

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"							
Proyecto: <i>DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO, UTILIZANDO ARENA NATURAL, ARENA LAVADA INDUSTRIALMENTE Y LA COMBINACIÓN DE LAS MISMAS</i>				Reporte Nº: <u>1</u>			
Ubicación: <i>Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil</i>				Hoja Nº: <u>1</u>			
Procedencia: <i>La Cantera S.A</i>				Fecha: <u>Marzo 2013</u>			
Ensayo Nº: <u>1</u>							
Muestra Nº: <u>1</u>							
ENSAYO GRANULOMETRICO COMBINACION 25% LAS CAÑAS - 75% TIHUAPA (ASTM C-136)							
Peso inicial: <u>300.00</u> g							
MALLA	ABERTURA	PESO RETENIDO (g)	PESO RETENIDO	CANTIDAD RETENIDA		% ACUMULADO QUE PASA	
	(mm)		AJUSTADO (g)	PARCIAL	ACUMULADO		
3/8"	100.00	0.0	0.0	0.0	0	0	100
# 4	4.75	12.8	12.8	4.3	4	4	96
# 8	2.36	32.2	32.2	10.7	11	15	85
# 16	1.18	46.8	46.8	15.6	16	31	69
# 30	0.60	65.8	65.8	21.9	22	53	47
# 50	0.30	84.4	84.8	28.3	28	81	19
# 100	0.15	52.4	52.4	17.5	17	98	2
FONDO		5.2	5.2	1.7	2	100	0
TOTAL		299.6	300.00		100		
CALCULO DEL MODULO DE FINURA							
MF =	$\frac{\sum \% \text{Acumulado retenido \#4 - \#100}}{100}$			=	$\frac{282}{100}$	=	2.82
OBSERVACIONES:							
_____ _____							

Figura N° 4.8: Curva granulométrica del agregado fino: arena natural (25%) y arena lavada industrialmente (75%)

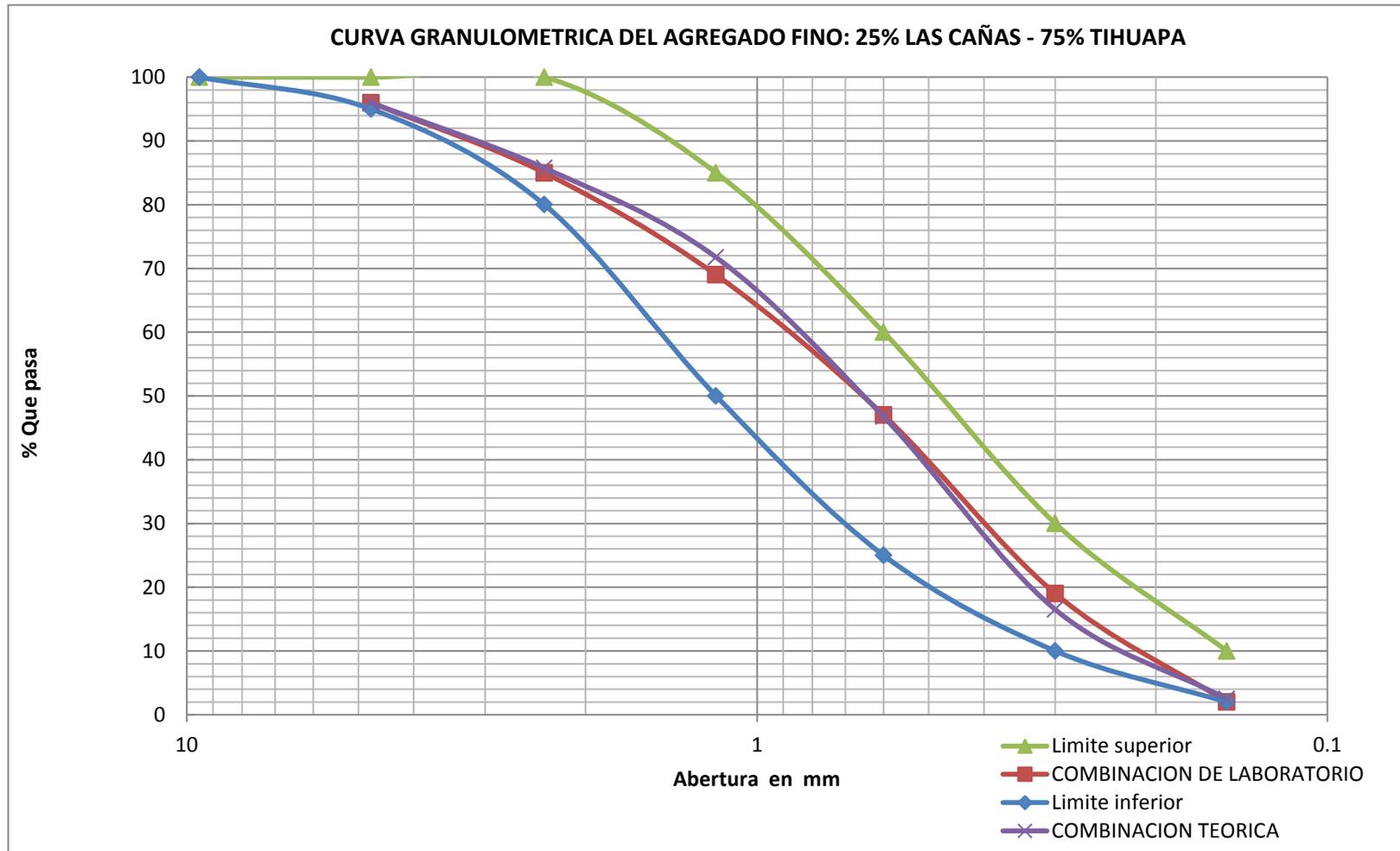


Tabla No 4.12: Granulometría del agregado fino: arena natural (50%) y arena lavada industrialmente (50%)

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



Proyecto: DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO, UTILIZANDO ARENA NATURAL, ARENA LAVADA INDUSTRIALMENTE Y LA COMBINACIÓN DE LAS MISMAS Reporte No: 1

Ubicación: Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil Hoja No: 1

Procedencia: La Cantera S.A Fecha: Marzo 2013

Ensayo No: 1

Muestra No: 1

ENSAYO GRANULOMETRICO
COMBINACION 50-50%
(ASTM C-136)

Peso inicial: 300.00 g

MALLA	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	PESO RETENIDO AJUSTADO (g)	% RETENIDO			% ACUMULADO QUE PASA
				PARCIAL	ACUMULADO		
3/8"	100.00	0.00	0.00	0.00	0	0	100
# 4	4.75	11.80	11.80	3.93	4	4	96
# 8	2.36	28.90	28.90	9.63	10	14	86
# 16	1.18	39.80	39.80	13.27	13	27	73
# 30	0.60	69.20	69.20	23.07	23	50	50
# 50	0.30	87.40	87.50	29.17	29	79	21
# 100	0.15	53.50	53.50	17.83	18	97	3
FONDO		9.30	9.30	3.10	3	100	0
TOTAL		299.90	300.00		100		

MF = $\frac{\sum \% \text{Acumulado retenido \#4 - \#100}}{100} = \frac{271}{100} = 2.71$

OBSERVACIONES: _____

Figura Nº 4.9: Curva granulométrica del agregado fino: arena natural (50%) y arena lavada industrialmente (50%)

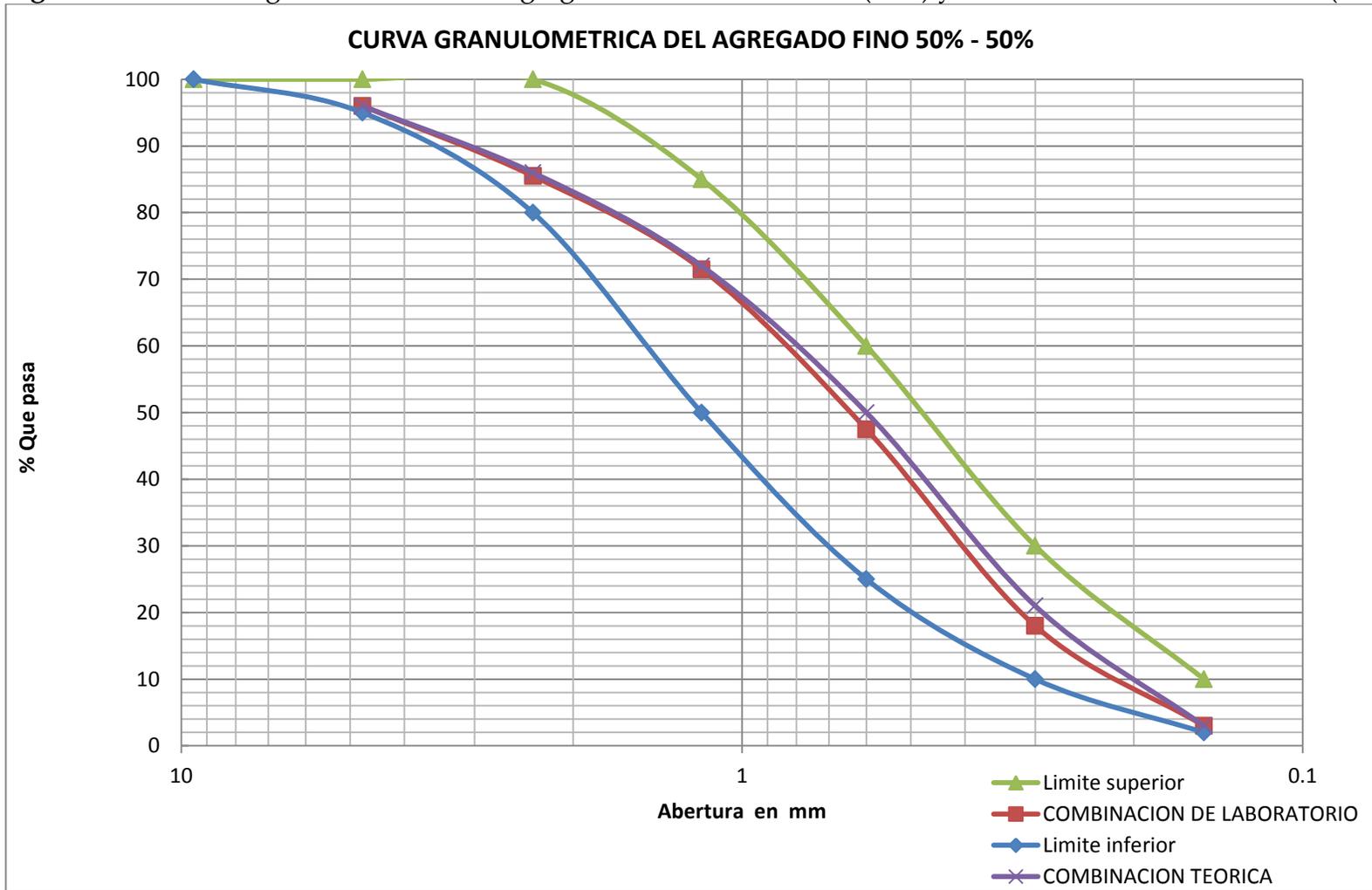


Tabla N° 4.13: Granulometría del agregado fino: arena natural (40%) y arena lavada industrialmente (60%)

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"						
Proyecto: <i>DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO, UTILIZANDO ARENA NATURAL, ARENA LAVADA INDUSTRIALMENTE Y LA COMBINACIÓN DE LAS MISMAS</i>				Reporte N°: <u>1</u>		
Ubicación: <u>Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil</u>				Hoja N°: <u>1</u>		
Procedencia: <u>La Cantera S.A – Río Las Cañas</u>				Fecha: <u>Marzo 2013</u>		
Ensayo N°: <u>1</u>						
Muestra N°: <u>1</u>						
ENSAYO GRANULOMETRICO COMBINACION 40% LAS CAÑAS - 60% TIHUAPA (ASTM C-136)						
Peso inicial: <u>300.00</u> g						
MALLA	ABERTURA	PESO RETENIDO (g)	PESO RETENIDO AJUSTADO (g)	% RETENIDO		% ACUMULADO QUE PASA
	(mm)			PARCIAL	ACUMULADO	
3/8"	100.00	0.00	0.00	0.00	0	0
# 4	4.75	9.90	9.90	3.30	3	3
# 8	2.36	29.30	29.30	9.77	10	13
# 16	1.18	43.60	43.60	14.53	15	28
# 30	0.60	67.90	67.90	22.63	23	51
# 50	0.30	85.00	85.00	28.33	28	79
# 100	0.15	54.00	54.00	18.00	18	97
FONDO		10.30	10.30	3.43	3	100
TOTAL		300.00	300.00		100	
CALCULO DEL MODULO DE FINURA						
MF =	$\frac{\sum \% \text{Acumulado retenido \#4 - \#100}}{100}$			=	$\frac{271}{100}$	=2.71
OBSERVACIONES: _____						

Figura Nº 4.10: Curva granulométrica del agregado fino: arena natural (40%) y arena lavada industrialmente (60%)

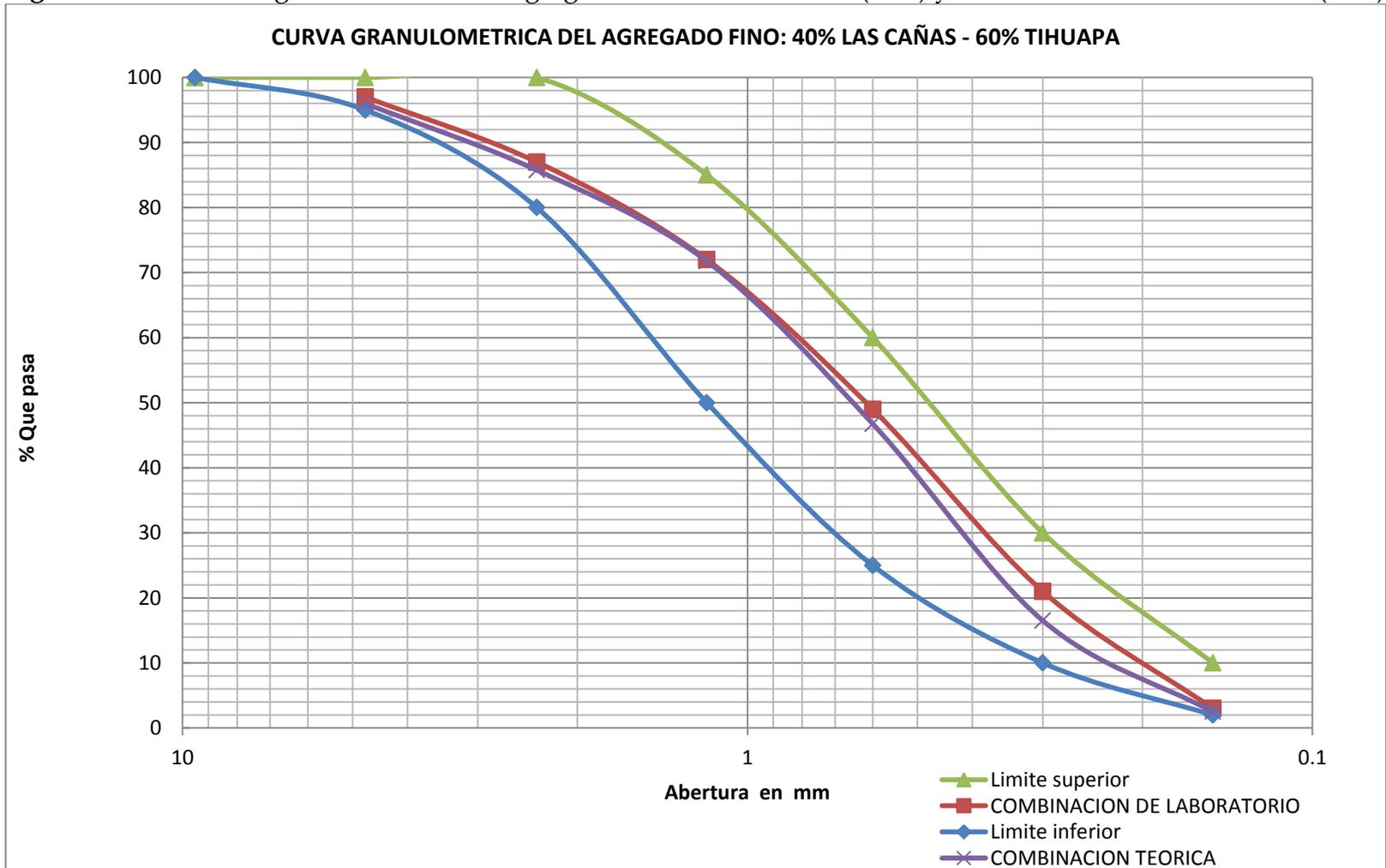


Tabla No 4.14: Granulometría del agregado fino: arena natural (60%) y arena lavada industrialmente (40%)

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



Proyecto: DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO, UTILIZANDO ARENA NATURAL, ARENA LAVADA INDUSTRIALMENTE Y LA COMBINACIÓN DE LAS MISMAS

Ubicación: Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil

Procedencia: La Cantera S.A – Río Las Cañas.

Ensayo Nº: 1

Muestra Nº: 1

Reporte Nº: 1

Hoja Nº: 1

Fecha: Marzo 2013

ENSAYO GRANULOMETRICO
COMBINACION 60% LAS CAÑAS - 40% TIHUAPA
(ASTM C-136)

Peso inicial: 300.00 g

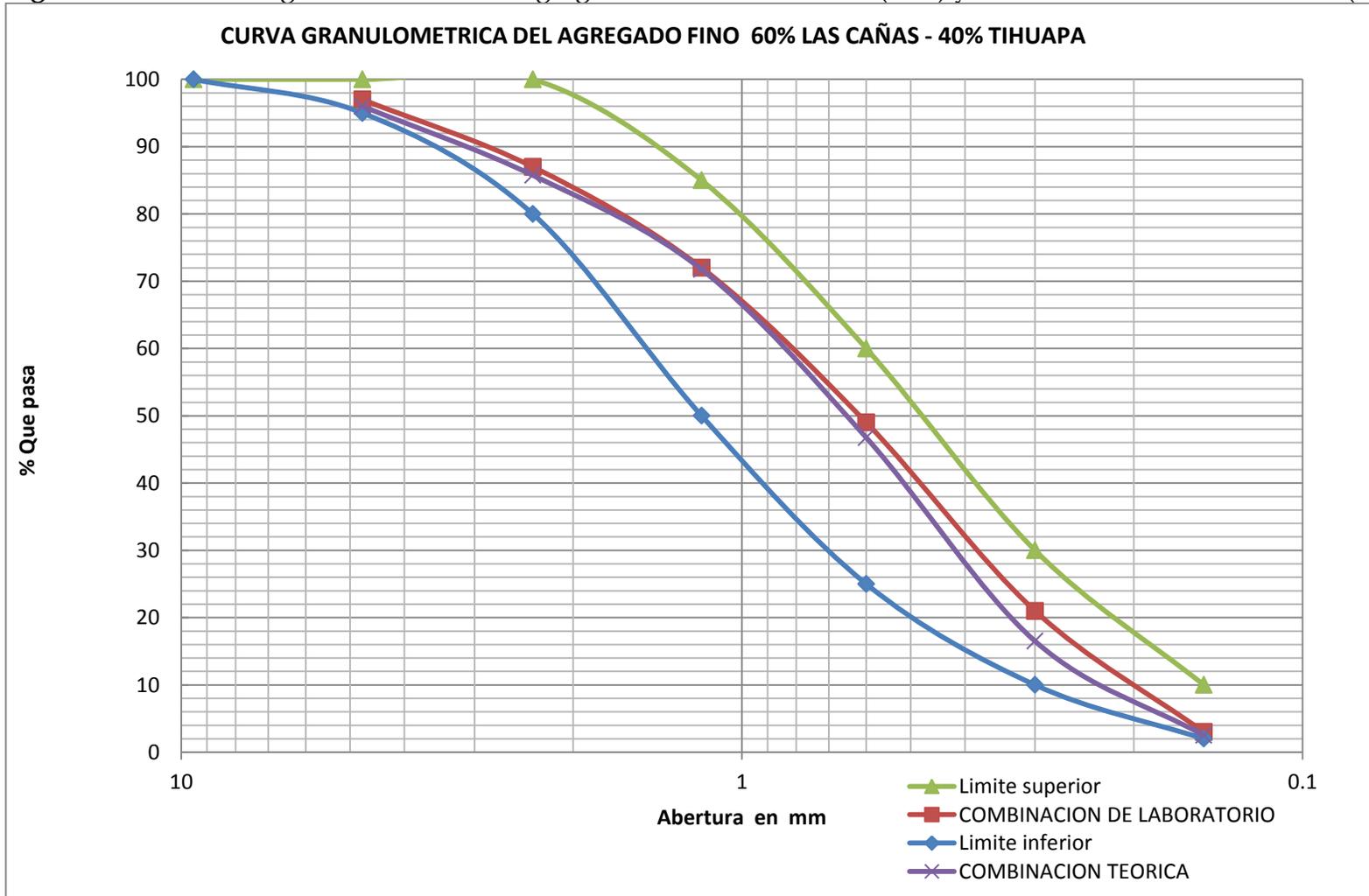
MALLA	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	PESO RETENIDO		CANTIDAD RETENIDA		% ACUMULADO QUE PASA
			AJUSTADO (g)		PARCIAL	ACUMULADO	
3/8"	100.00	0.00	0.00		0.00	0	100
# 4	4.75	15.40	15.40		5.13	5	97
# 8	2.36	29.50	29.50		9.83	10	87
# 16	1.18	45.10	45.10		15.03	15	72
# 30	0.60	66.20	66.20		22.07	22	49
# 50	0.30	87.40	86.90		28.97	29	21
# 100	0.15	47.40	47.40		15.80	16	3
FONDO		9.50	9.50		3.17	3	100
TOTAL		300.50	300.00			100	

CALCULO DEL MODULO DE FINURA

MF = $\frac{\sum \% \text{Acumulado retenido \#4 - \#100}}{100} = \frac{271}{100} = 2.71$

OBSERVACIONES: _____

Figura N° 4.11: Curva granulométrica del agregado fino: arena natural (60%) y arena lavada industrialmente (40%)



4.2.6 ENSAYO ESTÁNDAR PARA DENSIDAD, GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS (ASTM C-128).

DEFINICION.

Es la relación entre el peso unitario de una sustancia y el peso unitario de otra que se toma como referencia (agua a 4°C). Su valor es adimensional.

OBJETIVO.

Conocer el valor de la gravedad específica para la determinación del cálculo de los pesos de los componentes del concreto, además de obtener el volumen absoluto deseado de un material en el diseño de mezclas.

A continuación se presentan los resultados del ensayo estándar para la densidad relativa (gravedad específica) y absorción de los dos tipos de agregado fino en cuestión (ver tabla N° 4.15 y tabla N° 4.16).

Tabla No 4.15: Gravedad específica y absorción de agregado fino: arena natural.

<p>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"</p>			
Proyecto:	<p><i>DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO, UTILIZANDO ARENA NATURAL, ARENA LAVADA INDUSTRIALMENTE Y LA COMBINACIÓN DE LAS MISMAS "</i></p>	Reporte Nº:	1
Ubicación:	<p><i>Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil</i></p>	Hoja Nº:	1
Procedencia:	<p><i>Rio las Cañas</i></p>	Fecha:	Marzo 2013
Ensayo Nº:	1,2,3		
Muestra Nº:	1		
<p>DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO, ARENA LAS CAÑAS (ASTM C-128)</p>			
Muestra No	1	1	1
Ensayo No	1	2	3
No de Picnómetro	1	2	3
Peso de Picnómetro + agua (aforado) g	1477.50	1450.00	1472.80
Peso de arena sss g	529.7	630.40	574.10
Peso de Picnómetro + agua + arena sss (aforado)	1775.40	1800.00	1796.60
Peso seco de arena g	491.80	584.20	532.6
Peso de agua g	37.9	46.2	41.5
Absorción %	7.70	7.91	7.79
Gravedad específica Bulk sss	2.28	2.25	2.29
Gravedad específica seca	2.12	2.08	2.13
Gravedad específica aparente	2.54	2.49	2.55
Promedio de gravedad específica seca	2.1		
Promedio de Absorción %	7.8		
OBSERVACIONES: _____			

Tabla No 4.16: Gravedad específica y absorción de agregado fino: arena natural lavada industrialmente.

<p style="text-align: center;">FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"</p>			
			
Proyecto:	<p style="text-align: center;"><i>DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO, UTILIZANDO ARENA NATURAL, ARENA LAVADA INDUSTRIALMENTE Y LA COMBINACIÓN DE LAS MISMAS</i></p>		Reporte Nº: <u>1</u>
Ubicación:	<p style="text-align: center;"><i>Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil</i></p>		Hoja Nº: <u>1</u>
Procedencia:	<p style="text-align: center;"><i>La Cantera S.A</i></p>		Fecha: <u>Marzo 2013</u>
Ensayo Nº:	<p style="text-align: center;"><u>1,2,3.</u></p>		
Muestra Nº:	<p style="text-align: center;"><u>1</u></p>		
<p>DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO, ARENA TIHUAPA. (ASTM C-128)</p>			
Muestra No	1	1	1
Ensayo No	1	2	3
No de Picnómetro	1	2	4
Peso de Picnómetro + agua (aforado) g	1477.50	1450.00	1448.00
Peso de arena sss g	500.00	500.00	500.00
Peso de Picnómetro + agua + arena sss (aforado)	1788.20	1760.50	1758.00
Peso seco de arena g	478.00	477.80	477
Peso de agua g	22.00	22.20	23.00
Gravedad especifica Bulk sss	2.64	2.56	2.63
Gravedad especifica seca	2.53	2.52	2.51
Gravedad especifica aparente	2.86	2.86	2.86
Absorción %	4.60	4.65	4.82
Promedio de gravedad especifica seca	2.52		
Promedio de Absorción %	4.69		
OBSERVACIONES:			

Tabla No 4.17: Gravedad específica y absorción de agregado fino: arena natural lavada industrialmente.⁹

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"			
Proyecto:	<i>DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO, UTILIZANDO ARENA NATURAL, ARENA LAVADA INDUSTRIALMENTE Y LA COMBINACIÓN DE LAS MISMAS</i>	Reporte No:	1
Ubicación:	<i>Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil</i>	Hoja No:	1
Procedencia:	<i>La Cantera S.A</i>	Fecha:	Octubre 2013
Ensayo No:	1,2,3.		
Muestra No:	1		
DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO ARENA TIHUAPA (ASTM C-128)			
Ensayo No	1	2	3
No de Picnómetro	1	2	3
Peso de Picnómetro + agua (aforado) g	1501.4	1438.00	1438.80
Peso de arena sss g	500.00	500.00	500.00
Peso de Picnómetro + agua + arena sss (aforado)	1801.90	1742.60	1743.20
Peso seco de arena g	477.90	477.00	477.1
Peso de agua g	22.1	23.0	23.9
Gravedad especifica Bulk sss	2.51	2.55	2.56
Gravedad especifica seca	2.40	2.44	2.44
Gravedad especifica aparente	2.69	2.76	2.76
Absorción %	4.62	4.82	4.80
Promedio de gravedad especifica seca	2.43		
Promedio de Absorción %	4.75		
OBSERVACIONES:			

⁹ Chequeo del ensayo de gravedad específica y absorción para el agregado fino: arena de Tihuapa.

4.2.7 DENSIDAD BULK Y VACÍOS EN LOS AGREGADOS (ASTM C-29).

DEFINICION.

El peso volumétrico es la relación entre el peso del material y el volumen ocupado por el mismo, expresado en kg/m^3 ; lb/ft^3 .

Dependiendo del acomodamiento que se le haya dado al material en la prueba, se le llamará:

- ✘ Peso volumétrico varillado.

- ✘ Peso volumétrico suelto.

Para ambos tipos de agregados finos únicamente se realizó el peso volumétrico suelto (ver tabla N^o 4.18 y tabla N^o 4.19).

Tabla No 4.18: Peso volumétrico suelto del agregado fino: arena natural.

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



Proyecto: DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO, UTILIZANDO ARENA NATURAL, ARENA LAVADA INDUSTRIALMENTE Y LA COMBINACIÓN DE LAS MISMAS

Ubicación: Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil

Procedencia: Río Las Cañas.

Ensayo No: 1,2,3,4,5.

Muestra No: 1

Reporte No: 1

Hoja No: 4

Fecha: Marzo 2013

DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO SUELTO DEL AGREGADO FINO ARENA LAS CAÑAS (ASTM C29)

de molde:

1

Volumen de molde (m³):

0.002989

ENSAYO No		1	2	3	4	5
Peso de molde	Kg	2.845	2.845	2.845	2.845	2.845
Peso de molde + material	Kg	6.970	6.813	6.807	6.804	6.810
Peso de material	Kg	4.125	3.968	3.962	3.959	3.965
Volumen de molde	m ³	0.002989	0.002989	0.002989	0.002989	0.002989
Peso volumetrico suelto	Kg/m ³	1380	1328	1326	1325	1327
Promedio	Kg/m ³	1337				

OBSERVACIONES: El volumen del molde fue obtenido por el método de calibración

Tabla No 4.19: Peso volumétrico del agregado fino: arena lavada industrialmente.

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



Proyecto: DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO, UTILIZANDO ARENA NATURAL, ARENA LAVADA INDUSTRIALMENTE Y LA COMBINACIÓN DE LAS MISMAS

Hoja No: _____

Ubicación: Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil

Fecha: Marzo 2013

Procedencia: La Cantera S.A

Ensayo No: 1

Muestra No: 1,2,3,4,5.

DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO SUELTO DE AGREGADO FINO, ARENA TIHUAPA (ASTM C-29)

de molde:

2

Volumen de molde (m³):

0.003011

ENSAYO No		1	2	3	4	5
Peso de molde	Kg	2.839	2.839	2.839	2.839	2.839
Peso de molde + material	Kg	7.281	7.233	7.227	7.256	7.281
Peso de material	Kg	4.442	4.394	4.388	4.417	4.442
Volumen de molde	m ³	0.003011	0.003011	0.003011	0.003011	0.003011
Peso volumetrico suelto	Kg/m ³	1475	1459	1457	1466	1475
Promedio	Kg/m ³	1467				

OBSERVACIONES:

4.2.8 DETERMINACIÓN DE IMPUREZAS ORGÁNICAS EN EL AGREGADO FINO PARA EL CONCRETO. (ASTM C-40).

DEFINICION.

Las impurezas orgánicas son materiales no minerales de tipo orgánico, principalmente ácido tánico, que se encuentran algunas veces en el agregado fino.

OBJETIVO.

Investigar si la cantidad de material orgánico en el agregado fino, es tal, que no se puede usar en la elaboración del concreto.

A continuación se presentan los resultados del ensayo de impurezas orgánicas o "colorimetría" realizado bajo la norma ASTM C - 40 (ver tablas N^o 4.20 y N^o 4.21) tanto para la arena natural río Las Cañas como para la arena natural lavada industrialmente del río Tihuapa.

Tabla No 4.20: Impurezas orgánicas en el agregado fino: arena natural.

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
“ING. MARIO ÁNGEL GUZMÁN URBINA”**



Proyecto: DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO, UTILIZANDO ARENA NATURAL, ARENA LAVADA INDUSTRIALMENTE Y LA COMBINACIÓN DE LAS MISMAS Hoja No: 1

Ubicación: Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil Fecha: Abril 2013

Procedencia: Rio Las Cañas

Muestra No: 1

Ensayo No: 1,2

**DETERMINACIÓN DE LAS IMPUREZAS ORGÁNICAS EN EL AGREGADO FINO
(ASTM C-40)**



OBSERVACION: Nuestras muestras presentaron una coloración más clara que el color 1 (Arena Limpia), por lo que se considera una arena Libre de materia orgánica.

Tabla No 4.21: Impurezas orgánicas en el agregado fino: arena lavada industrialmente.

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
"ING. MARIO ÁNGEL GUZMÁN URBINA"**



Proyecto: DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO, UTILIZANDO ARENA NATURAL, ARENA LAVADA INDUSTRIALMENTE Y LA COMBINACIÓN DE LAS MISMAS

Hoja No: 1

Ubicación: Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil

Fecha: Abril 2013

Procedencia: Rio Tihuapa.

Muestra No: 1

Ensayo No: 1,2

**DETERMINACIÓN DE LAS IMPUREZAS ORGÁNICAS EN EL AGREGADO FINO
(ASTM C- 40)**



OBSERVACION: Nuestras muestras presentaron una coloración más clara que el color 1 (Arena Limpia), por lo que se considera una arena Libre de materia orgánica.

4.2.9 MATERIAL MÁS FINO QUE LA MALLA 75 μ (Nº 200) BASADO EN ASTM C - 117.

DEFINICION.

Consiste en la determinación de la cantidad de material más fino que la malla de 75 μm (Nº 200) en el agregado por lavado. Las partículas de arcilla y otras de agregado que se encuentran dispersas por el agua de lavado, al igual que los materiales solubles en agua, pueden ser removidas del agregado durante la prueba.

OBJETIVO.

Conocer el porcentaje de fino que el tamiz #200 (75 μm) que tiene como fin deducir si afectara la trabajabilidad y el sangrado del concreto.

A continuación se presenta el resultado del ensayo del material más fino que la malla 75 μ (Nº 200) para el agregado fino (ver tabla Nº 4.22): arena natural proveniente del río Las Cañas y arena natural lavada industrialmente procedente del río Tihuapa.

Tabla No 4.22: Material más fino que la malla 75 μ (No 200).

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA			
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL			
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES			
"ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"			
<i>DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO, UTILIZANDO ARENA NATURAL, ARENA LAVADA INDUSTRIALMENTE Y LA COMBINACIÓN DE LAS MISMAS "</i>		Reporte No:	1
Proyecto:		Hoja No:	1
Ubicación:	<i>Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil</i>	Fecha:	Marzo 2013
Procedencia:	<i>La Cantera S.A / Rio Las Cañas</i>		
Ensayo No:	1,2		
Muestra No:	1		
MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA MATERIAL MÁS FINO QUE LA MALLA No 200 (75 μ) EN AGREGADO MINERAL POR LAVADO (ASTM C-117)			
ARENA NATURAL RIO LAS CAÑAS		ARENA NATURAL LAVADA INDUSTRIALMENTE	
Muestra #1	Muestra #2	Muestra #1	Muestra #2
$W_{msec0} = 373.6 \text{ g}$	$W_{msec0} = 456.8 \text{ g}$	$W_{msec0} = 405.8 \text{ g}$	$W_{msec0} = 402.8 \text{ g}$
$W_{msec0} \text{ después del lavado} = 365.6 \text{ g}$	$W_{msec0} \text{ después del lavado} = 446.6 \text{ g}$	$W_{msec0} \text{ después del lavado} = 399.6 \text{ g}$	$W_{msec0} \text{ después del lavado} = 394.8 \text{ g}$
%Fino= 2.14	%Fino= 2.23	%Fino=1.52	%Fino= 1.99
%Fino _{prm} = 2.19		%Fino _{prm} = 1.76	
OBSERVACIONES: _____			

4.2.10 MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA DENSIDAD DE CEMENTO HIDRÁULICO (ASTM C -188).

DEFINICION.

La gravedad específica del cemento hidráulico se define como la relación entre densidad del cemento y la densidad del agua.

OBJETIVO.

Determinar la gravedad específica del cemento según la norma ASTM C- 188 para su empleo en el diseño y control de mezclas de concreto de esta investigación. A continuación se presenta en la tabla N° 4.23 los resultados obtenidos en este ensayo para las muestras de cemento ASTM C - 1157 tipo GU utilizadas en esta investigación.

Tabla No 4.23: Peso específico relativo del cemento (ASTM C - 188)

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
“TECNOLOGIA DEL CONCRETO”



**DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO
RELATIVO DEL CEMENTO (ASTM C – 188)**

Solicita: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR Reporte No.: 1

Proyecto: DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO, UTILIZANDO ARENA NATURAL, ARENA LAVADA INDUSTRIALMENTE Y LA COMBINACIÓN DE LAS MISMAS 1

Fecha de Solicitud: Mayo - 2013 Hoja No.: Grupo de tesis.

Fecha de Recepción: Mayo - 2013 Elaboró: Grupo de tesis.

Fecha de Ensayo: Mayo - 2013 Nafta:

Kerosene:

Ensayo No.		1	2
Peso de Cemento utilizado	g	60	60
Volumen inicial (Vi)	cm ³	0.5	0.2
Volumen final (Vf)	cm ³	21.5	20.9
Volumen desplazado	cm ³	21.0	20.7
Densidad del cemento	g/cm ³	2.86	2.90
Peso específico relativo del cemento		2.86	2.90
Temperatura de ensayo	°C	22	22
Peso específico relativo promedio del cemento		2.88	

OBSERVACIONES: Para fines de diseño se utilizará el valor de 2.90 para la gravedad específica del cemento.

4.3 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO A LOS AGREGADOS A UTILIZAR.

La sección 4.2 de este documento muestra los ensayos a realizar para comprobar las propiedades de los agregados a utilizar en las mezclas de concreto requeridas en este trabajo de graduación. De la misma forma, en la sección 3.6 se muestran los requisitos que deberán cumplir dichos agregados.

A continuación se muestran, en la tabla N° 4.24 los resultados de los ensayos realizados a la grava, arena natural y arena natural lavada industrialmente a utilizar en esta investigación.

Tabla N° 4.24: Resumen de resultados de las pruebas de laboratorio realizadas a los agregados.

Ensayo	Resultado
Granulometría del agregado grueso	Grava # 67 y TMN ¾" Según ASTM C33
Granulometría arena natural Rio Las Cañas	M.F.: 2.76 Según ASTM C33: 2.3 < M.F. < 3.1
Granulometría arena natural lavada industrialmente Rio Tihuapa	M.F.: 2.79 Según ASTM C33: 2.3 < M.F. < 3.1
Peso volumétrico de la grava	PVV: 1500kg/m ³ PVS: 1375 kg/m ³ Requisito: 1260-1750 kg/m ³
Peso volumétrico de la arena natural del Río Las Cañas	PVS: 1337 kg/m ³
Peso volumétrico de la arena natural lavada industrialmente Rio Tihuapa	PVS: 1467 kg/m ³
Gravedad específica de la grava	G _{S^{sss}} = 2.55 G _{S^{ss}} = 2.51 G _{S^{aparente}} = 2.62 Requisito: 2.4 < G _s < 2.9

Absorción de la grava	Abs = 1.53 % Requisito: %Abs < 4%
Gravedad específica de la arena natural Rio Las Cañas	$G_{S_{SSS}} = 2.27$ $G_{S_{SS}} = 2.10$ $G_{S_{aparente}} = 2.53$ Requisito: $2.4 < G_s < 2.9$
Absorción de la arena natural Rio Las cañas	Abs = 7.8 % Requisito: %Abs < 6%
Gravedad específica de la arena natural lavada industrialmente Rio Tihuapa	$G_{S_{SSS}} = 2.61$ $G_{S_{SS}} = 2.52$ $G_{S_{aparente}} = 2.83$ Requisito: $2.4 < G_s < 2.9$
Absorción de la arena natural lavada industrialmente Rio Tihuapa	Abs = 4.69 % Requisito: %Abs < 6%
Impurezas orgánicas arena natural Rio Las Cañas	Menor que 1
Impurezas orgánicas arena natural lavada industrialmente Rio Tihuapa	Menor que 1
Material más fino que la malla № 200 (%) arena natural Rio Las Cañas	2.18
Material más fino que la malla № 200 (%) arena natural lavada industrialmente Rio Tihuapa	1.75

Fuente: Ensayos de laboratorio realizados por los autores de este trabajo de graduación. Fechas: Marzo y abril 2013.

4.4 ANALISIS EXPERIMENTAL DE LAS PROPIEDADES FISICAS DE LOS AGREGADOS.

4.4.1 AGREGADO GRUESO.

4.4.1.1 ENSAYO GRANULOMETRICO (ASTM C-136).

Observando los resultados que se encuentran reflejados en las tablas N^o 4.1 y N^o 4.2, así como sus correspondientes gráficos en las figuras N^o 4.1 y N^o 4.2 respectivamente; en los ensayos granulométricos realizados al agregado grueso se obtuvo un TMN de $\frac{3}{4}$ " , asimismo resultó ser de un tamaño de granulometría N^o 67 según especificación ASTM C-33 (ver tabla N^o 3.13); puede observarse una curva cercana al límite inferior de dicha especificación, de lo cual se puede decir que resulta una granulometría de grava gruesa.

4.4.1.2 ENSAYO ESTÁNDAR PARA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCION DEL AGREGADO GRUESO (ASTM C-127).

Se determinó la gravedad específica y absorción del agregado grueso cuyos resultados se encuentran en la tabla N^o 4.3. Puede observarse que su valor promedio de $G_{s\text{aparente}} = 2.62$, y el valor promedio de la absorción obtenido fue de 1.53%.

Este parámetro es importante para el proporcionamiento de mezclas de concreto.

4.4.1.3 ENSAYO ESTÁNDAR PARA DENSIDAD BULK Y VACÍOS EN LOS AGREGADOS (ASTM C-29).

El peso volumétrico es de utilidad en el cálculo de diseños de mezclas y clasificación de las mismas. Los valores correspondientes al agregado grueso para este ensayo son los presentados a continuación:

- ✘ PVV: 1500 kg/m³ (ver tablaNº 4.4)
- ✘ PVS: 1375 kg/m³ (ver tablaNº 4.5)

Requisito: 1260-1750 kg/m³, rango que establece que la densidad del agregado grueso a utilizarse corresponde a un concreto de peso normal.

4.4.2 AGREGADO FINO.

4.4.2.1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM C-136) ARENA NATURAL RÍO LAS CAÑAS.

Los requisitos de la especificación ASTM C-33 permiten un rango relativamente amplio en la granulometría del agregado fino cuyos límites se presentan en la tabla Nº 3.11.

Los resultados de los ensayos granulométricos realizados a la arena natural del río Las Cañas pueden observarse en las Tablas Nº 4.6 y Nº 4.7; cuyos valores de

módulo de finura fueron de 2.77 y 2.74 respectivamente, de lo anterior puede observarse que este agregado fino corresponde a una arena media ya que dichos valores se encuentra en el rango de 2.6–2.9, siendo el promedio de 2.76; además, sus curvas granulométricas muestran una tendencia suavizada y dentro del rango que establece la especificación ASTM C-33 (2.3 - 3.1) como lo muestran las figuras N° 4.3 y N° 4.4.

4.4.2.2 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM C-136), ARENA NATURAL LAVADA INDUSTRIALMENTE RÍO TIHUAPA.

Los resultados del ensayo granulométrico realizado a la arena natural lavada industrialmente pueden observarse en las Tablas N° 4.8 y N° 4.9 (de las cuales puede concluirse que corresponde a una arena media ya que su módulo de finura se encuentra en el rango de 2.6 - 2.9, siendo su valor promedio de 2.79), así como sus correspondientes gráficos presentados en las figuras N° 4.5 y N° 4.6 respectivamente. Cabe mencionar que la distribución granulométrica presenta una gran similitud en relación a la arena del río Las Cañas utilizada en esta investigación, lo cual podría resultar en una trabajabilidad muy similar de ambas mezclas ya que esta es influenciada por la granulometría de los agregados.

4.4.2.3 ENSAYO ESTÁNDAR PARA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCION DEL AGREGADO FINO (ASTM C-128).

Los resultados de la gravedad específica y absorción tanto de arena del río Las Cañas, como de arena lavada industrialmente se encuentran en las tablas N° 4.15 y N° 4.16 respectivamente. Cabe mencionar que la importancia del parámetro de gravedad específica tiene lugar en el cálculo y proporcionamiento del diseño de mezclas de concreto; mientras que la absorción viene a ser un parámetro de calidad del agregado que puede estar relacionado con el contenido de partículas ligeras y el contenido de poros en los agregados.

4.4.2.4 ENSAYO ESTÁNDAR PARA DENSIDAD BULK Y VACÍOS EN LOS AGREGADOS FINOS (ASTM C-29).

Los resultados de pesos volumétricos obtenidos para el agregado fino en esta investigación fueron los siguientes:

- ✘ Peso volumétrico suelto de la arena natural del Rio Las Cañas: 1337 kg/m³ (ver tabla N° 4.18).
- ✘ Peso volumétrico suelto de la arena natural lavada industrialmente Rio Tihuapa: 1467 kg/m³ (ver tabla N° 4.19).

Requisito: 1200-1700 kg/m³, rango que establece la calidad del agregado fino a implementarse para concreto de peso normal, donde se puede observar que ambas cumplen con este requisito.

4.4.2.5 ANÁLISIS DEL RESULTADO DE IMPUREZAS ORGÁNICAS, ARENA NATURAL RIO DEL LAS CAÑAS.

La tabla N^o 4.20 presenta el resultado del ensayo de impurezas orgánicas (colorimetría) el cual resultó con un valor en la carta de colores menor que 1. Lo anterior demuestra que el agregado es apto para su empleo en la elaboración de concreto, ya que la norma establece que el color máximo permitido es de 3.

4.4.2.6 ANÁLISIS DEL RESULTADO DE IMPUREZAS ORGÁNICAS ARENA NATURAL LAVADA INDUSTRIALMENTE RÍO TIHUAPA.

La tabla N^o 4.21 presenta un contenido orgánico menor que 1 según la carta de colores. Lo anterior demuestra que el contenido orgánico no es significativo, debido a que el color máximo estándar permitido es de 3, por lo cual su contenido no es perjudicial para la elaboración del concreto.

4.4.2.7 ANÁLISIS DEL MATERIAL QUE PASA LA MALLA #200, ARENA NATURAL RÍO LAS CAÑAS.

La tabla N^o 4.22 muestra el resultado del ensayo del material que pasa la malla #200, con un porcentaje de fino de 2.19% para la arena natural del río Las Cañas

(este valor es producto del promedio realizado a dos ensayos); para lo cual la norma permite hasta un 3% de finos.

4.4.2.8 ANÁLISIS DEL MATERIAL QUE PASA LA MALLA #200, ARENA NATURAL LAVADA INDUSTRIALMENTE.

La tabla N^o 4.22 muestra el resultado del ensayo del material que pasa la malla #200, con un porcentaje de fino de 1.75%(este valor es producto del promedio realizado a dos ensayos); para lo cual la norma establece hasta un 3% de finos.

4.5 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DEL AGREGADO FINO.

A continuación se muestran, en la tabla N° 4.25 la comparación de los resultados de los ensayos realizados al agregado fino: arena natural y arena natural lavada industrialmente que se usarán en esta investigación.

Tabla N° 4.25: Cuadro comparativo entre arenas.

BANCO DE ARENA	ESPECIFICACIÓN DE ENSAYO					OBSERVACIONES
	ASTM C- 29	ASTM C - 40	ASTM C -117	ASTM C - 128	ASTM C - 136	
	Peso Volumétrico kg/m ³	Impureza Orgánicas	Pasa Malla # 200 (%)	Gravedad Específica aparente y Absorción (%)	Granulometría	
Arena río Las Cañas						
Resultado	1340	Menor que 1	2.19	2.53 (7.8)	Figuras: N° 4.3 y N° 4.4; M.F.: 2.76	
Rango	1200-1700	Color estándar 3	3 - 5	(Abs% < 6.0%) ¹⁰	ASTM C - 33	
Arena Lavada industrialmente río Tihuapa						
Resultado		Menor que 1	1.76	2.83 (4.70)	Figuras: N° 4.5 y N° 4.6; M.F.: 2.79	
	1200-1700	Color estándar 3	3 - 5	(Abs% < 6.0%)	ASTM C - 33	

Fuente: Los autores.

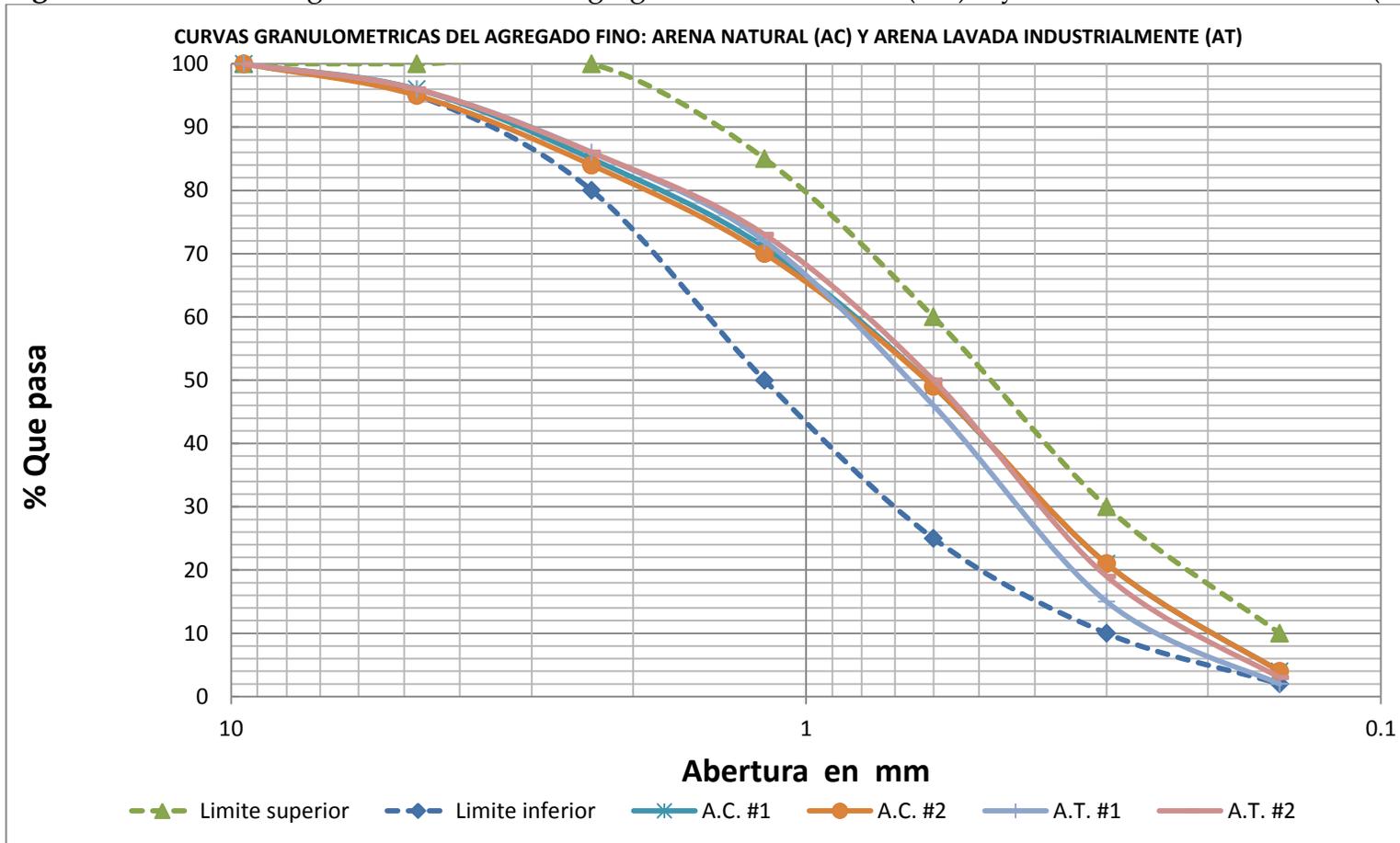
¹⁰ Tomado de: "Fundamentos de Tecnología del Concreto" ISCYC (2006).

4.5.1 ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LA DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DE LA ARENA NATURAL Y ARENA LAVADA INDUSTRIALMENTE.

Comparando los resultados obtenidos de los análisis granulométricos (ver tabla N° 4.25) realizados a la arena natural y a la arena natural lavada industrialmente muestran valores que cumplen con la especificación ASTM C - 33. Sus módulos de finura fueron valores de 2.76 y 2.79 respectivamente, podemos observar que sus módulos de finura son muy cercanos entre sí; dicho parámetro es un índice de la finura del agregado, lo cual es un indicativo que las granulometrías de ambos agregados es similar (ver gráficos de figura N° 4.12), cumpliendo con los límites granulométricos establecidos en la especificación ASTM C - 33; además, los porcentajes de agregado fino que pasan las mallas de 0.3 mm (N° 50), oscilan entre 15 y 21%.

Finalmente se concluye que la arena natural del río las cañas y la arena natural lavada industrialmente poseen características similares en cuanto a módulo de finura y porcentaje de finos que pasan las mallas de 0.3mm (N° 50) y 0.15 (N° 100); por lo tanto, se prevé que estos agregados aportarán buena trabajabilidad en el concreto en estado fresco, aunque en este apartado no se considera aun la influencia que tendrán la arena natural y la arena lavada en las mezclas de concreto.

Figura N° 4.12: Curvas granulométricas del agregado fino: A. natural (AC)¹¹ y A. lavada industrialmente (AT)¹²



¹¹ AC: representa la nomenclatura para el agregado fino del río Las Cañas.

¹² AT: representa la nomenclatura para el agregado fino del río Tihuapa.

4.5.2 COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO: ARENA NATURAL Y ARENA NATURAL LAVADA INDUSTRIALMENTE.

En relación a los resultados obtenidos de gravedad específica y absorción (ver tabla № 4.25), podemos mencionar que la gravedad específica aparente de la arena del río Tihuapa presentó un valor promedio de 2.83, mientras que para la arena del río Las Cañas se obtuvo un valor promedio de 2.53; lo anterior es un indicativo que la arena del río Tihuapa es de mejor calidad con respecto a la arena del río Las Cañas puesto que este parámetro es una propiedad intrínseca del material, cuya definición es masa de los sólidos dividido por el volumen de los mismos.

En cuanto a la absorción, la arena del río Las Cañas presentó un valor de 7.8% mientras que la arena lavada industrialmente de 4.7%, con lo cual se espera que la arena del río Las Cañas demande más agua en los diseños de mezclas de concreto.

4.5.3 COMPARACIÓN DE RESULTADOS DEL PESO VOLUMÉTRICO DEL AGREGADO FINO: ARENA NATURAL Y ARENA NATURAL LAVADA INDUSTRIALMENTE.

Los resultados obtenidos de peso volumétrico suelto promedio de la arena natural del río Las Cañas fueron de 1337 kg/m³, mientras que la arena lavada

industrialmente del río Tihuapa de 1467 kg/m^3 los cuales se presentan en la tabla № 4.25; cabe mencionar, que la influencia esperada en los concretos elaborados con estos tipos de arena es que en uno fabricado con arena del río Las Cañas presentará un concreto menos denso en relación a uno fabricado con arena natural lavada industrialmente del río Tihuapa debido al alto contenido de pómez en la arena del río Las Cañas y al origen basáltico de la arena del río Tihuapa.

4.5.4 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE IMPUREZAS ORGÁNICAS DEL AGREGADO FINO: ARENA NATURAL Y ARENA NATURAL LAVADA INDUSTRIALMENTE.

En base a los resultados obtenidos (ver tabla № 4.25), ambas arenas presentaron un resultado menor que el color 1 de la carta de colores; cabe mencionar que la arena lavada mostró (como era de esperarse) una mayor limpieza en relación con la arena natural del río Las Cañas, de lo cual podemos concluir que el contenido de orgánico no es perjudicial para el concreto a elaborar si se tiene en cuenta que el color máximo estándar permitido es de 3.

4.5.5 COMPARACIÓN DEL RESULTADO DEL MATERIAL MÁS FINO QUE PASA LA MALLA N^o 200 DEL AGREGADO FINO: ARENA NATURAL Y ARENA NATURAL LAVADA INDUSTRIALMENTE.

Se presentan a continuación en la tabla N^o 4.25 los valores promedio por cada arena de % de material más fino que la malla N^o 200, siendo el resultado para la arena natural del río Las Cañas un valor de 2.19%, mientras que para la arena lavada, uno de 1.76%; puede observarse que la arena del río Tihuapa posee una menor cantidad de finos (debido al proceso de lavado a que ésta es sometida) con respecto a la arena del río Las Cañas, la cual no es sujeta a ningún tipo de tratamiento; sin embargo, podemos decir que ambas cumplen el requisito de la especificación ASTM C-33 que permite un máximo de finos del 3% para un concreto sujeto a la abrasión.

Cabe mencionar que en el caso de que existiesen cantidades de finos mayores al 3%, éstos podrían afectar la adherencia entre la pasta de cemento y el agregado, además de aumentar la cantidad de agua requerida en la mezcla.

4.6 COMBINACIONES DE AGREGADO FINO A IMPLEMENTAR.

En el desarrollo de esta investigación se considerarán cuatro diseños de mezclas de concreto, dos con combinaciones de agregado fino en diferentes porcentajes para conocer como mejoran o disminuyen las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido. El procedimiento mediante el cual se realizaron

dichas combinaciones se encuentra detallado en la sección 3.5.3.1, cabe mencionar que se desarrollaron tanto el procedimiento teórico como el de laboratorio para poder comparar los resultados entre ambos con la finalidad de realizar las verificaciones de las diferentes combinaciones, ya que con las seleccionadas se diseñarán las mezclas definitivas (ver tabla N° 4.25 y figura N° 4.13).

Las combinaciones de agregado fino se verificaron en laboratorio realizando el ensayo granulométrico a cada una de ellos, los resultados se presentan en el apartado 4.2.5 de este documento.

4.6.1 COMBINACIONES TEÓRICAS DE AGREGADO FINO.

Para el desarrollo de las combinaciones teóricas se siguió la metodología explicada en el apartado 3.5.3.1.1, y luego partiendo de los resultados obtenidos de la granulometría de la arena del río Las Cañas; así como, el resultado de la granulometría de la arena lavada, se desarrollaron las combinaciones teóricas cuyos resultados se muestran en la tabla N° 4.25, donde se observa que no hay mucha variación en los porcentajes que pasan a través de cada una de las mallas para cada combinación realizada; debido a que, no solo sus módulos de finuras están cercanos entre sí (valores de módulos de finura obtenidos a partir de la granulometría realizada a la arena natural y a la arena lavada industrialmente) sino también sus curvas granulométricas se encuentran el rango que establece la

especificación ASTM C - 33, además están cercanas a la media y entre ellas; entonces a partir de ahí, se graficó los resultados de la combinaciones teóricas (ver figura № 4.13) donde se muestra la tendencia de cada combinación reforzando lo antes mencionado.

A continuación se presentan en la tabla N° 4.26 las combinaciones granulométricas teóricas con su correspondiente gráfico (ver figura N° 4.13)

Tabla N° 4.26: Combinaciones de agregado fino teóricas ¹³.

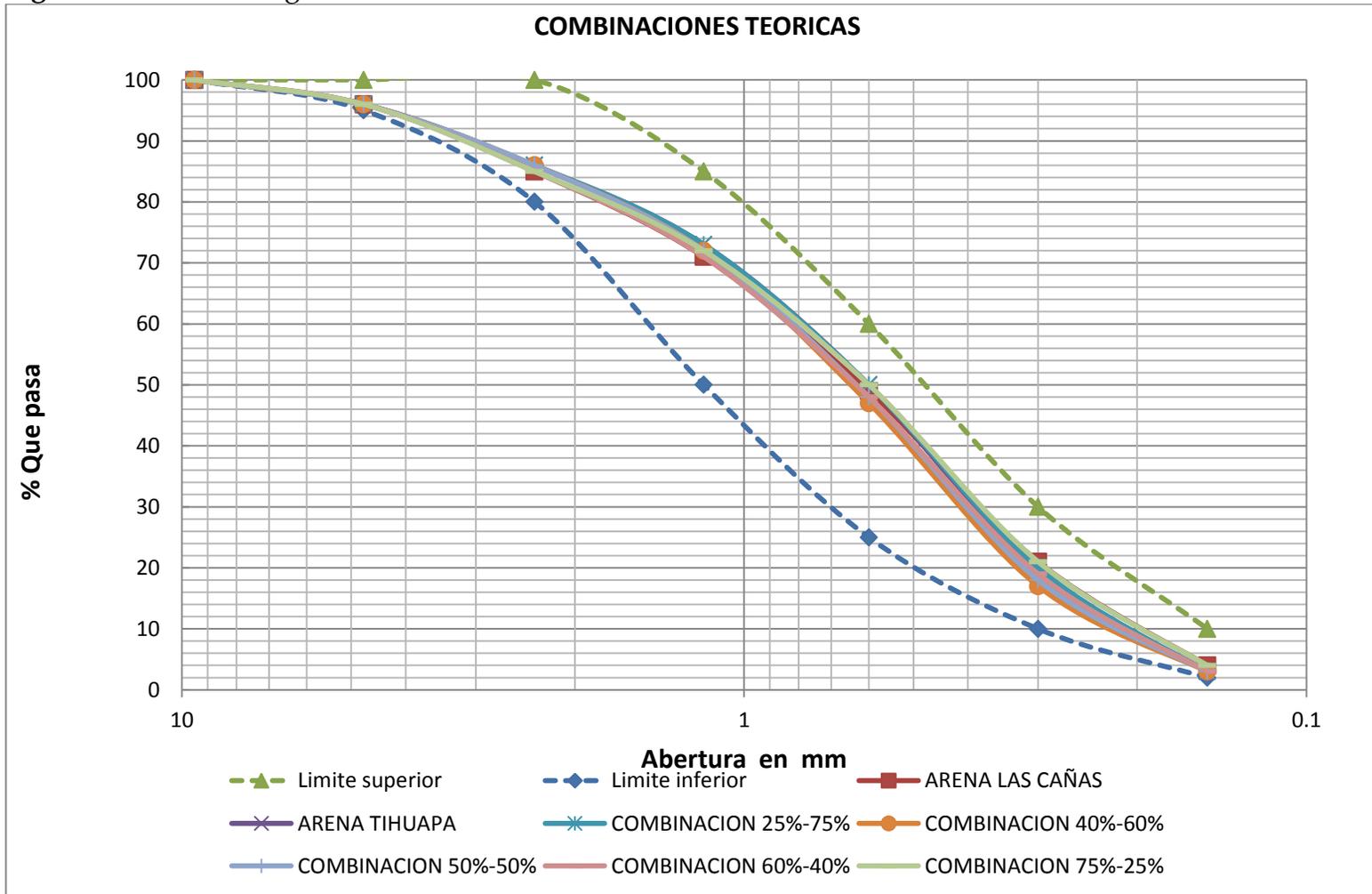
MALLA	Granulometría arena Las Cañas	Granulometría arena lavada industrialmente	Combinaciones. ¹⁴				
			25%-75%	40%-60%	50%-50%	60%-40%	75%-25%
3/8"	100	100	100	100	100	100	100
# 4	96	96	96	96	96	96	96
# 8	85	86	86	86	86	85	85
# 16	71	73	73	72	72	71	72
# 30	49	50	50	47	48	48	50
# 50	21	19	20	17	18	19	21
# 100	4	3	3	3	3	3	4
FONDO	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Los autores.

¹³ Se presentan los porcentajes acumulados que pasan los diferentes tamices.

¹⁴ Las proporciones están presentadas en el orden Arena Las Cañas-Arena Tihuapa.

Figura Nº 4.13: Curva granulométrica de las combinaciones teóricas: arena natural – arena lavada industrialmente



4.6.2 SELECCIÓN DE LAS COMBINACIONES DE AGREGADO FINO A IMPLEMENTARSE EN LOS DISEÑOS DE MEZCLAS DE CONCRETO.

Los resultados del ensayo granulométrico de las combinaciones realizadas en el laboratorio se presentan en el apartado 4.2.5., donde se muestran los porcentajes que pasan a través de cada malla, además de sus correspondientes curvas granulométricas.

Para la selección de las dos combinaciones a implementarse en los diseños de mezclas de concreto, se analizaron sus respectivos resultados, partiendo de éstos se procedió a realizar un gráfico donde se reflejen todas las curvas de las diferentes combinaciones (ver figura N° 4.14), en el cual se muestra que todas las combinaciones cumplen con el rango que establece la ASTM C-33 para agregado fino; en este sentido, se decidió seleccionar las mezclas con la combinación de 75% arena natural lavada industrialmente - 25% arena natural; así como también, 75% arena natural - 25% arena natural lavada industrialmente, por los motivos siguiente:

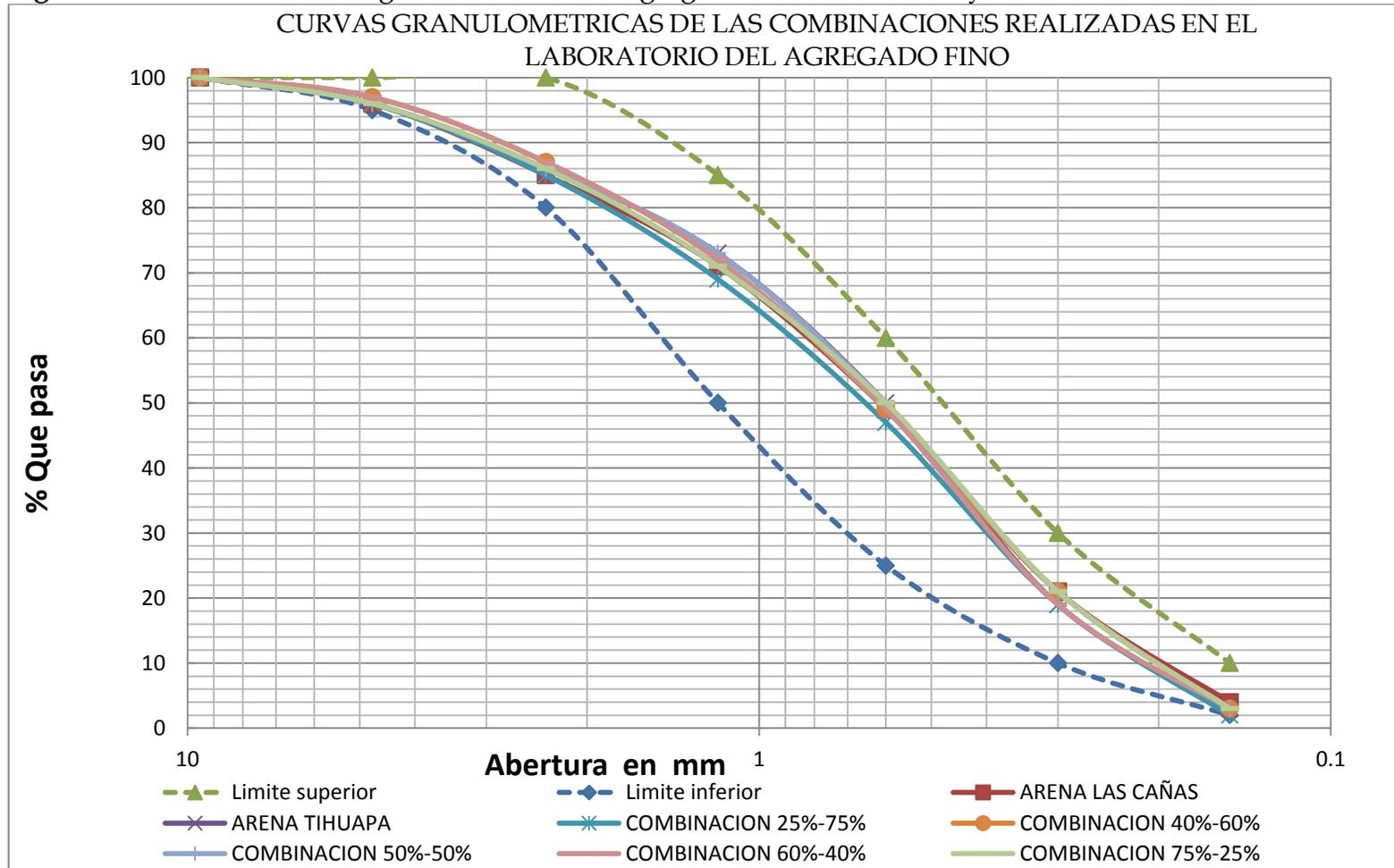
- ✘ Que al observar las curvas granulométricas de las combinaciones realizadas en el laboratorio no se pudo evidenciar una mayor variación entre cada una de estas (ver figura N° 4.14).
- ✘ Que al comparar la curva graficada de los límites promedio de la norma (ver figura N° 4.15) con las curvas de las combinaciones seleccionadas, se

reflejan que se acercan más a esta, además de que sus curvas describen una tendencia suave.

- ✘ Con la implementación de estas combinaciones se utilizaría una mayor cuantía de agregado fino en cada uno de los diseños.

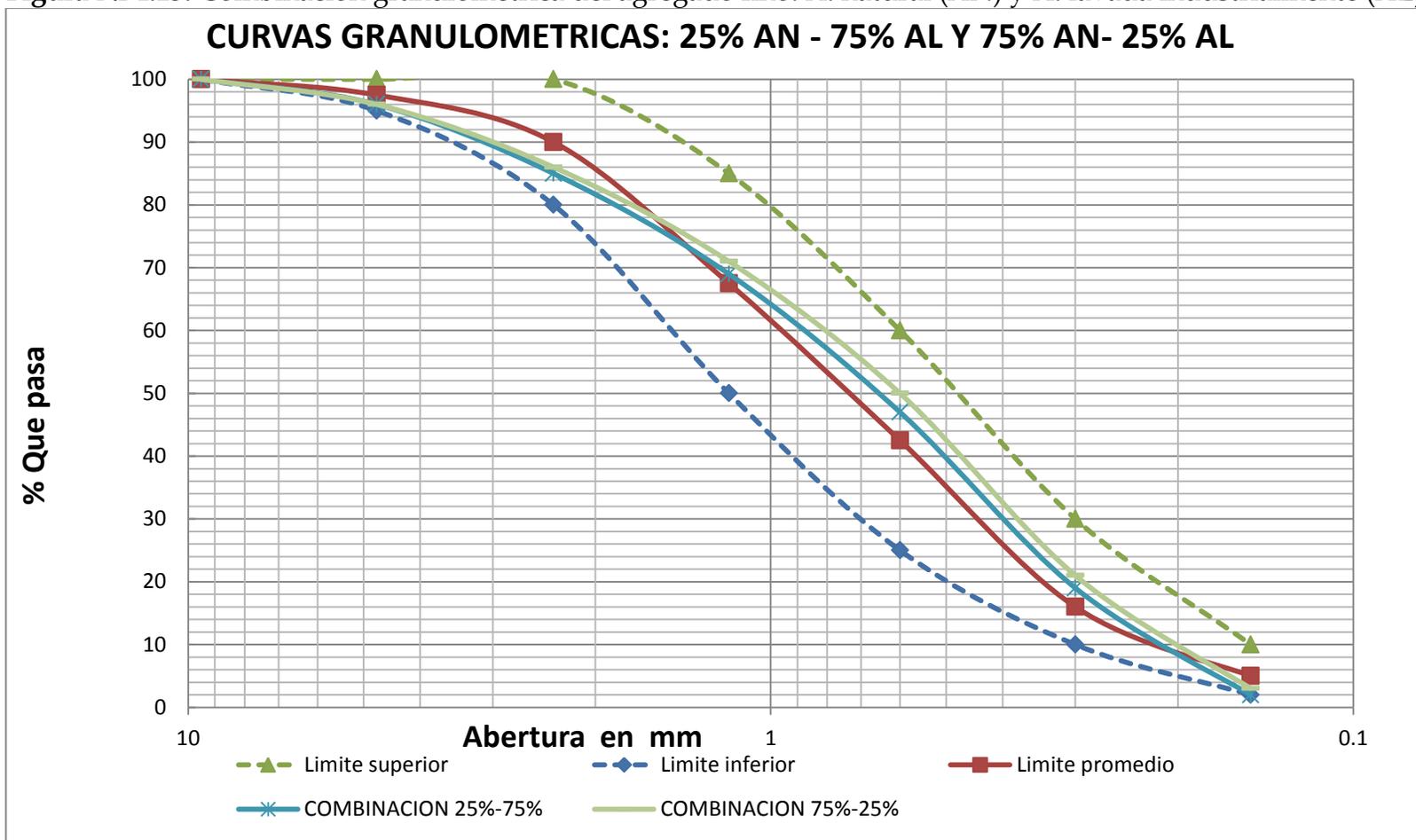
Es importante mencionar que de las granulometrías originales para la arena natural del río Las Cañas y la arena lavada industrialmente del río Tihuapa; sus módulos de finura son cercanos entre si además de sus curvas, por tal motivo era de esperarse que los resultados de sus combinación no tendría mayor variación.

Figura No 4.14: Combinación granulométrica del agregado fino¹⁵: A. natural y A. lavada industrialmente



¹⁵ Nótese que la nomenclatura corresponde del agregado fino: arena natural% - arena lavada%

Figura No 4.15: Combinación granulométrica del agregado fino: A. natural (AN) y A. lavada industrialmente (AL)



4.7 DISEÑO DE MEZCLAS PRELIMINARES.

4.7.1 RESUMEN DE RESULTADOS DE LOS DISEÑOS DE MEZCLAS PRELIMINARES.

En este apartado se muestran los proporcionamientos de las mezclas preliminares, así como la identificación de cada una de estas.

4.7.1.1 IDENTIFICACION DE LAS MEZCLAS.

A continuación se presenta la nomenclatura para cada uno de los diseños de mezclas preliminares (ver tabla Nº 4.27). Las relaciones A/C fueron seleccionadas según lo descrito en la sección Nº 3.4.

Tabla Nº 4.27: Nomenclatura de cada una de las mezclas preliminares con su respectiva relación A/C.

MEZCLA	DESCRIPCION
AN1	Mezcla utilizado 100% arena natural con $\frac{a}{c} = 0.46$
AN2	Mezcla utilizado 100% arena natural con $\frac{a}{c} = 0.48$
AN3	Mezcla utilizado 100% arena natural con $\frac{a}{c} = 0.50$
ANLI1	Mezcla utilizando 100% arena natural lavada industrialmente con $\frac{a}{c} = 0.46$
ANLI2	Mezcla utilizando 100% arena natural lavada industrialmente con $\frac{a}{c} = 0.48$
ANLI3	Mezcla utilizando 100% arena natural lavada industrialmente con $\frac{a}{c} = 0.50$

CMBA	Mezcla utilizando 25% arena natural , 75% arena natural lavada industrialmente con $\frac{a}{c} = 0.46$
CMBB	Mezcla utilizando 25% arena natural , 75% arena natural lavada industrialmente con $\frac{a}{c} = 0.48$
CMBC	Mezcla utilizando 25% arena natural , 75% arena natural lavada industrialmente con $\frac{a}{c} = 0.50$
CMBD	Mezcla utilizando 75% arena natural , 25% arena natural lavada industrialmente con $\frac{a}{c} = 0.46$
CMBE	Mezcla utilizando 75% arena natural , 25% arena natural lavada industrialmente con $\frac{a}{c} = 0.48$
CMBF	Mezcla utilizando 75% arena natural , 25% arena natural lavada industrialmente con $\frac{a}{c} = 0.50$

4.7.2 DISEÑOS DE MEZCLAS.

En este apartado se presentan los diseños de mezclas preliminares, los cuales fueron desarrollados mediante la metodología propuesta por el comité ACI 211.1, cabe mencionar que algunos de estos diseños cumplieron con los parámetros especificados en esta investigación sin necesidad de realizar ningún tipo de corrección, mientras que otros diseños requirieron ciertas correcciones para cumplir con lo especificado.

4.7.2.1 DISEÑO DE MEZCLA AN1: 280 kg/cm² CON ARENA NATURAL:

1. Revenimiento 4 ± 1 pulgadas.
2. Resistencia ($f'c$): 280 kg/cm²
3. Tamaño máximo nominal del agregado: $\frac{3}{4}$ " plg.
4. Datos de los agregados:

GRAVA	
Gravedad específica seca:	2.51
Absorción (%):	1.5
P.V.S. (kg/m ³):	1380
P.V.V. (kg/m ³):	1500

ARENA NATURAL	
Gravedad específica seca:	2.10
Absorción (%):	7.8
M.F.:	2.76
P.V.S. (kg/m ³):	1340

5. $f'cr = f'c + 85 = 365 \text{ kg/cm}^2$
6. Agua de mezclado (ver tabla N^o 3.6): 205 kg/m³
7. Relación agua/ cemento (ver tabla N^o 3.7) : 0.46
8. Contenido de cemento: $c = \frac{\text{Agua}}{A/C} = \frac{205}{0.46} = 445.7 \text{ kg/m}^3$
9. Contenido de agregado grueso (ver tabla N^o 3.8): 0.62

TMN: $\frac{3}{4}$ "

M.F.: 2.76

$$\text{Cant. de agregado grueso} = 0.62 \times 1500 = 930 \text{ kg/m}^3$$

10. Volúmenes para 1m³:

Material	Peso seco (kg/m ³)	Gs(seca)	Volumen(l)
Cemento	446	2.90	154
Agua	205	1.00	205
Aire	2%	-----	20
Grava (seca)	930	2.51	371
		Σ	750

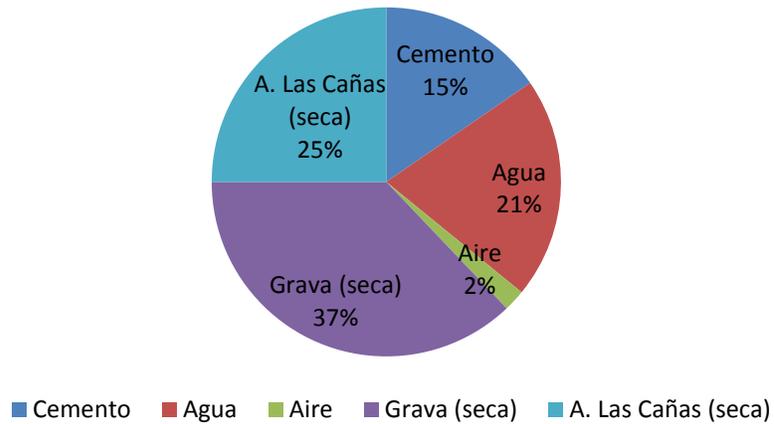
$$\text{Cantidad de agregado fino} = 1000l - 750l = 250l$$

$$\text{En peso} = 250l \times 2.10 = 525 \text{ kg/m}^3$$

11. Diseño teórico para 1m³:

Material	Para 1 m ³	
Cemento	466	kg
Agua	205	l
Grava (seca)	930	kg
A. Las Cañas (seca)	525	kg

Resumen de las proporciones de los componentes de la mezcla AN1 en volumen.



4.7.2.2 DISEÑO DE MEZCLA AN2: 280 kg/cm² CON ARENA NATURAL:

1. Revenimiento 4 ± 1 pulgadas.
2. Resistencia ($f'c$): 280 kg/cm²
3. Tamaño máximo nominal del agregado: $\frac{3}{4}$ " plg.
4. Datos de los agregados:

GRAVA	
Gravedad específica seca:	2.51
Absorción (%):	1.5
P.V.S. (kg/m³):	1380
P.V.V. (kg/m³):	1500

ARENA NATURAL	
Gravedad específica seca:	2.10
Absorción (%):	7.8
M.F.:	2.76
P.V.S. (kg/m ³):	1340

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

6. Agua de mezclado (ver tabla N^o 3.6): 205 kg/m³

7. Relación agua/ cemento (ver tabla N^o 3.7) : 0.48

8. Contenido de cemento: $c = \frac{\text{Agua}}{A/C} = \frac{205}{0.48} = 427.1 \text{ kg/m}^3$

9. Contenido de agregado grueso (ver tabla N^o 3.8): 0.62

TMN: 3/4"

M.F.: 2.76

$\text{Cant. de agregado grueso} = 0.62 \times 1500 = 930 \text{ kg/m}^3$

10. Volúmenes para 1m³:

Material	Peso seco (kg/m ³)	Gs(seca)	Volumen(l)
Cemento	427	2.90	147
Agua	205	1.00	205
Aire	2%	-----	20
Grava (seca)	930	2.51	371
		Σ	743

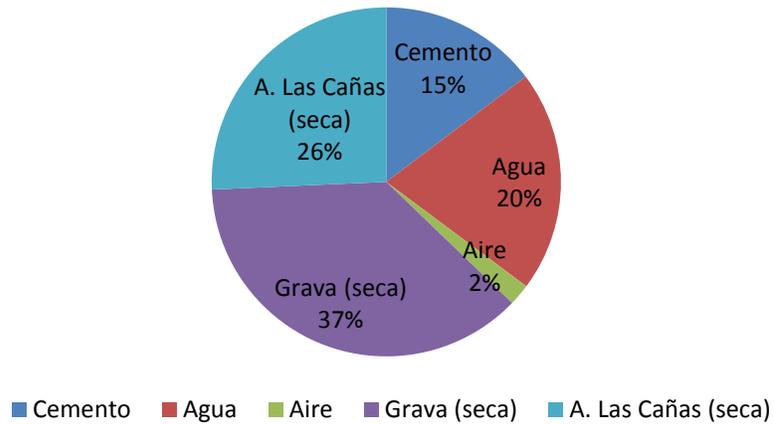
Cantidad de agregado fino = 1000l – 743l = 257l

En peso = 257l × 2.10 = 540 kg/m³

11. Diseño teórico para 1m³:

Material	Para 1 m ³	
Cemento	427	kg
Agua	205	l
Grava (seca)	930	kg
A. Las Cañas (seca)	540	kg

Resumen de las proporciones de los componentes de la mezcla AN2 en volumen.



4.7.2.3 DISEÑO DE MEZCLA AN3: 280 kg/cm² CON ARENA NATURAL:

1. Revenimiento 4 ± 1 pulgadas.
2. Resistencia (f'c): 280 kg/cm²
3. Tamaño máximo nominal del agregado: 3/4" plg.
4. Datos de los agregados:

GRAVA	
Gravedad específica seca:	2.51
Absorción (%):	1.5
P.V.S. (kg/m³):	1380
P.V.V. (kg/m³):	1500

ARENA NATURAL	
Gravedad específica seca:	2.10
Absorción (%):	7.8
M.F.:	2.76
P.V.S. (kg/m ³):	1340

$$5. f'_{cr} = f'_c + 85 = 365 \text{ kg/cm}^2$$

6. Agua de mezclado (ver tabla N° 3.6): 205 kg/m³

7. Relación agua/ cemento (ver tabla N° 3.7) : 0.50

$$8. \text{ Contenido de cemento: } c = \frac{\text{Agua}}{A/c} = \frac{205}{0.50} = 410.0 \text{ kg/m}^3$$

9. Contenido de agregado grueso (ver tabla N° 3.8): 0.62

TMN: 3/4"

M.F.: 2.76

$$\text{Cant. de agregado greso} = 0.62 \times 1500 = 930 \text{ kg/m}^3$$

10. Volúmenes para 1m³:

Material	Peso seco (kg/m ³)	Gs(seca)	Volumen(l)
Cemento	410	2.90	141
Agua	205	1.00	205
Aire	2%	-----	20
Grava (seca)	930	2.51	371
		Σ	737

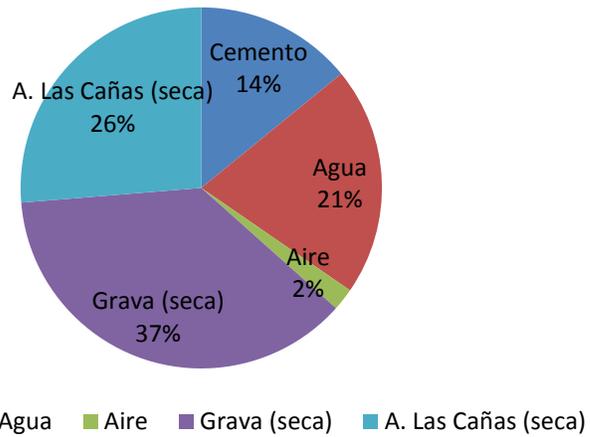
Cantidad de agregado fino = 1000l – 737l = 263l

En peso = 263l × 2.10 = 552 kg/m³

11. Diseño teórico para 1m³:

Material	Para 1 m ³	
Cemento	410	kg
Agua	205	l
Grava (seca)	930	kg
A. Las Cañas (seca)	552	kg

Resumen de las proporciones de los componentes de la mezcla AN3 en volumen.



4.7.2.4 DISEÑO DE MEZCLA ANLI1: 280 kg/cm² CON ARENA NATURAL

LAVADA INDUSTRIALMENTE:

1. Revenimiento 4 ± 1 pulgadas.
2. Resistencia (f'c): 280 kg/cm²
3. Tamaño máximo nominal del agregado: ¾" plg.
4. Datos de los agregados:

GRAVA	
Gravedad específica seca:	2.51
Absorción (%):	1.5
P.V.S. (kg/m³):	1380
P.V.V. (kg/m³):	1500

ARENA NATURAL LAVADA INDUSTRIALMENTE	
Gravedad específica seca:	2.52
Absorción (%):	4.70
M.F.:	2.79
P.V.S. (kg/m ³):	1470

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

6. Agua de mezclado (ver tabla N^o 3.6): 205 kg/m³

7. Relación agua/ cemento (ver tabla N^o 3.7) : 0.46

8. Contenido de cemento: $c = \frac{\text{Agua}}{A/C} = \frac{205}{0.46} = 445.7 \text{ kg/m}^3$

9. Contenido de agregado grueso (ver tabla N^o 3.8): 0.62

TMN: 3/4"

M.F.: 2.79

$\text{Cant. de agregado grueso} = 0.62 \times 1500 = 930 \text{ kg/m}^3$

10. Volúmenes para 1m³:

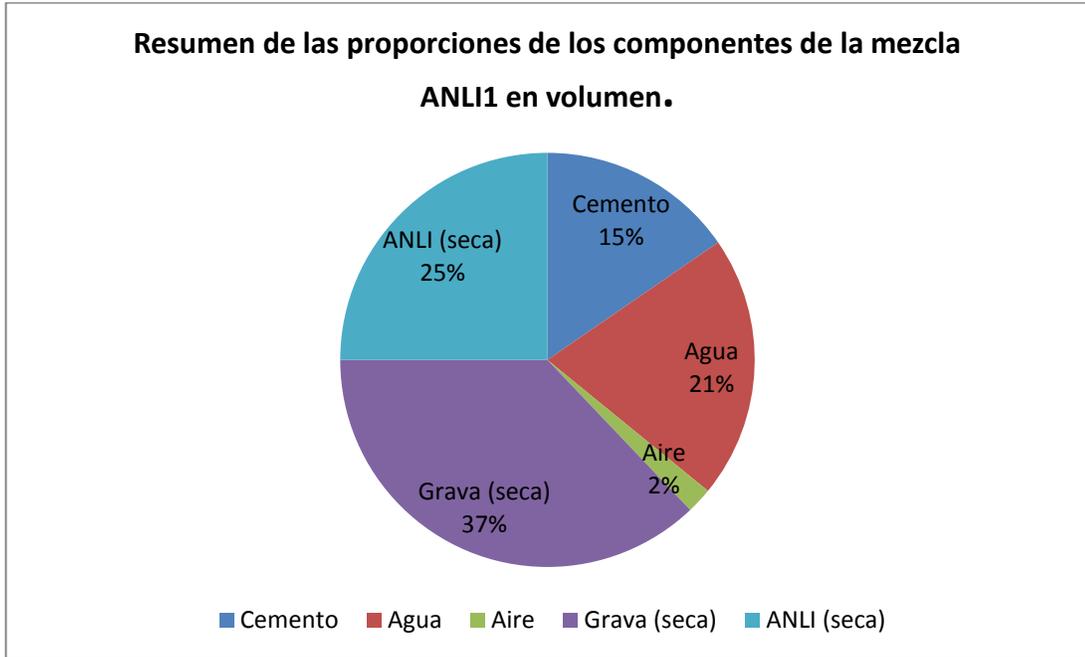
Material	Peso seco (kg/m ³)	Gs(seca)	Volumen(l)
Cemento	446	2.90	154
Agua	205	1.00	205
Aire	2%	----	20
Grava (seca)	930	2.51	371
		Σ	750

Cantidad de agregado fino = 1000l – 750l = 250l

$$En\ peso = 250l \times 2.52 = 630 \text{ kg}/m^3$$

11. Diseño teórico para 1m³:

Material	Para 1 m ³	
Cemento	446	kg
Agua	205	l
Grava (seca)	930	kg
ANLI (seca)	630	kg



4.7.2.5 DISEÑO DE MEZCLA ANLI2: 280 kg/cm² CON ARENA NATURAL LAVADA INDUSTRIALMENTE

1. Revenimiento 4 ± 1 pulgadas.
2. Resistencia (f'c): 280 kg/cm²
3. Tamaño máximo nominal del agregado: 3/4" plg.
4. Datos de los agregados:

GRAVA	
Gravedad específica seca:	2.51
Absorción (%):	1.5
P.V.S. (kg/m³):	1380
P.V.V. (kg/m³):	1500

ARENA NATURAL LAVADA INDUSTRIALMENTE	
Gravedad específica seca:	2.52
Absorción (%):	4.70
M.F.:	2.79
P.V.S. (kg/m ³):	1470

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

6. Agua de mezclado (ver tabla N^o 3.6): 205 kg/m³

7. Relación agua/ cemento (ver tabla N^o 3.7) : 0.48

8. Contenido de cemento: $c = \frac{\text{Agua}}{A/C} = \frac{205}{0.48} = 427.1 \text{ kg/m}^3$

9. Contenido de agregado grueso (ver tabla N^o 3.8): 0.62

TMN: 3/4"

M.F.: 2.79

$\text{Cant. de agregado grueso} = 0.62 \times 1500 = 930 \text{ kg/m}^3$

10. Volúmenes para 1m³:

Material	Peso seco (kg/m ³)	Gs(seca)	Volumen(l)
Cemento	427	2.90	147
Agua	205	1.00	205
Aire	2%	----	20
Grava (seca)	930	2.51	371
		Σ	743

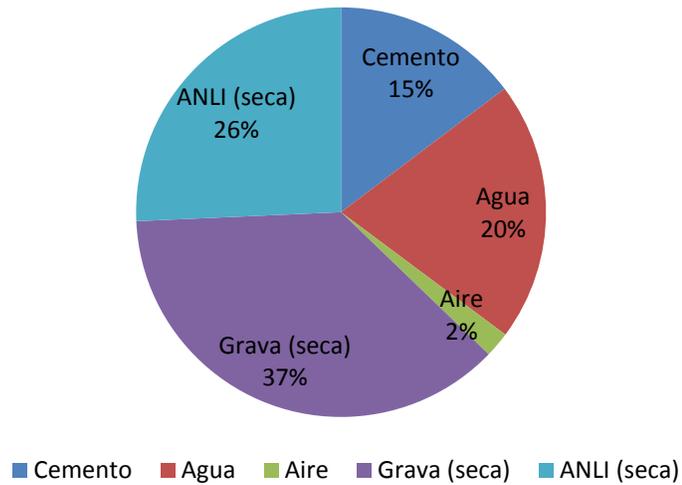
Cantidad de agregado fino = 1000l – 743l = 257l

$$En\ peso = 257l \times 2.52 = 647.6 \frac{kg}{m^3}$$

11. Diseño teórico para 1m³:

Material	Para 1 m ³	
Cemento	427	kg
Agua	205	l
Grava (seca)	930	kg
ANLI (seca)	648	kg

Resumen de las proporciones de los componentes de la mezcla ANLI2 en volumen.



4.7.2.6 DISEÑO DE MEZCLA ANLI3: 280 kg/cm² CON ARENA NATURAL LAVADA INDUSTRIALMENTE:

1. Revenimiento 4 ± 1 pulgadas.
2. Resistencia (f'c): 280 kg/cm²
3. Tamaño máximo nominal del agregado: ¾" plg.
4. Datos de los agregados:

GRAVA	
Gravedad específica seca:	2.51
Absorción (%):	1.5
P.V.S. (kg/m³):	1380
P.V.V. (kg/m³):	1500

ARENA NATURAL LAVADA INDUSTRIALMENTE	
Gravedad específica seca:	2.52
Absorción (%):	4.70
M.F.:	2.79
P.V.S. (kg/m ³):	1470

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

6. Agua de mezclado (ver tabla N^o 3.6): 205 kg/m³

7. Relación agua/ cemento (ver tabla N^o 3.7) : 0.50

8. Contenido de cemento: $c = \frac{\text{Agua}}{A/C} = \frac{205}{0.50} = 410 \text{ kg/m}^3$

9. Contenido de agregado grueso (ver tabla N^o 3.8): 0.62

TMN: 3/4"

M.F.: 2.79

$\text{Cant. de agregado grueso} = 0.62 \times 1500 = 930 \text{ kg/m}^3$

10. Volúmenes para 1m³:

Material	Peso seco (kg/m ³)	Gs(seca)	Volumen(l)
Cemento	410	2.90	141
Agua	205	1.00	205
Aire	2%	-----	20
Grava (seca)	930	2.51	371
		Σ	737

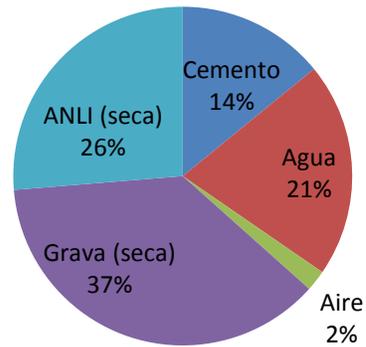
Cantidad de agregado fino = 1000l – 737l = 263l

En peso = 263l × 2.52 = 662.8 kg/m³

11. Diseño teórico para 1m³:

Material	Para 1 m ³	
Cemento	410	kg
Agua	205	l
Grava (seca)	930	kg
ANLI (seca)	663	kg

Resumen de las proporciones de los componentes de la mezcla ANLI3 en volumen.



■ Cemento ■ Agua ■ Aire ■ Grava (seca) ■ ANLI (seca)

4.7.2.7 DISEÑO DE MEZCLA CMBA (75% ARENA LAVADA - 25% ARENA LAS CAÑAS, A/C=0.46).

1. Revenimiento 4 ± 1 pulgadas.
2. Resistencia ($f'c$): 280 kg/cm²
3. Tamaño máximo nominal del agregado: 3/4" plg.
4. Datos de los agregados:

GRAVA	
Gravedad específica seca:	2.51
Absorción (%):	1.5
P.V.S. (kg/m³):	1380
P.V.V. (kg/m³):	1500

	ARENA NATURAL LAVADA INDUSTRIALMENTE	ARENA NATURAL
M.F.:	2.82	

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

6. Agua de mezclado (ver tabla N° 3.6): 205 kg/m³

7. Relación agua/ cemento (ver tabla N° 3.7) : 0.46

8. Contenido de cemento: $c = \frac{\text{Agua}}{A/C} = \frac{205}{0.46} = 445.6 \text{ kg/m}^3$

9. Contenido de agregado grueso (ver tabla N° 3.8): 0.62

TMN: ¾"

M.F.: 2.82

$\text{Cant. de agregado grueso} = 0.62 \times 1500 = 930 \text{ kg/m}^3$

10. Volúmenes para 1m³:

Material	Peso seco (kg/m ³)	Gs(seca)	Volumen(l)
Cemento	446	2.90	154
Agua	205	1.00	205
Aire	2%	----	20
Grava (seca)	930	2.51	371
		Σ	750

$$\text{Cantidad de agregado fino} = 1000l - 750l = 250l$$

$$\text{En peso ANLI} = 0.75 \times 250l \times 2.52 = 472.5 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$\text{En peso AN} = 0.25 \times 250l \times 2.10 = 131.25 \text{ kg}/\text{m}^3$$

11. Diseño para 1m³:

DISEÑO TEÓRICO

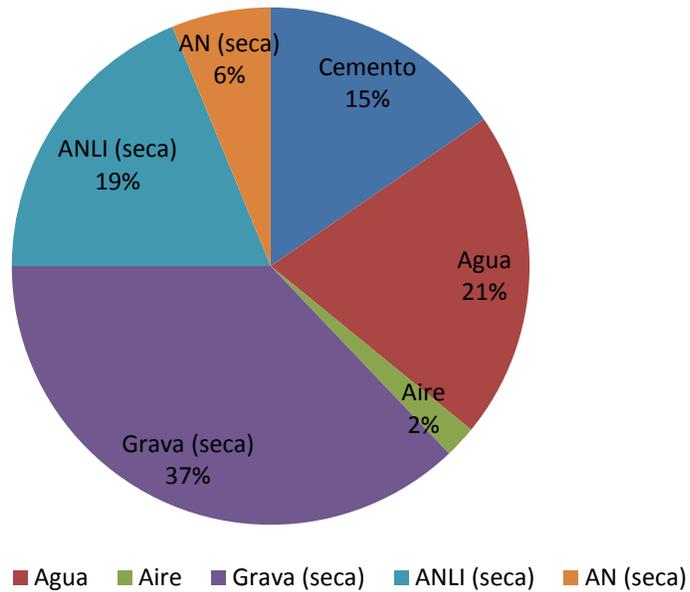
Material	Para 1 m ³	
Cemento	446	kg
Agua	205	l
Grava (seca)	930	kg
ANLI (seca)	473	kg
AN (seca)	131	kg

DISEÑO CORREGIDO¹⁶

Material	Para 1 m ³	
Cemento	432	kg
Agua	199	l
Grava (seca)	930	kg
ANLI (seca)	498	kg
AN (seca)	138	kg

¹⁶ Este diseño fue corregido por revenimiento, debido a que dicho parámetro resultó mayor al límite superior del rango especificado, por lo que fué necesario reducir la cantidad de agua, manteniendo la misma relación A/C.

**Resumen de las proporciones de los componentes de la mezcla
CMBA en volumen.**



**4.7.2.8 DISEÑO DE MEZCLA CMBB: (75% ARENA LAVADA - 25% ARENA
LAS CAÑAS, A/C=0.48):**

1. Revenimiento 4 ± 1 pulgadas.
2. Resistencia ($f'c$): 280 kg/cm²
3. Tamaño máximo nominal del agregado: $\frac{3}{4}$ " plg.
4. Datos de los agregados:

GRAVA	
Gravedad específica seca:	2.51
Absorción (%):	1.5
P.V.S. (kg/m ³):	1380
P.V.V. (kg/m ³):	1500

	ARENA NATURAL LAVADA INDUSTRIALMENTE	ARENA NATURAL
M.F.:	2.82	

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

6. Agua de mezclado (ver tabla N° 3.6): 205 kg/m³

7. Relación agua/ cemento (ver tabla N° 3.7) : 0.48

8. Contenido de cemento: $c = \frac{\text{Agua}}{A/C} = \frac{205}{0.48} = 427.1 \text{ kg/m}^3$

9. Contenido de agregado grueso (ver tabla N° 3.8): 0.62

TMN: ¾"

M.F.: 2.82

$\text{Cant. de agregado grueso} = 0.62 \times 1500 = 930 \text{ kg/m}^3$

10. Volúmenes para 1m³:

Material	Peso seco (kg/m ³)	Gs(seca)	Volumen(l)
Cemento	427	2.90	147
Agua	205	1.00	205
Aire	2%	-----	20
Grava (seca)	930	2.51	371
		Σ	743

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

$$\text{En peso ANLI} = 0.75 \times 257l \times 2.52 = 485.7 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{En peso AN} = 0.25 \times 257l \times 2.10 = 134.9 \text{ kg/m}^3$$

11. Diseño teórico para 1m³:

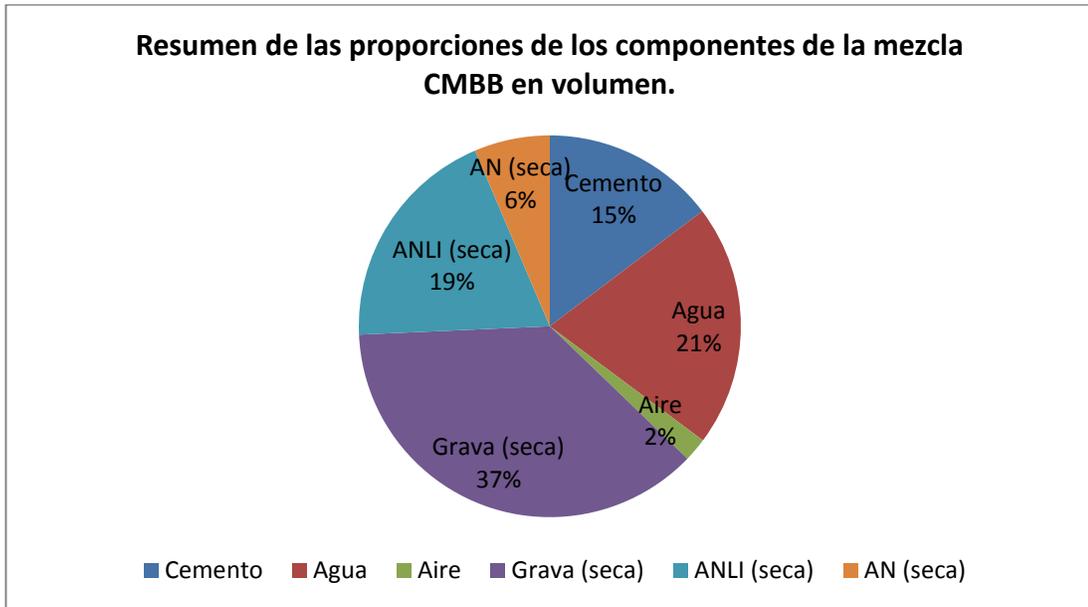
DISEÑO TEÓRICO

Material	Para 1 m ³	
Cemento	427	kg
Agua	205	l
Grava (seca)	930	kg
ANLI (seca)	486	kg
AN (seca)	135	kg

DISEÑO CORREGIDO¹⁷

Material	Para 1 m ³	
Cemento	414	kg
Agua	199	l
Grava (seca)	930	kg
ANLI (seca)	424	kg
AN (seca)	142	kg

¹⁷ Este diseño fue corregido por revenimiento, debido a que dicho parámetro resultó mayor al límite superior del rango especificado, por lo que fue necesario reducir la cantidad de agua, manteniendo la misma relación A/C.



4.7.2.9 DISEÑO DE MEZCLA CMBC (75% ARENA LAVADA - 25% ARENA LAS CAÑAS, A/C=0.50)

1. Revenimiento 4 ± 1 pulgadas.
2. Resistencia ($f'c$): 280 kg/cm²
3. Tamaño máximo nominal del agregado: ¾" plg.
4. Datos de los agregados:

GRAVA	
Gravedad específica seca:	2.51
Absorción (%):	1.5
P.V.S. (kg/m³):	1380
P.V.V. (kg/m³):	1500

	ARENA NATURAL LAVADA INDUSTRIALMENTE	ARENA NATURAL
M.F.:	2.82	

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

6. Agua de mezclado (ver tabla N° 3.6): 205 kg/m³

7. Relación agua/ cemento (ver tabla N° 3.7) : 0.50

8. Contenido de cemento: $c = \frac{\text{Agua}}{A/C} = \frac{205}{0.50} = 410 \text{ kg/m}^3$

9. Contenido de agregado grueso (ver tabla N° 3.8): 0.62

TMN: ¾"

M.F.: 2.82

$$\text{Cant. de agregado grueso} = 0.62 \times 1500 = 930 \text{ kg/m}^3$$

10. Volúmenes para 1m³:

Material	Peso seco (kg/m ³)	Gs(seca)	Volumen(l)
Cemento	410	2.90	141
Agua	205	1.00	205
Aire	2%	-----	20
Grava (seca)	930	2.51	371
		Σ	737

Cantidad de agregado fino = 1000l – 737l = 263l

En peso ANLI = 0.75 × 263l × 2.52 = 497.1 kg/m³

En peso AN = 0.25 × 263l × 2.10 = 138.1 kg/m³

11. Diseño teórico para 1m³ :

DISEÑO TEÓRICO

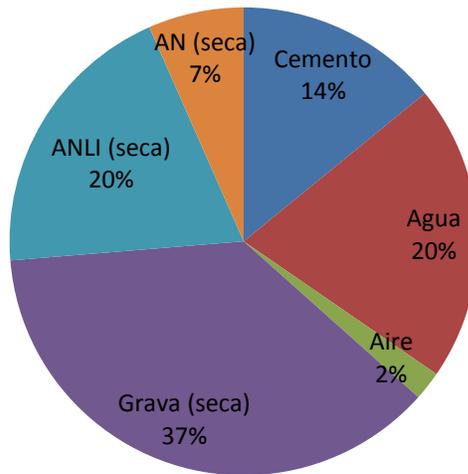
Material	Para 1 m ³	
Cemento	410	kg
Agua	205	l
Grava (seca)	930	kg
ANLI (seca)	497	kg
AN (seca)	138	kg

DISEÑO CORREGIDO¹⁸

Material	Para 1 m ³	
Cemento	397	kg
Agua	199	l
Grava (seca)	930	kg
ANLI (seca)	535	kg
AN (seca)	145	kg

¹⁸ Este diseño fue corregido por revenimiento, debido a que dicho parámetro resultó mayor al límite superior del rango especificado, por lo que fue necesario reducir la cantidad de agua, manteniendo la misma relación A/C.

Resumen de las proporciones de los componentes de la mezcla CMBC en volumen.



■ Cemento ■ Agua ■ Aire ■ Grava (seca) ■ ANLI (seca) ■ AN (seca)

4.7.2.10 DISEÑO DE MEZCLA CMBD: (25% ARENA LAVADA - 75% ARENA LAS CAÑAS, A/C=0.46):

1. Revenimiento 4 ± 1 pulgadas.
2. Resistencia ($f'c$): 280 kg/cm²
3. Tamaño máximo nominal del agregado: 3/4" plg.
4. Datos de los agregados:

GRAVA	
Gravedad específica seca:	2.51
Absorción (%):	1.5
P.V.S. (kg/m ³):	1380
P.V.V. (kg/m ³):	1500

	ARENA NATURAL LAVADA INDUSTRIALMENTE	ARENA NATURAL
M.F.:	2.73	

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

6. Agua de mezclado (ver tabla N° 3.66): 205 kg/m³

7. Relación agua/ cemento (ver tabla N° 3.7) : 0.46

8. Contenido de cemento: $c = \frac{\text{Agua}}{A/C} = \frac{205}{0.46} = 445.7 \text{ kg/m}^3$

9. Contenido de agregado grueso (ver tabla N° 3.8): 0.63

TMN: 3/4"

M.F.: 2.82

$\text{Cant. de agregado grueso} = 0.63 \times 1500 = 945 \text{ kg/m}^3$

10. Volúmenes para 1m³:

Material	Peso seco (kg/m ³)	Gs(seca)	Volumen(l)
Cemento	446	2.90	154
Agua	205	1.00	205
Aire	2%	----	20
Grava (seca)	945	2.51	376
		Σ	755

$$\text{Cantidad de agregado fino} = 1000l - 755l = 245l$$

$$\text{En peso ANLI} = 0.25 \times 245l \times 2.52 = 154.4 \text{ kg/m}^3$$

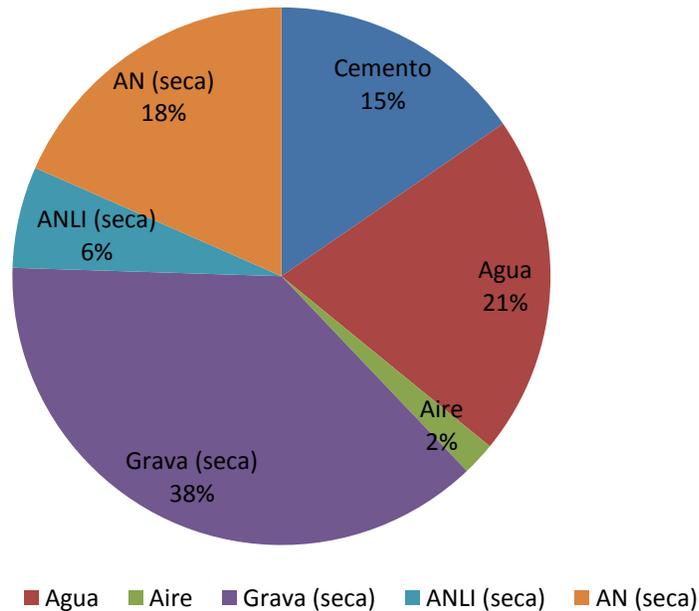
$$\text{En peso AN} = 0.75 \times 245l \times 2.10 = 385.9 \text{ kg/m}^3$$

11. Diseño para 1m³:

DISEÑO TEÓRICO			DISEÑO CORREGIDO ¹⁹		
Material	Para 1 m ³		Material	Para 1 m ³	
Cemento	446	kg	Cemento	416	kg
Agua	205	l	Agua	192	l
Grava (seca)	945	kg	Grava (seca)	945	kg
ANLI (seca)	154	kg	ANLI (seca)	173	kg
AN (seca)	386	kg	AN (seca)	420	kg

¹⁹ Este diseño fue corregido por revenimiento, debido a que dicho parámetro resultó mayor al límite superior del rango especificado, por lo que fué necesario reducir la cantidad de agua, manteniendo la misma relación A/C.

**Resumen de las proporciones de los componentes de la mezcla
CMBD en volumen.**



4.7.2.11 DISEÑO DE MEZCLA CMBE: (25% ARENA LAVADA - 75% ARENA LAS CAÑAS, A/C=0.48):

1. Revenimiento 4 ± 1 pulgadas.
2. Resistencia ($f'c$): 280 kg/cm²
3. Tamaño máximo nominal del agregado: $\frac{3}{4}$ " plg.
4. Datos de los agregados:

GRAVA	
Gravedad específica seca:	2.51
Absorción (%):	1.5
P.V.S. (kg/m ³):	1380
P.V.V. (kg/m ³):	1500

	ARENA NATURAL LAVADA INDUSTRIALMENTE	ARENA NATURAL
M.F.:	2.73	

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

6. Agua de mezclado (ver tabla N° 3.6): 205 kg/m³

7. Relación agua/ cemento (ver tabla N° 3.7) : 0.48

8. Contenido de cemento: $c = \frac{\text{Agua}}{A/C} = \frac{205}{0.48} = 427.1 \text{ kg/m}^3$

9. Contenido de agregado grueso (ver tabla N° 3.8): 0.63

TMN: ¾"

M.F.: 2.82

$\text{Cant. de agregado grueso} = 0.63 \times 1500 = 945 \text{ kg/m}^3$

10. Volúmenes para 1 m³:

Material	Peso seco (kg/m ³)	Gs(seca)	Volumen(l)
Cemento	427	2.90	147
Agua	205	1.00	205
Aire	2%	-----	20
Grava (seca)	945	2.51	376
		Σ	748

$$\text{Cantidad de agregado fino} = 1000l - 748l = 252l$$

$$\text{En peso ANLI} = 0.25 \times 252l \times 2.52 = 158.8 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{En peso AN} = 0.75 \times 252l \times 2.10 = 396.9 \text{ kg/m}^3$$

11. Diseño para 1m³:

DISEÑO TEÓRICO

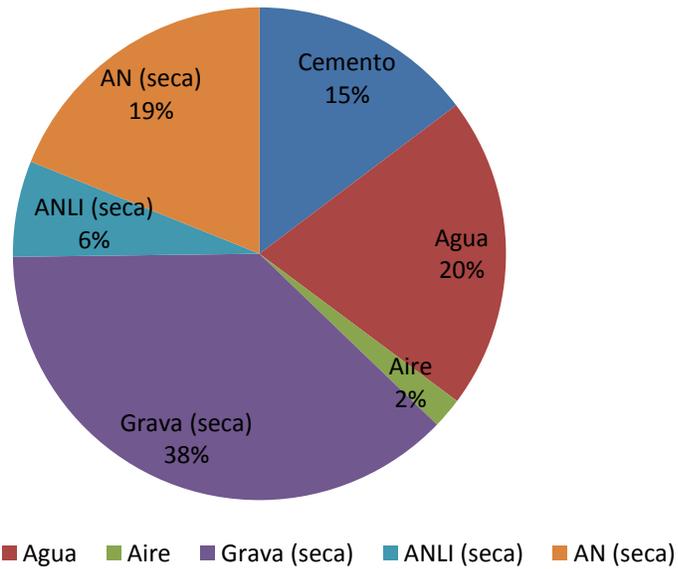
Material	Para 1 m ³	
Cemento	427	kg
Agua	205	l
Grava (seca)	945	kg
ANLI (seca)	159	kg
AN (seca)	397	kg

DISEÑO CORREGIDO²⁰

Material	Para 1 m ³	
Cemento	399	kg
Agua	192	l
Grava (seca)	945	kg
ANLI (seca)	177	kg
AN (seca)	430	kg

²⁰ Este diseño fue corregido por revenimiento, debido a que dicho parámetro resultó mayor al límite superior del rango especificado, por lo que fue necesario reducir la cantidad de agua, manteniendo la misma relación A/C.

**Resumen de las proporciones de los componentes de la mezcla
CMBE en volumen.**



4.7.2.12 DISEÑO DE MEZCLA CMBF: (25% ARENA LAVADA - 75% ARENA LAS CAÑAS, A/C=0.50).

1. Revenimiento 4 ± 1 pulgadas.
2. Resistencia ($f'c$): 280 kg/cm²
3. Tamaño máximo nominal del agregado: $\frac{3}{4}$ " plg.
4. Datos de los agregados:

GRAVA	
Gravedad específica seca:	2.51
Absorción (%):	1.5
P.V.S. (kg/m ³):	1380
P.V.V. (kg/m ³):	1500

	ARENA NATURAL LAVADA INDUSTRIALMENTE	ARENA NATURAL
M.F.:	2.73	

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

6. Agua de mezclado (ver tabla N° 3.6): 205 kg/m³

7. Relación agua/ cemento (ver tabla N° 3.7) : 0.50

8. Contenido de cemento: $c = \frac{\text{Agua}}{A/C} = \frac{205}{0.50} = 410 \text{ kg/m}^3$

9. Contenido de agregado grueso (ver tabla N° 3.8): 0.63

TMN: ¾"

M.F.: 2.82

$\text{Cant. de agregado grueso} = 0.63 \times 1500 = 945 \text{ kg/m}^3$

10. Volúmenes para 1m³:

Material	Peso seco (kg/m ³)	Gs(seca)	Volumen(l)
Cemento	410	2.90	141
Agua	205	1.00	205
Aire	2%	-----	20
Grava (seca)	945	2.51	376
		Σ	742

Cantidad de agregado fino = 1000l – 742l = 258l

En peso ANLI = 0.25 × 258l × 2.52 = 162.5 kg/m³

En peso AN = 0.75 × 258l × 2.10 = 406.3 kg/m³

11. Diseño para 1m³:

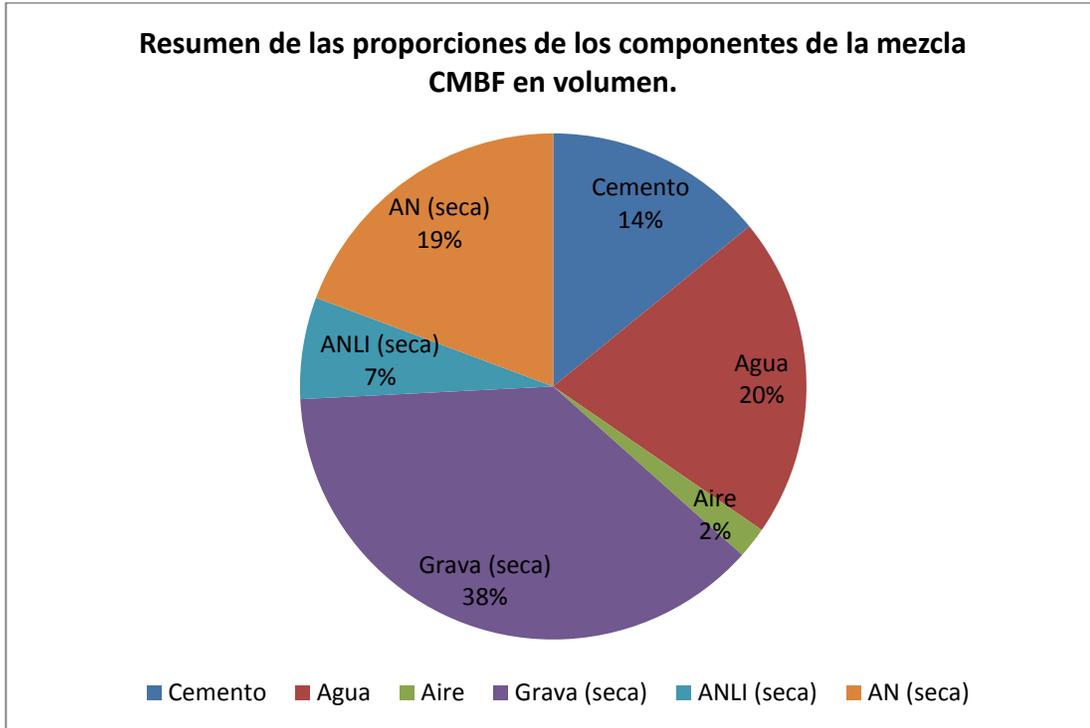
DISEÑO TEÓRICO

Material	Para 1 m ³	
Cemento	427	kg
Agua	205	l
Grava (seca)	945	kg
ANLI (seca)	163	kg
AN (seca)	406	kg

DISEÑO CORREGIDO²¹

Material	Para 1 m ³	
Cemento	383	kg
Agua	192	l
Grava (seca)	945	kg
ANLI (seca)	180	kg
AN (seca)	438	kg

²¹ Este diseño fue corregido por revenimiento, debido a que dicho parámetro resultó mayor al límite superior del rango especificado, por lo que fué necesario reducir la cantidad de agua, manteniendo la misma relación A/C.



4.8 PRESENTACION DE RESULTADOS DE LAS MEZCLAS PRELIMINARES.

A continuación en la tabla N° 4.28 se muestra el resumen de los resultados obtenidos de las pruebas al concreto en estado fresco y endurecido.

Tabla No 4.28: Resultados obtenidos de las mezclas preliminares.

MEZCLA	FECHA	CONCRETO EN ESTADO FRESCO		CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO		Nº CILINDROS	RELACIÓN A/C
		Revenimiento (mm) 100 ± 25 mm	Peso volumétrico Kg/m³	Resistencia (f'c) 7 dias (Mpa)	Resistencia (f'c) 28 dias (Mpa)		
AN1	29/05/2013	112	2235	22		1	0.46
				21		2	
					28	3	
					30	4	
AN2	31/05/2013	112	2275	18		1	0.48
				20		2	
					28	3	
					28	4	
AN3	4/06/2013	125	2218	19		1	0.50
				18		2	
					28	3	
					27	4	
ANL1	28/05/2013	106	2320	25		1	0.46
				23		2	
					35	3	
					32	4	
ANL2	3/06/2013	100	2307	23		1	0.48
				21		2	
					32	3	
					33	4	

ANLI3	4/06/2013	112	2322	19		1	0.50
				20		2	
					29	3	
					30	4	
CMBA	11/06/2013	88	2270	23		1	0.46
				21		2	
					34	3	
					34	4	
CMBB	10/06/2013	75	2288	20		1	0.48
				21		2	
					31	3	
					32	4	
CMBC	10/06/2013	112	2272	18		1	0.50
				18		2	
					28	3	
					28	4	
CMBD	11/06/2013	88	2256	21		1	0.46
				21		2	
					31	3	
					30	4	
CMBE	11/06/2013	81	2279	20		1	0.48
				20		2	
					31	3	
					30	4	
CMBF	10/06/2013	112	2255	19		1	0.50
				19		2	
					28	3	
					29	4	

4.9 ANÁLISIS DE RESULTADOS A LAS MEZCLAS PRELIMINARES.

A continuación se presenta el análisis de los resultados obtenidos de los ensayos realizados al concreto en estado fresco y endurecido, a partir de los cuales se elegirán los cuatro diseños a reproducir.

4.9.1 ANALISIS DE LOS RESULTADOS A MEZCLAS EN ESTADO FRESCO.

Los ensayos realizados a las mezclas de concreto en esta fase, únicamente fueron peso volumétrico y revenimiento, los resultados pueden observarse en la tabla N° 4.28. Como era de esperarse las mezclas elaboradas con 100% arena natural resultaron menos densas en relación a las elaboradas con 100% arena natural lavada industrialmente. La ganancia en densidad del concreto fresco que presentó la implementación de la arena natural lavada industrialmente en relación a la arena natural del río Las cañas fue de 3.3%. En cuanto a las combinaciones de agregado fino, aquellos diseños en los que se utilizó una mayor cuantía de arena natural lavada industrialmente resultaron en mezclas más densas comparadas con las elaboradas con arena natural del río Las Cañas, en promedio el peso volumétrico del concreto fresco obtenido con la combinación en la cual se contó con una mayor cuantía de arena natural lavada industrialmente presentó una ganancia de 0.6% en relación a la combinación en la cual hubo mayor presencia de arena natural del río Las Cañas.

Para la selección de los diseños de mezclas definitivos, desde el punto de vista de apariencia y requisitos de revenimiento establecidos ($4\pm 1''$), únicamente se tuvo en consideración que se cumpliera con el revenimiento especificado, siendo los valores obtenidos para cada una de las mezclas seleccionadas los siguientes:²²

- ✘ AN3: 5'' (15mm)
- ✘ ANLI3: 4½'' (112mm) (ver figura N° 4.16)
- ✘ CMBB: 3'' (75mm)
- ✘ CMBE: 3¼'' (81mm) (ver figura N° 4.17)

Cabe destacar que las mezclas correspondientes a cada uno de los diseños en consideración mostraron revenimientos cercanos a la media entre el rango establecido según lo especificado (75-125mm) por lo que eran mezclas trabajables y en el rango de consistencia plástica; además se observaban mezclas con alto contenido de cemento, sin embargo muy estables y con buena cohesión entre los materiales componentes del concreto ya que no había desplome ni segregación de los agregados al momento de levantar el cono de revenimiento.

²² Estas mezclas también deben cumplir con las especificaciones establecidas para la resistencia a la compresión



Figura N° 4.16 Revenimiento obtenido para diseño ANLI3.



Figura N° 4.17 Revenimiento obtenido para diseño CMBE.

4.9.2 PRESENTACION DE RESULTADOS DE GRÁFICOS COMPARATIVOS ENTRE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN VERSUS RELACION AGUA/CEMENTO.

A continuación se presentan en las figuras No²³ 4.18, No²⁴ 4.19, No²⁵ 4.20, No²⁶ 4.21 y No²⁷ 4.22, No²⁸ 4.23, No²⁹ 4.24 y No³⁰ 4.25 los gráficos que reflejan la resistencia a la compresión versus la relación A/C, para las edades de 7 y 28 días de los cuales se seleccionarán las mezclas a reproducir.

²³ Gráfico muestra resultados a los 7 días utilizando 100% arena natural.

²⁴ Gráfico muestra resultados a los 28 días utilizando 100% arena natural.

²⁵ Gráfico muestra resultados a los 7 días utilizando 75% arena natural y 25% arena natural lavada industrialmente.

²⁶ Gráfico muestra resultados a los 28 días utilizando 75% arena natural y 25% arena natural lavada industrialmente.

²⁷ Gráfico muestra resultados a los 7 días utilizando 100% arena natural lavada industrialmente.

²⁸ Gráfico muestra resultados a los 28 días utilizando 100% arena natural lavada industrialmente.

²⁹ Gráfico muestra resultados a los 7 días utilizando 25% arena natural y 75% arena natural lavada industrialmente.

³⁰ Gráfico muestra resultados a los 7 días utilizando 25% arena natural y 75% arena natural lavada industrialmente.

4.9.3 GRAFICOS COMPARATIVO ENTRE RESISTENCIA A COMPRESION VERSUS RELACION AGUA CEMENTO.

Figura No 4.18 Resistencia a la compresión - Relación A/C

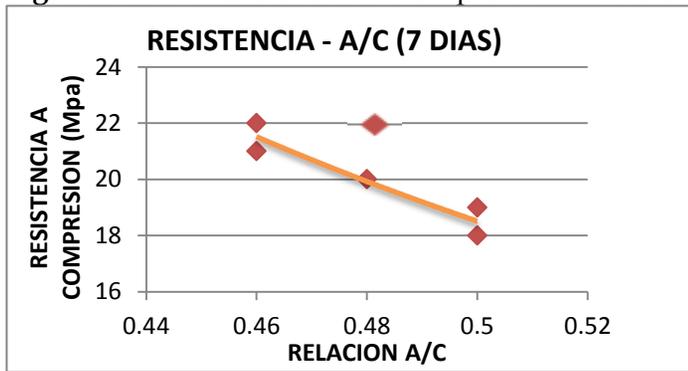


Figura No 4.20 Resistencia a la compresión - Relación A/C

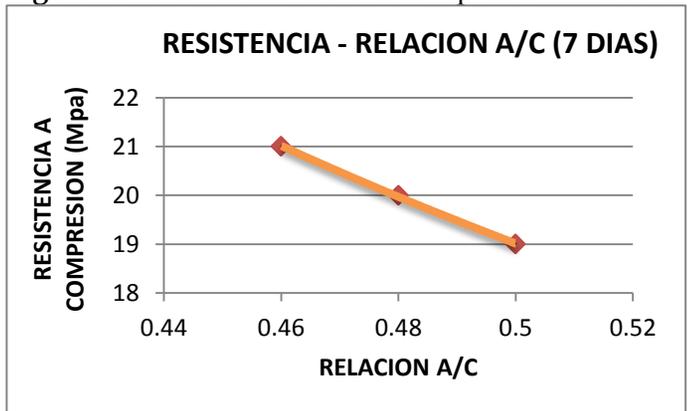


Figura No 4.19 Resistencia a la compresión - Relación A/C

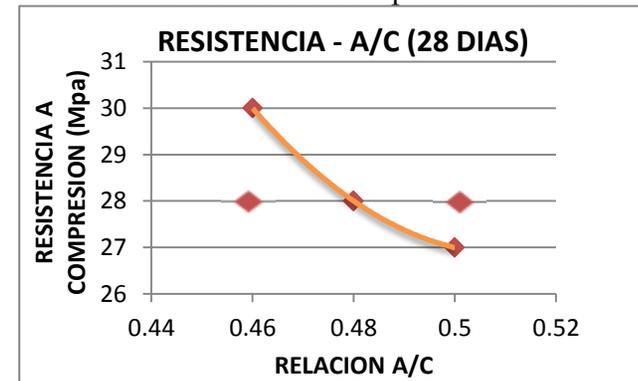


Figura No 4.21 Resistencia a la compresión - Relación A/C

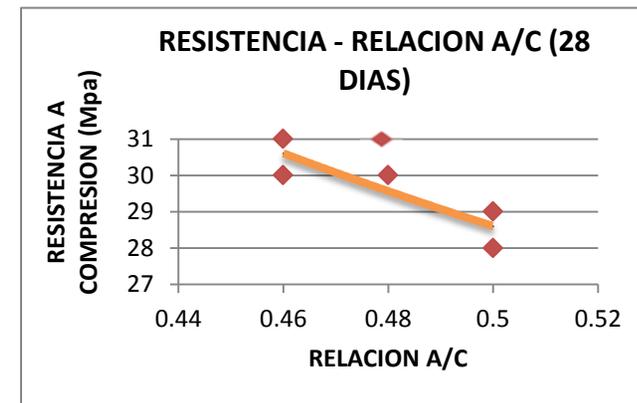


Figura No 4.22 Resistencia a la compresión - Relación A/C

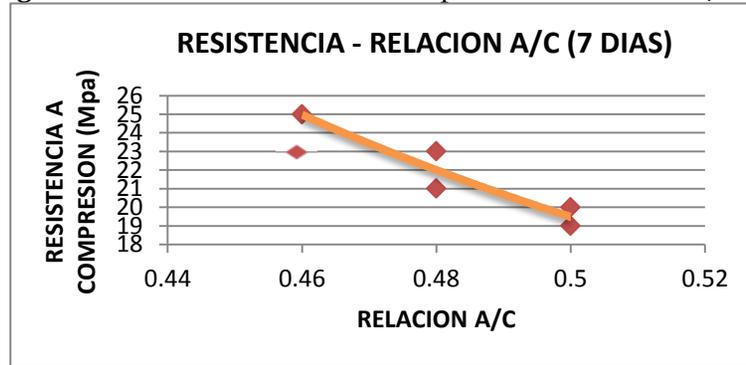


Figura No 4.23 Resistencia a la compresión - Relación A/C

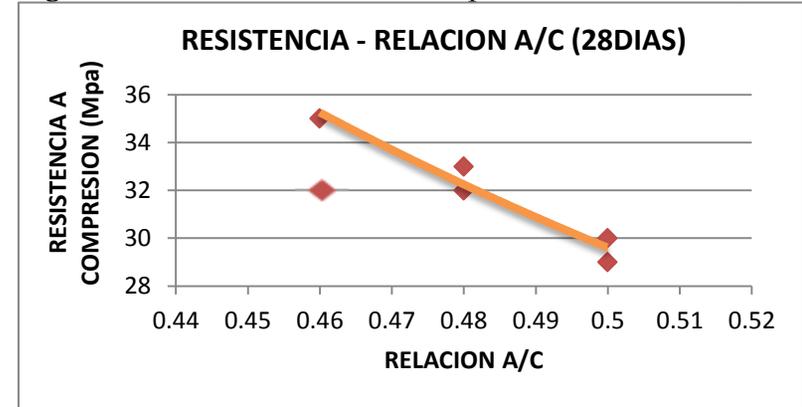


Figura No 4.24 Resistencia a la compresión - Relación A/C

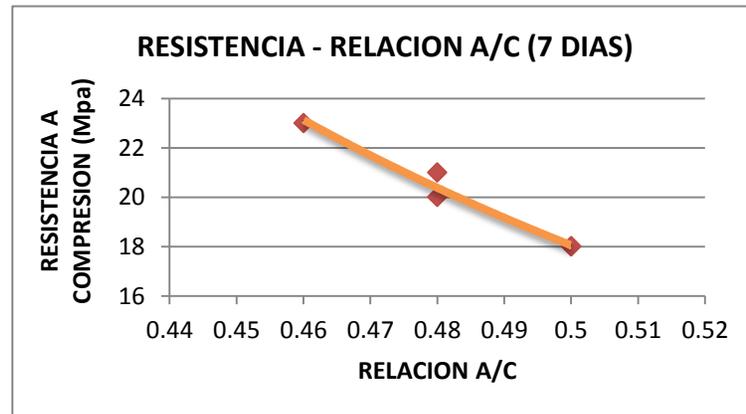
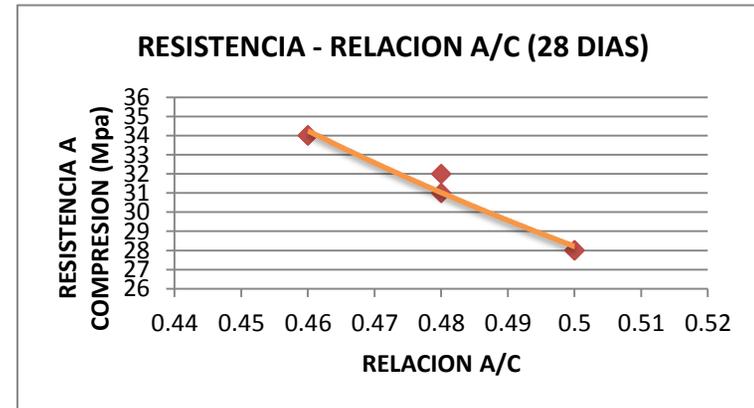


Figura No 4.25 Resistencia a la compresión - Relación A/C



4.9.3.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARA DISEÑOS PRELIMINARES.

Al comparar los gráficos de resistencia a la compresión - relación A/C entre los diseños con 100% arena natural y 100% arena natural lavada industrialmente, podemos observar que a los 7 días, un concreto elaborado con arena natural lavada industrialmente tiene valores de resistencia mayores que uno elaborado con arena natural en un orden de aproximadamente de 1 a 3 MPa distribuido en el rango de los diferentes valores de relación A/C (ver figuras N° 4.18 y N° 4.22), mientras que al analizar estos mismos diseños a la edad de 28 días (ver figuras N° 4.19 y N° 4.23), el incremento de resistencia para el concreto laborado con arena natural lavada industrialmente vrs. Arena natural es del orden de 2.5 a 5 MPa aproximadamente.

Ahora bien si comparamos los resultados reflejados en los gráficos de resistencia a la compresión - relación A/C entre los diseños con 75% arena natural - 25% arena natural lavada industrialmente y 25% arena natural lavada industrialmente - 75% arena natural, podemos observar que a los 7 días, un concreto elaborado con 75% arena natural lavada industrialmente - 25% arena natural tiene valores de resistencia mayores que uno elaborado con 75% arena natural 25% arena natural lavada industrialmente en un orden de aproximadamente de 1 a 2 MPa distribuido en el rango de los diferentes valores

de relación A/C (ver figuras N^o 4.20 y N^o 4.24), mientras que al analizar estos mismos diseños a la edad de 28 días (ver figuras N^o 4.21 y N^o 4.25), el incremento de resistencia es de 1 a 3 MPa aproximadamente en el mismo orden.

De las comparaciones establecidas anteriormente se puede apreciar una leve mejora en la resistencia para aquellos concretos elaborados con arena natural lavada industrialmente o con una mayor cuantía de esta. Este incremento de resistencia puede ser atribuido al origen basáltico de la arena del río Tihuapa, así como también al proceso de lavado al cual es sometida.

Para la selección de las mezclas a reproducir como mezclas definitivas, donde se empleaban un sólo tipo de arena (100% arena natural o bien 100% arena natural lavada industrialmente) se seleccionó una relación A/C de 0.50 ya que se observó que en ambos diseños se alcanzaba e incluso superaba el 60% de la resistencia especificada a la edad de 7 días de los especímenes de concreto, mientras que con relaciones A/C menores estaríamos sobrediseñando demasiado, lo que implicaría gastar cantidades mayores de cemento de manera innecesaria.

Por otro lado, en cuanto a los diseños a seleccionar para las combinaciones de arena se escogió una relación A/C de 0.48 debido a que únicamente se esperaron resultados a la edad de 7 días para escoger dicha relación A/C, teniendo como parámetro de referencia que para esta edad de los especímenes

se espera una ganancia de resistencia de aproximadamente el 60% de $f'c$, lo cual sería un valor cercano a 16.5 MPa. Como puede observarse en la figura N° 4.19, a dicha edad se obtuvieron valores de 20 y 21 MPa para la combinación 75% arena natural lavada industrialmente - 25% arena natural, lo que representa aproximadamente un 73% del $f'c$; así mismo para la combinación 75% arena natural - 25% arena lavada industrialmente (ver figura N° 4.15) se obtuvo a los 7 días una resistencia de 20 MPa, es decir, al igual que el caso anterior un 73% del $f'c$.

De lo anteriormente expuesto se llegó a la conclusión de reproducir los diseños AN3³¹, ANLI3³², CMBB³³, CMBE³⁴, ya que estos cumplieron con los parámetros especificados en cuanto a resistencia a la compresión así como a revenimiento, que es el parámetro de calidad que se estableció para el concreto en estado fresco.

³¹ Nomenclatura utilizada para el diseño elaborado con 100% arena natural y relación A/C = 0.50

³² Nomenclatura utilizada para el diseño elaborado con 100% arena natural y relación A/C = 0.50

³³ Nomenclatura utilizada para el diseño elaborado con 75% arena natural lavada industrialmente - 25% arena natural y relación A/C = 0.48

³⁴ Nomenclatura utilizada para el diseño elaborado con 25% arena natural lavada industrialmente - 75% arena natural y relación A/C = 0.48

CAPÍTULO V

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE

RESULTADOS DE LAS MEZCLAS DEFINITIVAS.

5.1 INTRODUCCIÓN.

En este capítulo se presentan los resultados de los diseños de mezclas definitivos, los cuales fueron seleccionados a partir de observaciones en las mezclas preliminares mediante las pruebas del concreto en estado fresco, así como también tomando en consideración los resultados de las pruebas en estado endurecido de las mismas. Dichos diseños seleccionados debían cumplir con los parámetros especificados para el concreto que se requiere según lo establecido en el capítulo I de este documento.

Para evaluar el comportamiento del concreto en su estado fresco se realizaron los ensayos de revenimiento, temperatura, peso volumétrico; además se obtuvo el contenido de aire del concreto fresco por el método gravimétrico. La determinación de estos parámetros nos permitió determinar la trabajabilidad, consistencia y apariencia del concreto elaborado con arena natural lavada industrialmente, arena natural del río Las Cañas, así como con combinaciones de ambas en diferentes proporciones; por último los resultados obtenidos en cada ensayo nos permitieron verificar que los parámetros especificados en los diseños de las mezclas se cumplen.

Por otro lado, también serán presentados los resultados del concreto en estado endurecido, siendo los de resistencia a la compresión un total de 10 pares a los 7 días y de 15 a los 28 días; además se presentan los obtenidos del ensayo de

resistencia a la flexión de 6 especímenes a los 28 días; todos estos han sido realizados para cada uno de los 4 diseños tomados en consideración.

5.2 MEZCLAS A REPRODUCIR.

En el capítulo anterior se presentaron los gráficos de resistencia vrs. relación A/C de los diferentes diseños de mezclas preliminares, dentro de los cuales fueron seleccionados los siguientes:

- ✘ **Diseño AN3:** $a/c=0.5$; 100% Arena Las Cañas.
- ✘ **Diseño ANLI3:** $a/c=0.5$; 100% Arena Lavada industrialmente.
- ✘ **Diseño CMBB:** $a/c=0.48$; 75% Arena Lavada industrialmente- 25% A. Las Cañas.
- ✘ **Diseño CMBE:** $a/c=0.48$; 75% A. Las Cañas- 25% Arena Lavada industrialmente.

En la selección de cada uno de estos diseños se tomaron en cuenta aspectos tales como: Resistencia especificada, apariencia de la mezcla que refleje una adecuada consistencia y trabajabilidad respaldado con el cumplimiento del revenimiento establecido.

5.3 RESULTADOS DE ENSAYOS AL CONCRETO EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO REALIZADOS A LAS MEZCLAS.

Para cada uno de los diseños definitivos se elaboraron 50 especímenes cilíndricos y 6 viguetas; dicha elaboración se repartió en tres mezclas, dos de ellas con 20 cilindros cada una, y una última con 10 cilindros y 6 viguetas. Habiendo aclarado esto, se presentarán a continuación los resultados de las pruebas en estado fresco y endurecido del concreto por cada mezcla realizada.

5.3.1 DISEÑO AN3.

A continuación se presenta en la tabla N° 5.1 la dosificación para 1m³ del diseño AN3 con su correspondiente gráfico presentado en la figura N° 5.1.

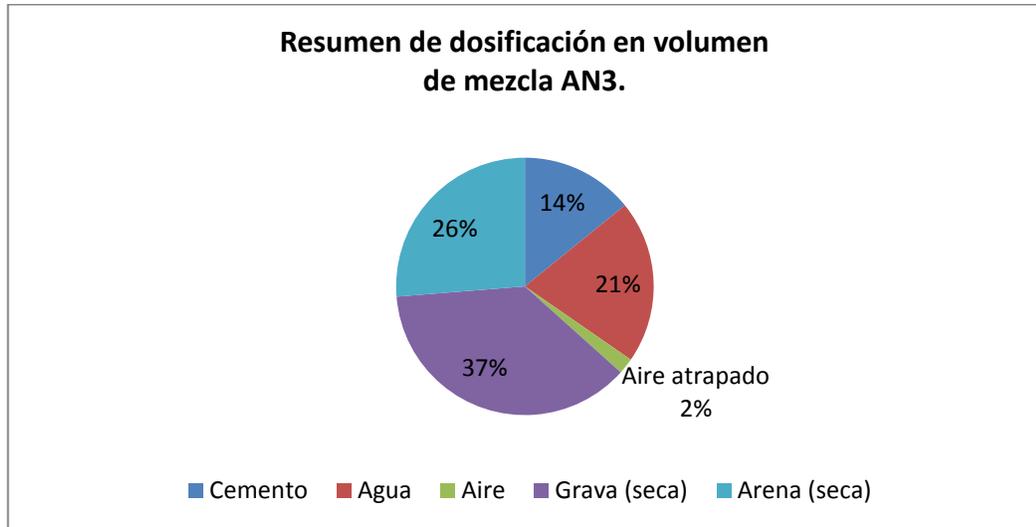
Tabla N° 5.1: Proporcionamiento definitivo para 1m³ AN3 ³⁵.

Material	Peso (kg/m ³)	Gs(seca)	Volumen(l)	Relación A/C
Cemento	410	2.9	141.38	0.50
Agua	205	1.0	205.00	
Aire	(2%)	-	20.00	
Grava (seca)	931	2.51	370.92	
Arena Las Cañas(seca)	552	2.10	262.70	

Fuente: Los autores.

³⁵ El proporcionamiento definitivo para el diseño AN3 es el mismo propuesto por la metodología del comité ACI 211.1, ya que con ella se obtuvieron resultados satisfactorios en base a lo especificado en esta investigación.

Figura N° 5.1: Gráfico de proporcionamiento de mezcla AN3.



Resultados diseño "AN3" (a/c=0.5; 100% Arena Las Cañas)

A continuación se presentan en la tabla N° 5.2 los resultados de los ensayos realizados al concreto en estado fresco para el diseño AN3 (a/c=0.5; 100% Arena Las Cañas).

Tabla No 5.2: Resultados de los ensayos al concreto en estado fresco diseño AN3.

N° de Bachada	Revenimiento (mm). 100mm ± 25 mm	Temperatura (°C)	Peso Volumétrico (kg/m ³)	Contenido de aire (%)	Relación A/C
1	110	32.0	2163	2.1	0.50
2	110	30.5	2172	1.7	
3	115	29.0	2160	1.8	
PROMEDIO	110	30.5	2165	1.9	

Fuente: Los Autores.



Figura No 5.2:
Revenimiento obtenido en
la primera mezcla para el
diseño AN3

5.3.1.1 ANÁLISIS DE MEZCLAS EN ESTADO FRESCO, DISEÑO “AN3”(A/C=0.50; 100% ARENA LAS CAÑAS).

Las mezclas correspondientes al diseño “AN3” (ver tabla N° 5.2) mostraron valores de revenimiento en el rango de 110 a 115 mm cumpliendo con el especificado (75-125mm); en cuanto a su apariencia las mezclas presentaron buena trabajabilidad y consistencia plástica. Se observaba una mezcla pastosa, muy estable y con buena cohesión entre los materiales componentes del concreto ya que no había desplome ni segregación de los agregados al momento de levantar el cono de revenimiento (ver figura N° 5.2).

En cuanto a los resultados de temperatura del concreto fresco para esta mezcla se obtuvieron valores entre el rango de 29 a 32 °C donde se puede observar que cumplen con lo establecido en la especificación ASTM C-94 para concreto recién mezclado, la cual permite un máximo de temperatura para concreto fresco de 32 °C. Los valores de peso volumétrico en la mezcla resultaron entre 2160 a 2172 kg/m³, los cuales corresponden a un concreto de peso normal que es el tipo de concreto para el cual se ha realizado esta investigación. Por otro lado, teniendo en cuenta que los diseños de mezclas han sido elaborados considerando un concreto sin aire incluido y según la metodología propuesta por el ACI 211.1 se obtiene, para un tamaño máximo nominal de agregado grueso de 3/4” y un revenimiento de 10 cm (4” aproximadamente) un valor de

aire atrapado de 2%, el cual puede evidenciarse en los resultados obtenidos mediante el método gravimétrico de contenido de aire para esta mezcla, cuyos valores se encontraron en un rango de 1.7 a 2.1 % (ver tabla. N° 5.2), este parámetro será analizado en el apartado N° 5.5.1.4 de este documento.

5.3.1.2 RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO A 7 DÍAS.

Se presentan a continuación, en la tabla N° 5.3, los resultados de los ensayos de la resistencia a la compresión para los 10 pares de especímenes de concreto, para este diseño de mezcla a la edad de 7 días.

Tabla N° 5.3: Resultados de los ensayos de la resistencia a la compresión a 7 días AN3 (Elaborados con 100% arena natural).

Resistencia a la compresión a los 7 días.							
Diseño AN3: a/c=0.5, 100% Arena Las Cañas							
Cilindro N°	Área (mm²)	Masa (g)	Densidad (kg/m³)	Carga (kgf)	Resistencia (Mpa)	% de f'c	Resistencia Promedio (Mpa)
1	18050	12400	2257	39500	21.5	78	21.1
2	17671	12061	2242	37500	20.8	76	
3	17601	12149	2268	34500	19.2	70	19.5
4	17908	12412	2272	36250	19.9	72	
5	17671	11974	2229	37750	20.9	76	20.5

6	17908	12281	2253	36500	20.0	73	
7	17932	12416	2272	40250	22.0	80	21.6
8	17789	12386	2290	38500	21.2	77	
9	18074	12276	2236	39000	21.2	77	20.7
10	17742	12187	2260	36750	20.3	74	
11	18074	12318	2250	38750	21.0	77	21.3
12	17908	12391	2272	39500	21.6	79	
13	18027	12348	2249	39250	21.4	78	21.6
14	17695	12232	2266	39500	21.9	80	
15	18074	12389	2256	39250	21.3	78	21.0
16	17601	12211	2279	37000	20.6	75	
17	17908	12311	2264	39500	21.6	79	22.0
18	17955	12397	2264	41000	22.4	82	
19	18385	12612	2268	40500	21.6	79	21.4
20	18146	12373	2242	39250	21.2	77	
Promedio					21.1	77	21.1

Fuente: Los autores.

5.3.1.3 RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO A 28 DÍAS.

Se presentan a continuación, en la tabla № 5.4, los resultados de los ensayos de la resistencia a la compresión para los 15 pares de especímenes de concreto, para este diseño de mezcla a la edad de 28 días.

Tabla No 5.4: Resultados de los ensayos de la resistencia a la compresión a los 28 días AN3 (Elaborados con 100% arena natural)

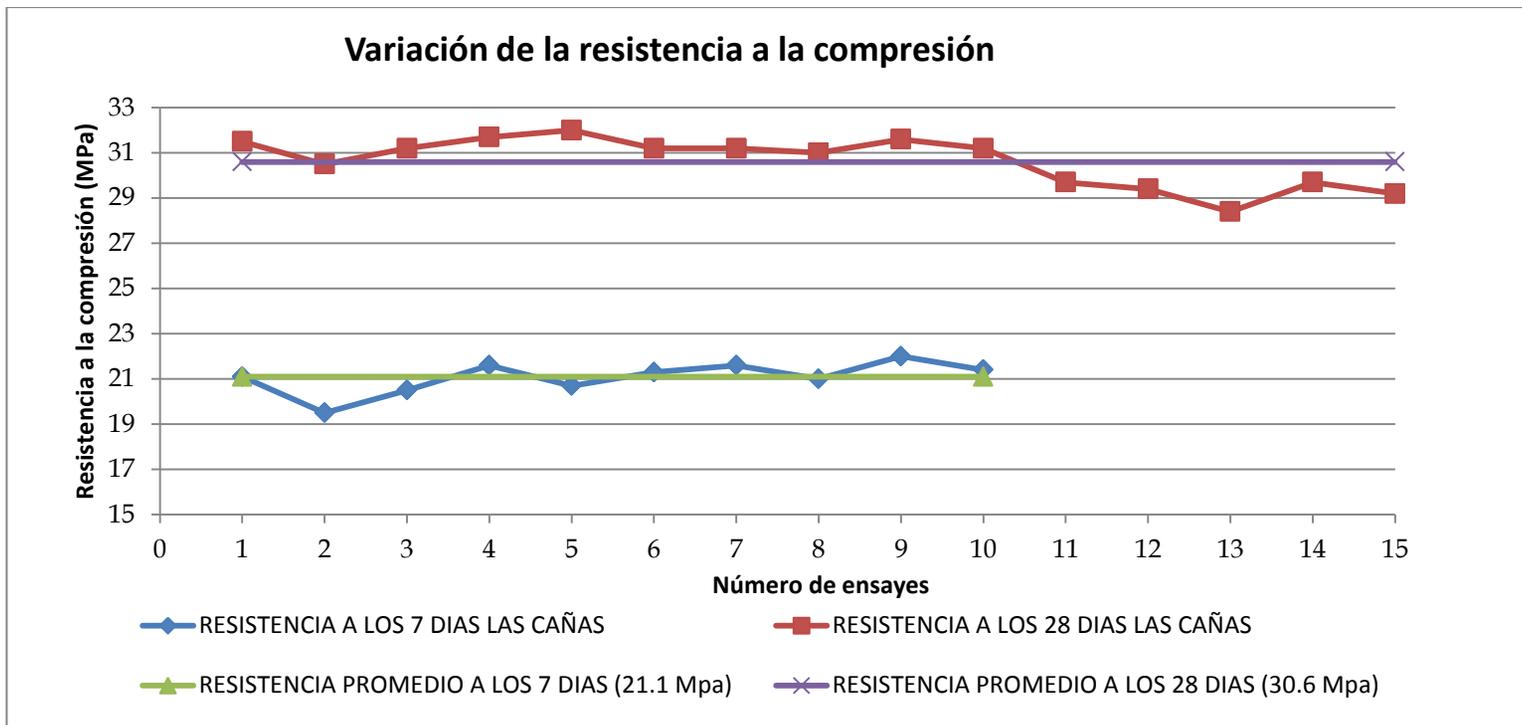
Resistencia a la Compresión a los 28 días							
Diseño AN3: a/c=0.5, 100% arena Las Cañas							
Cilindro N°	Área (mm ²)	Masa (g)	Densidad (kg/m ³)	Carga (kgf)	Resistencia (Mpa)	% de f'c	Resistencia Promedio (Mpa)
1	17908	12520	2292	56250	30.8	112	31.5
2	18385	12506	2230	60500	32.3	118	
3	18385	12400	2219	57750	30.8	112	30.5
4	18146	12224	2209	55750	30.1	110	
5	17908	12224	2253	56250	30.8	112	31.2
6	18385	12617	2265	59250	31.6	115	
7	18146	12457	2266	58250	31.5	115	31.7
8	17908	12421	2274	58250	31.9	116	
9	17908	12450	2287	59750	32.7	119	32.0
10	18385	12473	2224	58500	31.2	114	
11	18146	12464	2259	59250	32.0	117	31.2
12	18385	12391	2232	57000	30.4	111	
13	17671	12265	2298	57750	32.0	117	31.2
14	18146	12435	2247	56000	30.3	110	
15	18146	12503	2252	58250	31.5	115	31.0
16	18385	12448	2227	57250	30.5	111	
17	18385	12371	2206	60000	32.0	117	31.6
18	18385	12435	2225	58500	31.2	114	
19	17908	12283	2256	57750	31.6	115	31.2

20	18146	12268	2231	57000	30.8	112	
21	17719	12227	2263	52250	28.9	105	29.7
22	17932	12249	2240	55750	30.5	111	
23	18194	12374	2237	55000	29.6	108	29.4
24	17671	12227	2261	52500	29.1	106	
25	18027	12376	2251	51500	28.0	102	28.4
26	17932	12251	2247	52500	28.7	105	
27	17789	12237	2270	55000	30.3	110	29.7
28	17979	12211	2242	53250	29.0	106	
29	18146	12305	2231	54000	29.2	106	29.2
30	18265	12410	2235	54250	29.1	106	
Promedio					30.6	112	30.6

Fuente: Los autores.

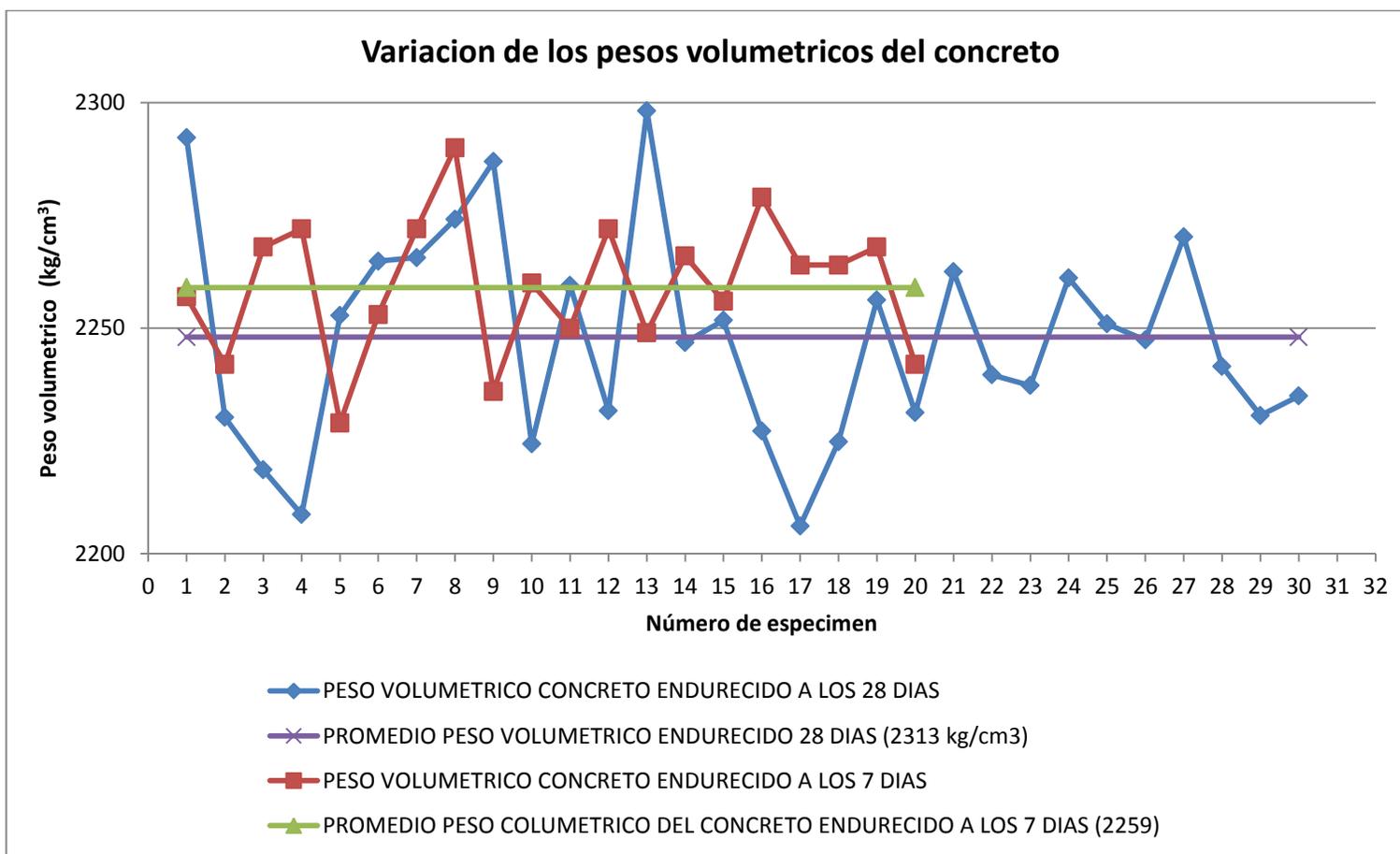
En la figura Nº 5.3 se presentan los gráficos de resistencia a compresión de los especímenes ensayados a los 7 y 28 días para el diseño AN3, así también en la figura Nº 5.4 se muestra la variación de los pesos volumétricos a las edades antes mencionadas.

Figura Nº 5.3: Gráfico de ganancia de resistencia de los especímenes a los 7 y 28 días.



Fuente: Los autores.

Figura Nº 5.4: Gráfico de la variación del peso volumétrico del concreto en estado endurecido



Fuente: Los autores.

5.3.1.4 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS A FLEXION DE ESPECÍMENES DE CONCRETO PARA EL DISEÑO “AN3”, (A/C=0.50; 100% ARENA LAS CAÑAS).

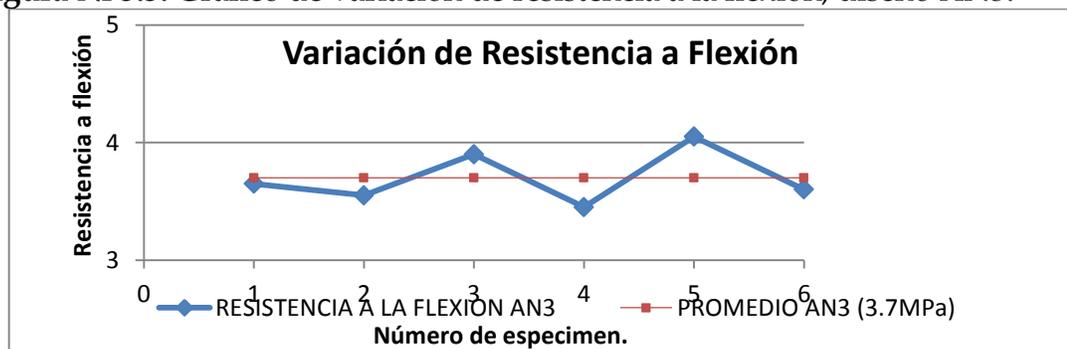
Se presentan a continuación, en la tabla N° 5.5, los resultados de los ensayos de resistencia a la flexión para los 3 pares de especímenes de concreto para este diseño de mezcla (ver figura N° 5.5) a la edad de 28 días.

Tabla N° 5.5: Resistencia a la flexión de especímenes de concreto.

VIGA N°	EDAD (días)	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)	Carga (Kg)	Módulo de ruptura, Mpa, (kg/cm ²)
1	28	450	152	150	2850	3.65 (37)
2	28	450	153	154	2900	3.55 (36)
3	28	450	150	154	3050	3.90 (40)
4	28	450	153	150	2750	3.45 (35)
5	28	450	152	151	3200	4.05 (41)
6	28	450	154	150	2900	3.60 (37)
PROMEDIO						3.70 (38)

Fuente: Los autores.

Figura N° 5.5: Gráfico de variación de resistencia a la flexión, diseño AN3.



Fuente: Los autores.

5.3.1.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS AL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO, DISEÑO “AN3”, (A/C=0.50; 100% ARENA LAS CAÑAS).

Se pudo observar para este diseño que los resultados de resistencia a la compresión a los 7 días (ver tabla N^o 5.3) se encontraron en un rango de 19.5 a 22 MPa con un promedio de 21.1 MPa (ver figura N^o 5.3), a lo que corresponde un 77% de f'_c ; mientras que los resultados de resistencia a la compresión a los 28 días para el mismo diseño (ver tabla N^o 5.4), presentaron valores en un rango de 28.0 a 32.7 MPa (todos por encima del valor de f'_c de 27.5MPa) con un promedio de 30.6 MPa (ver figura N^o 5.3), a lo que corresponde un 112% de f'_c , obteniéndose a esta edad de los especímenes una ganancia de resistencia del 12% mayor a la esperada.

Los resultados de los pesos volumétricos obtenidos para los especímenes cilíndricos variaron en un rango de 2206 a 2298 kg/m³ con un valor promedio de 2254 kg/m³ (ver figura N^o 5.4), estos resultados fueron tomados considerando la población total de 50 especímenes.

En cuanto a los resultados de resistencia a la flexión obtenidos únicamente a los 28 días (ver tabla N^o 5.5 y figura N^o 5.5), las viguetas presentaron valores de módulo de ruptura entre 3.45 - 4.05 MPa (35 - 41 kg/cm²), lo cual manifiesta el buen comportamiento que tendrá este concreto trabajando a flexión.

5.3.2 DISEÑO “ANLI3”, (A/C=0.50; 100% ARENA NATURAL LAVADA INDUSTRIALMENTE).

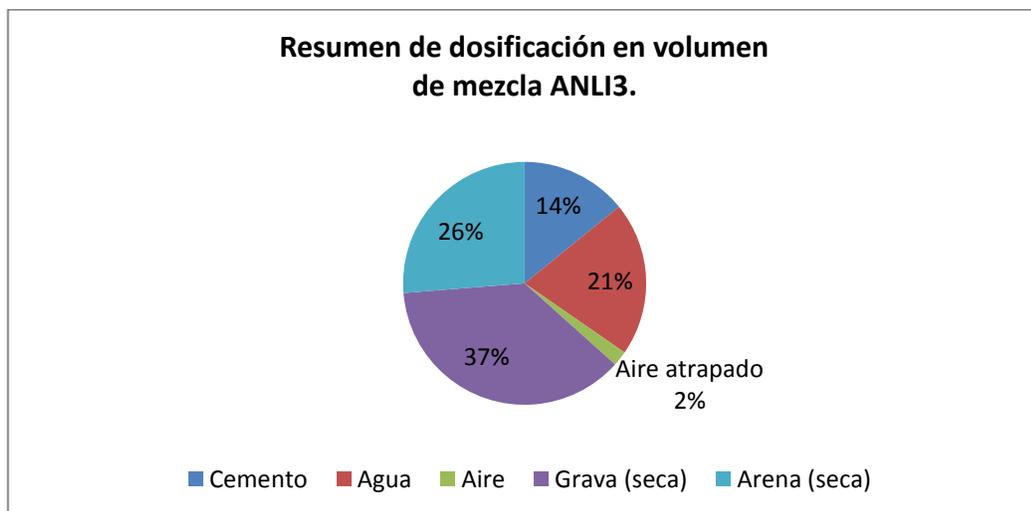
A continuación se presenta en la tabla N° 5.6 la dosificación para 1m³ del diseño ANLI3 con su correspondiente gráfico presentado en la figura N° 5.6.

Tabla N° 5.6: Proporcionamiento definitivo para 1m³ ANLI3.³⁶

Material	Peso (kg/m ³)	Gs(seca)	Volumen(l)	Relación A/C
Cemento	410	2.9	141.38	0.50
Agua	205	1.0	205.00	
Aire	(2%)	-	20.00	
Grava (seca)	932	2.51	371.31	
Arena Lavada (seca)	679.38	2.52	269.60	

Fuente: Los autores.

Figura N° 5.6: Gráfico de proporcionamiento de mezcla ANLI3.



Fuente: Los autores.

³⁶ El proporcionamiento definitivo para el diseño ANLI3 es el mismo propuesto por la metodología del comité ACI 211.1, ya que con ella se obtuvieron resultados satisfactorios en base a lo especificado en esta investigación.

Resultados diseño "ANLI3" (a/c=0.5; 100% Arena Lavada industrialmente)

A continuación se presentan en la tabla N° 5.7 los resultados de los ensayos realizados al concreto en estado fresco para el diseño ANLI3 (a/c=0.5; 100% arena natural lavada industrialmente).

Tabla 1 N° 5.7: Proporcionamiento para 1m³ ANLI3.

N° de Bachada	Revenimiento (mm). 100mm ± 25 mm	Temperatura (°C)	Peso Volumétrico (kg/m ³)	Contenido de aire (%)	Relación A/C
1	120	30.0	2271	1.6	0.50
2	125	28.0	2274	1.5	
3	125	30.0	2261	1.4	
PROMEDIO	125	29.5	2269	1.5	

Fuente: Los autores.



Figura N° 5.7: Revenimiento obtenido en la segunda mezcla para el diseño ANLI3.

5.3.2.1 ANÁLISIS DE MEZCLAS EN ESTADO FRESCO, DISEÑO “ANLI3” (A/C=0.50; 100% ARENA NATURAL LAVADA INDUSTRIALMENTE).

Las mezclas correspondientes al diseño “ANLI3” (ver tabla № 5.7) mostraron valores de revenimiento en el rango de 120 a 125 mm cumpliendo con el especificado (75-125mm); en cuanto a su apariencia las mezclas presentaron buena trabajabilidad y consistencia plástica. Se observaba una mezcla pastosa, muy estable y con buena cohesión entre los materiales componentes del concreto ya que no había desplome ni segregación de los agregados al momento de levantar el cono de revenimiento (ver figura № 5.7).

En cuanto a los resultados de temperatura del concreto fresco para esta mezcla se obtuvieron valores entre el rango de 28 a 30 °C donde se puede observar que cumplen con lo establecido en la especificación ASTM C-94 para concreto recién mezclado, la cual permite un máximo de temperatura para concreto fresco de 32 °C. Los valores de peso volumétrico en la mezcla resultaron entre 2261 a 2274 kg/m³, presentando un promedio de 2269 kg/m³ los cuales corresponden a un concreto de peso normal que es el tipo de concreto para el cual se ha realizado esta investigación. Por otro lado, teniendo en cuenta que los diseños de mezclas han sido elaborados considerando un concreto sin aire incluido y según la metodología propuesta por el ACI 211.1 se obtiene, para un tamaño máximo nominal de agregado grueso de ¾” y un revenimiento de 10 cm (4”

aproximadamente) un valor de aire atrapado de 2%, el cual puede evidenciarse en los resultados obtenidos mediante el método gravimétrico de contenido de aire para esta mezcla, cuyos valores se encontraron en un rango de 1.4 a 1.6 %, este parámetro será analizado en el apartado N° 5.5.1.4 de este documento.

5.3.2.2 RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO A LOS 7 DÍAS.

Se presentan a continuación, en la tabla N° 5.8 los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión para los 10 pares de especímenes de concreto, para para este diseño a la edad de 7 días.

Tabla N° 5.8: Resultado de ensayo de resistencia a la compresión a 7 días ANLI3 (Elaborados con 100% arena natural lavada industrialmente).

Resistencia a la Compresión a 7 días							
Diseño ANLI3: a/c=0.5, 100% Arena Lavada industrialmente							
Cilindro N°	Área (mm ²)	Masa (g)	Densidad (kg/m ³)	Carga (kgf)	Resistencia (Mpa)	% de f'c	Resistencia Promedio (Mpa)
1	18003	12863	2340	40500	22.1	80	22.4
2	18027	12872	2331	41750	22.7	83	
3	17671	12605	2346	39750	22.1	80	22.8
4	18265	13055	2353	43750	23.5	86	
5	17908	12768	2348	40750	22.3	81	22.2
6	17908	12787	2348	40500	22.2	81	
7	17671	12621	2345	41750	23.2	84	23.2

8	17671	12547	2337	41750	23.2	84	
9	17671	12608	2347	41000	22.8	83	22.8
10	17955	12740	2334	42000	22.9	84	
11	17577	12565	2350	42500	23.7	86	23.4
12	17577	12638	2356	41250	23.0	84	
13	17908	12789	2348	42250	23.1	84	23.3
14	18122	12746	2314	43250	23.4	85	
15	17932	12872	2355	43500	23.8	87	23.5
16	17908	12777	2349	42250	23.1	84	
17	17908	12803	2346	41000	22.5	82	23.0
18	17789	12871	2371	42750	23.6	86	
19	17884	12847	2356	43500	23.9	87	23.4
20	17908	12723	2336	41750	22.9	83	
Promedio					23.0	84	23.0

Fuente: Los autores.

5.3.2.3 RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO A 28 DÍAS.

Se presentan a continuación, en la tabla № 5.9 los resultados de los ensayos de la resistencia a la compresión para los 15 pares de especímenes de concreto, para este diseño de mezcla a la edad de 28 días.

Tabla Nº 5.9: Resultado de ensayo de resistencia a la compresión a 28 días ANLI3

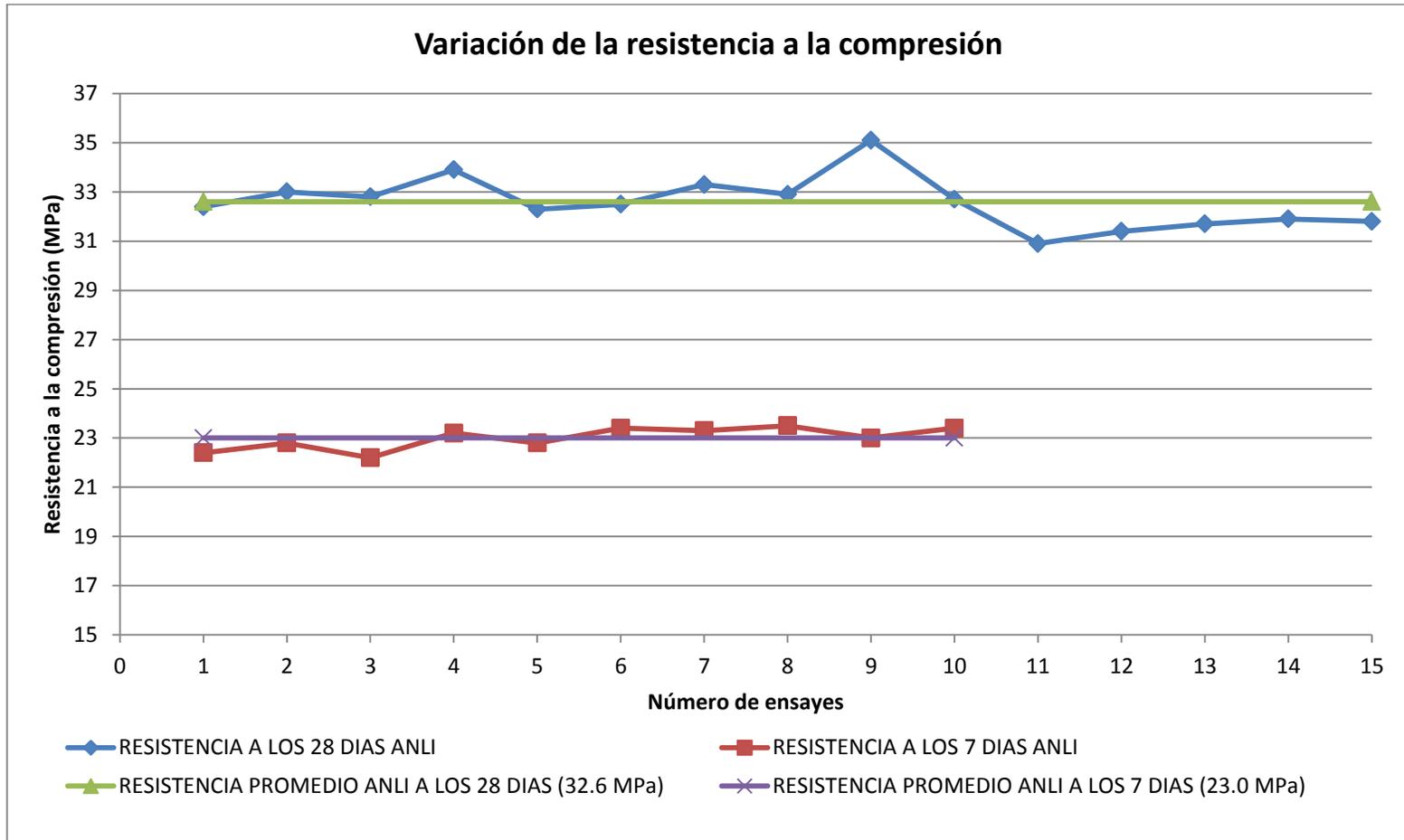
Resistencia a Compresión a 28 días							
Diseño ANLI3: a/c=0.5, 100% Arena Lavada industrialmente							
Cilindro N°	Área (mm ²)	Masa (g)	Densidad (kg/m ³)	Carga (kgf)	Resistencia (Mpa)	% de f'c	Resistencia Promedio (Mpa)
1	18146	12760	2306	60000	32.4	118	32.4
2	17908	12577	2303	59000	32.3	118	
3	18385	12798	2282	62250	33.2	121	33.0
4	17908	12572	2317	60000	32.9	120	
5	18146	12775	2316	62500	33.8	123	32.8
6	18146	12602	2284	59000	31.9	116	
7	18146	12774	2321	63000	34.0	124	33.9
8	17908	12800	2359	61500	33.7	123	
9	18146	12723	2316	58500	31.6	115	32.3
10	18146	12765	2326	61000	33.0	120	
11	18385	12697	2285	60500	32.3	118	32.5
12	18146	12880	2351	60500	32.7	119	
13	17955	12798	2345	60750	33.2	121	33.3
14	17789	12600	2322	60750	33.5	122	
15	17813	12596	2326	58500	32.2	117	32.9
16	17719	12556	2331	60750	33.6	122	
17	17908	12764	2348	64500	35.3	129	35.1
18	17884	12784	2344	63500	34.8	127	
19	18482	12991	2312	62750	33.3	121	32.7

20	18869	12900	2289	61750	32.1	117	
21	17908	12610	2294	56500	30.9	113	30.9
22	17908	12790	2349	56500	30.9	113	
23	18385	12805	2284	59250	31.6	115	31.4
24	18385	13017	2337	58500	31.2	114	
25	17908	12575	2310	57750	31.6	115	31.7
26	18146	12600	2284	58750	31.8	116	
27	18146	12600	2292	58750	31.8	116	31.9
28	18385	12818	2286	60250	32.1	117	
29	17908	12630	2305	59250	32.4	118	31.8
30	17671	12750	2373	56000	31.1	113	
Promedio					32.6	119	32.6

Fuente: Los autores.

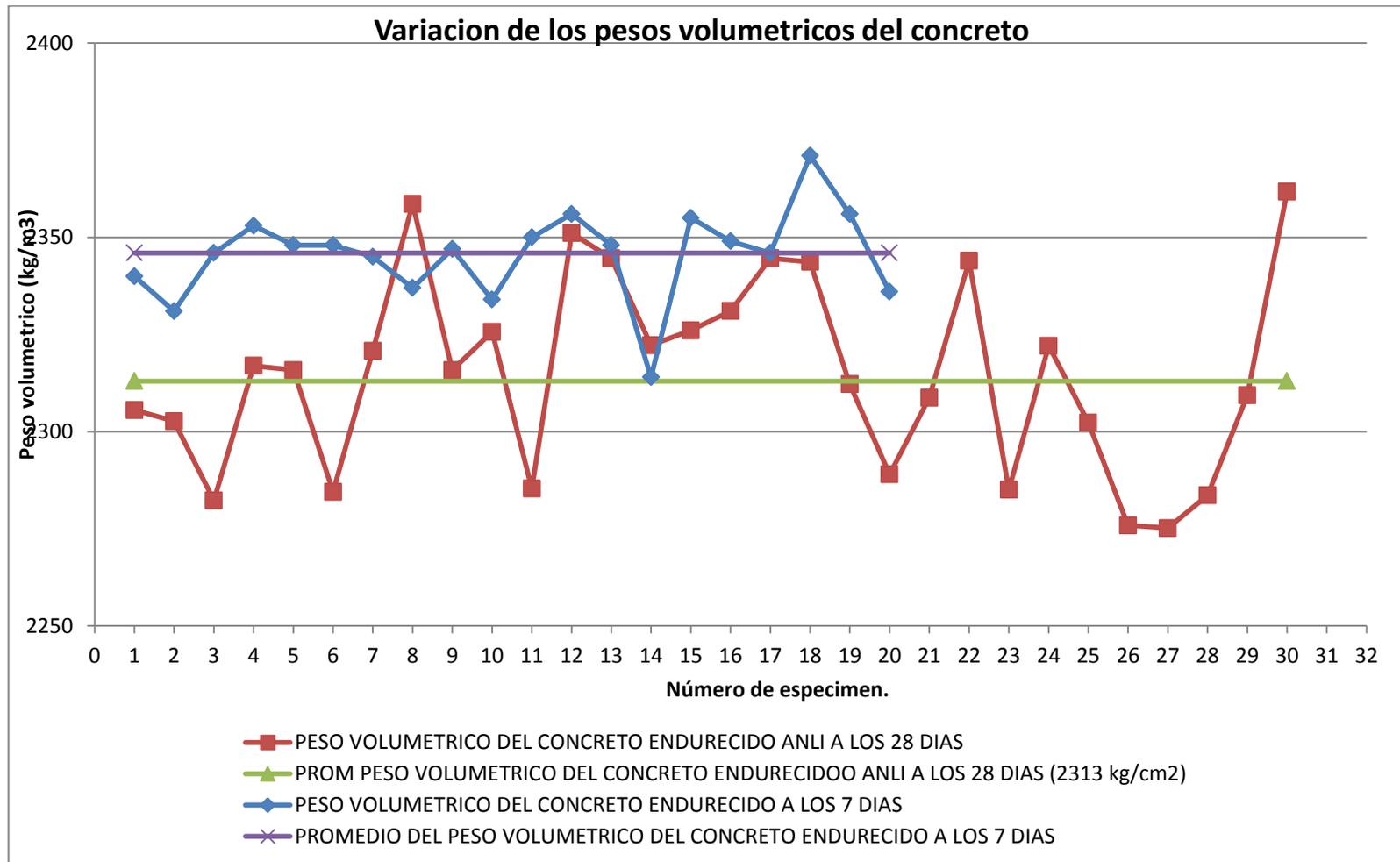
En la figura Nº 5.8 se presentan los gráficos de resistencia a la compresión de los especímenes ensayados a los 7 y 28 días para el diseño ANLI3 (elaborados con 100% arena natural lavada industrialmente), así también en la figura Nº 5.9 se muestra la variación de los pesos volumétricos a las edades mencionadas anteriormente.

Figura Nº 5.8: Variación de la resistencia a compresión a los 7 y 28 días



Fuente: Los autores

Figura Nº 5.9: Gráfico de la variación del peso volumétrico del concreto en estado endurecido



Fuente: Los autores.

5.3.2.4 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS A LA FLEXION DE ESPECÍMENES DE CONCRETO PARA EL DISEÑO ANLI3 (A/C=0.5, 100% ARENA LAVADA INDUSTRIALMENTE).

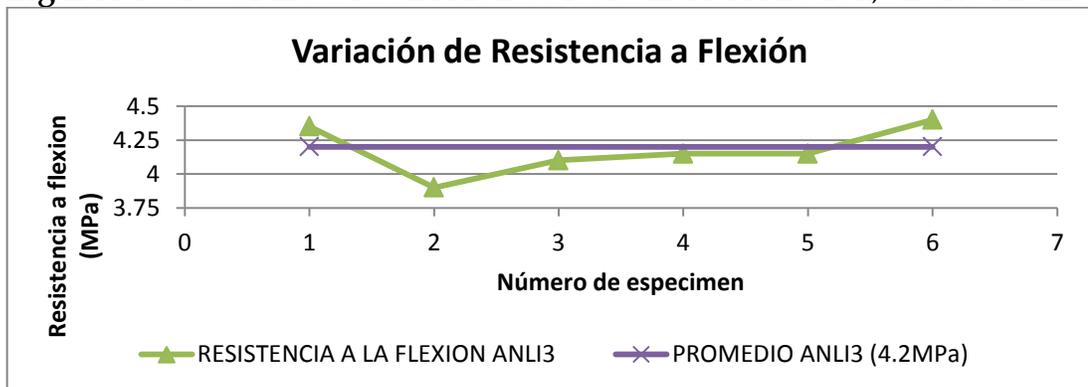
Se presentan a continuación, en la tabla Nº 5.10, los resultados de los ensayos de resistencia a la flexión para los 3 pares de especímenes de concreto para este diseño de mezcla; a la edad de 28 días.

Tabla Nº 5.10: Resistencia a la flexión de especímenes de concreto.

VIGA Nº	EDAD (días)	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)	Carga (Kg)	Módulo de ruptura (MPa, (kg/cm ²))
1	28	450	154	150	3500	4.35 (44)
2	28	450	152	154	3150	3.90 (40)
3	28	450	153	150	3250	4.10 (42)
4	28	450	150	151	3200	4.15 (42)
5	28	450	152	150	3250	4.15 (42)
6	28	450	150	151	3400	4.40 (45)
PROMEDIO						4.20 (43)

Fuente: Los autores.

Figura Nº 5.10: Gráfico de variación de resistencia a la flexión, diseño ANLI3.



Fuente: Los autores.

5.3.2.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS AL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO, DISEÑO “ANLI3”(A/C=0.5, 100% ARENA LAVADA INDUSTRIALMENTE).

Para el diseño ANLI3 (a/c=0.5, 100% arena lavada industrialmente) los resultados de resistencia a la compresión a los 7 días (ver tabla Nº 5.8) se encontraron en un rango de 22.1 a 23.9 MPa con un promedio de 22.3 MPa (ver figura Nº 5.8), a lo que corresponde un 84% de $f'c$, mientras que la edad de 28 días los resultados de resistencia a compresión para el mismo diseño (ver tabla Nº 5.9), presentaron valores en un rango de 30.9 a 35.3 MPa (todos por encima del valor de $f'c$ de 27.5MPa) presentando un promedio de 32.6 MPa (ver figura Nº 5.8), a lo que corresponde un 119% de $f'c$, obteniéndose a esta edad de los especímenes una ganancia de resistencia de 19% mayor a la esperada.

Los resultados de los pesos volumétricos obtenidos para los especímenes cilíndricos presentaron un rango que oscila de 2265 a 2371 kg/m³ y con un valor promedio de 2280 kg/m³ (ver figura Nº 5.9), estos resultados fueron tomados considerando la población total de 50 especímenes.

En cuanto a los resultados de resistencia a la flexión obtenidos únicamente a los 28 días (ver tabla Nº 5.10 y figura Nº 5.10), las viguetas presentaron valores de módulo de ruptura entre 3.90 - 4.40 MPa (40 - 45 kg/cm²); lo cual manifiesta el buen comportamiento que tendrá este concreto trabajando a flexión.

5.3.3 DISEÑO “CMBB”, (A/C=0.48; 75%A.LAVADA INDUSTRIALMENTE-25% A. LAS CAÑAS).

A continuación se presenta en la tabla N° 5.11 la dosificación para 1m³ del diseño CMBB con su correspondiente gráfico presentado en la figura N° 5.11.

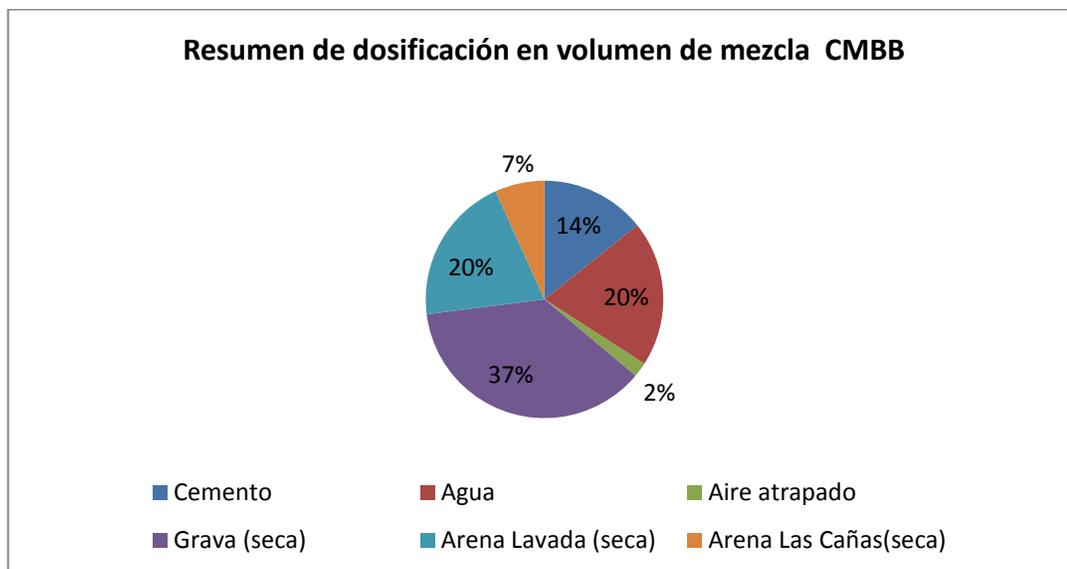
Tabla N° 5.11: Proporcionamiento definitivo para 1m³ CMBB.³⁷

Material	Peso (kg/m ³)	Gs(seca)	Volumen(l)	Relación A/C
Cemento	413.54	2.9	142.60	0.48
Agua	198.5	1.0	198.50	
Aire	(2%)	-	20.00	
Grava (seca)	926	2.51	368.92	
Arena Lavada (seca)	524.42	2.52	208.10	
Arena Las Cañas(seca)	141.75	2.10	67.50	

Fuente: Los autores.

³⁷ Para el diseño CMBB se realizaron correcciones por revenimiento de ahí que no se utilizara toda el agua propuesta por la metodología del comité ACI 211.1 para cumplir con las especificaciones de esta investigación.

Figura N° 5.11: Gráfico de proporcionamiento de mezcla CMBB.



Fuente: Los autores.

Resultados diseño “CMBB”, (a/c=0.48; 75%A.Lavada industrialmente-25% A. Las Cañas).

A continuación se presentan en la tabla N° 5.12 los resultados de los ensayos realizados al concreto en estado fresco para el diseño CMBB (a/c=0.48; 75% arena natural lavada industrialmente - 25% arena natural).

Tabla N° 5.12: Proporcionamiento para 1m³ CMBB.

N° de Bachada	Revenimiento (mm). 100mm ± 25 mm	Temperatura (°C)	Peso Volumétrico (kg/m ³)	Contenido de aire (%)	Relación A/C
1	90	28.0	2260	1.3	0.48
2	85	29.0	2258	1.4	
3	95	27.0	2258	1.2	
PROMEDIO	90	28.0	2259	1.3	

Fuente: Los autores.



Figura N° 5.12: Revenimiento obtenido en la primera mezcla para el diseño CMBB.

5.3.3.1 ANÁLISIS DE MEZCLAS EN ESTADO FRESCO, DISEÑO “CMBB”, (A/C=0.48; 75% A. LAVADA INDUSTRIALMENTE - 25% A. LAS CAÑAS).

Las mezclas correspondientes al diseño “CMBB” se elaboraron con una relación A/C de 0.48, cabe mencionar que esta mezcla fue sometida a correcciones por revenimiento³⁸ para cumplir con lo especificado en cuanto a este parámetro, los resultados obtenidos de los ensayos al concreto en estado fresco están tabulados en la tabla N° 5.12 en la cual se muestran los revenimientos obtenidos, contenidos de aire, temperatura del concreto fresco y pesos volumétricos del mismo.

Los valores de revenimiento variaron en un rango de rango de 85 a 95 mm cumpliendo con el especificado (75-125mm); en cuanto a su apariencia las

³⁸ Se redujo el agua en la mezcla, pero siempre conservando la relación A/C de 0.48.

mezclas presentaron buena trabajabilidad y consistencia plástica. Se observaba una mezcla pastosa, muy estable y con buena cohesión entre los materiales componentes del concreto ya que no había desplome ni segregación de los agregados al momento de levantar el cono de revenimiento (ver figura N° 5.12).

En cuanto a los resultados de temperatura del concreto fresco para esta mezcla se obtuvieron valores entre el rango de 27 a 29 °C, presentando un valor promedio de 28 °C, donde se puede observar que cumplen con lo establecido en la especificación ASTM C-94 para concreto recién mezclado, la cual permite un máximo de temperatura para concreto fresco de 32 °C. Los valores de peso volumétrico en la mezcla resultaron entre 2258 a 2260 kg/m³, presentando un promedio de 2259 kg/m³ los cuales corresponden a un concreto de peso normal que es el tipo de concreto para el cual se ha realizado esta investigación. Por otro lado, teniendo en cuenta que los diseños de mezclas han sido elaborados considerando un concreto sin aire incluido y según la metodología propuesta por el ACI 211.1 se obtiene, para un tamaño máximo nominal de agregado grueso de ¾" y un revenimiento de 10 cm (4" aproximadamente) un valor de aire atrapado de 2%, el cual puede evidenciarse en los resultados obtenidos mediante el método gravimétrico de contenido de aire para esta mezcla, cuyos valores se encontraron en un rango de 1.2 a 1.4 %, este parámetro será analizado en el apartado N° 5.5.1.4 de este documento.

5.3.3.2 RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO A 7 DÍAS.

Se presentan a continuación, en la tabla N° 5.13, los resultados del ensayo de resistencia a la compresión para los 10 pares de especímenes de concreto, para este diseño de mezcla a la edad de 7 días.

Tabla N° 5.13: Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión a 7 días CMBB (a/c=0.48, 75% Arena Lavada industrialmente- 25% A. Las Cañas)

Resistencia a Compresión a 7 días							
Diseño CMBB: a/c=0.48, 75% Arena Lavada industrialmente- 25% A. Las Cañas							
Cilindro N°	Área (mm ²)	Masa (g)	Densidad (kg/m ³)	Carga (kgf)	Resistencia (Mpa)	% de f'c	Resistencia Promedio (Mpa)
1	17789	12592	2317	41750	23.0	84	23.3
2	18361	12723	2275	44250	23.6	86	
3	18194	12534	2265	43750	23.6	86	23.5
4	18337	12664	2264	43750	23.4	85	
5	18241	12685	2282	43750	23.5	86	23.1
6	18027	12541	2286	41750	22.7	83	
7	18458	12758	2264	45500	24.2	88	24.7
8	18241	12746	2298	46750	25.1	92	
9	18074	12658	2302	45000	24.4	89	23.7
10	17860	12592	2319	41750	22.9	83	
11	18313	12690	2273	46000	24.6	90	24.9
12	18265	12691	2282	46750	25.1	91	

13	17908	12575	2300	41750	22.9	83	22.6
14	18409	12685	2259	41750	22.2	81	
15	18289	12804	2293	41750	22.4	82	23.1
16	18385	12827	2281	44750	23.9	87	
17	18506	12683	2249	46750	24.8	90	24.1
18	18313	12738	2282	43750	23.4	85	
19	18723	13053	2290	46750	24.5	89	23.7
20	18748	12580	2204	43750	22.9	83	
Promedio					23.7	86	23.7

Fuente: Los autores.

5.3.3.3 RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO A 28 DÍAS

Se presentan a continuación, en las tablas N° 5.14, los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión para los 15 pares de especímenes de concreto, para este diseño de mezcla a la edad de 28 días.

Tabla N° 5.14: Resultado de los ensayos de resistencia a la compresión a 28 días CMBB (a/c=0.48, 75% Arena Lavada industrialmente- 25% A. Las Cañas)

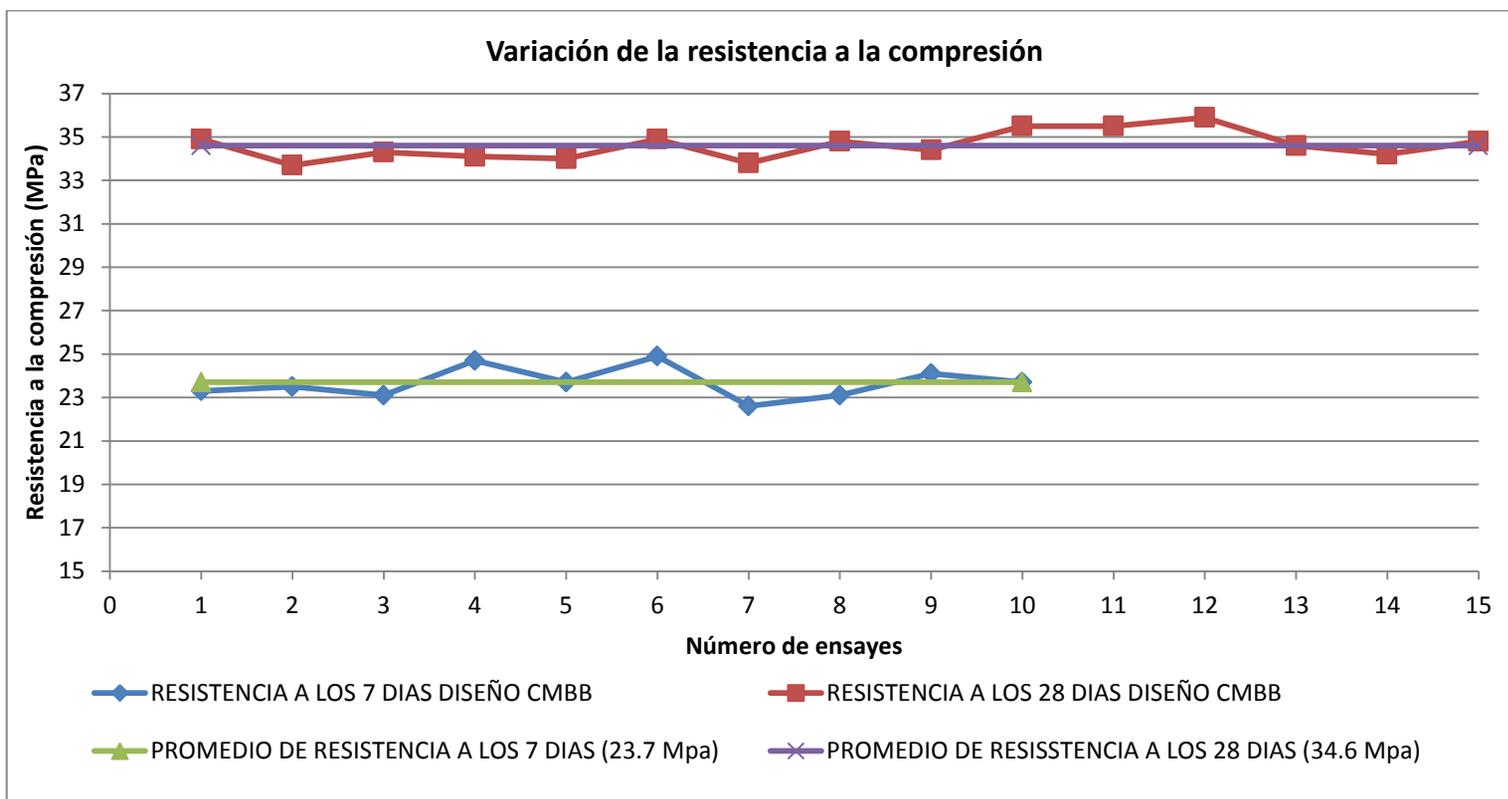
Resistencia a Compresión a 28 días							
Diseño CMBB: a/c=0.48, 75% Arena Lavada industrialmente- 25% A. Las Cañas							
Cilindro N°	Área (mm²)	Masa (g)	Densidad (kg/m³)	Carga (kgf)	Resistencia (Mpa)	% de f'c	Resistencia Promedio (Mpa)
1	18385	12702	2273	65500	34.9	127	34.9
2	18385	12722	2269	65500	34.9	127	

3	17908	12585	2312	60750	33.3	121	33.7
4	18869	12941	2288	65750	34.2	124	
5	18385	12695	2271	64000	34.1	124	34.3
6	17908	12552	2298	63000	34.5	126	
7	18146	12732	2339	63500	34.3	125	34.1
8	18385	12840	2275	63500	33.9	123	
9	18627	12976	2292	64750	34.1	124	34.0
10	18146	12615	2287	62750	33.9	124	
11	17908	12600	2307	63000	34.5	126	34.9
12	18146	12753	2312	65250	35.3	128	
13	17908	12559	2299	63000	34.5	126	33.8
14	18146	12542	2281	61250	33.1	121	
15	18146	12588	2282	64000	34.6	126	34.8
16	18146	12755	2312	64750	35.0	127	
17	18146	12695	2294	62250	33.6	123	34.4
18	18385	12727	2277	66000	35.2	128	
19	18385	12706	2273	68750	36.7	134	35.5
20	18385	12706	2266	64250	34.3	125	
21	18146	12531	2272	64000	34.6	126	35.5
22	18385	12792	2281	68250	36.4	133	
23	17908	12608	2316	66250	36.3	132	35.9
24	17908	12537	2295	64750	35.5	129	
25	18146	12687	2300	62500	33.8	123	34.6
26	18385	12940	2323	66250	35.3	129	
27	18146	12535	2265	63250	34.2	124	34.2
28	18146	12724	2299	63250	34.2	124	
29	17908	12533	2302	64750	35.5	129	34.8
30	17908	12530	2294	62500	34.2	125	
Promedio					34.6	126	34.6

Fuente: Los autores.

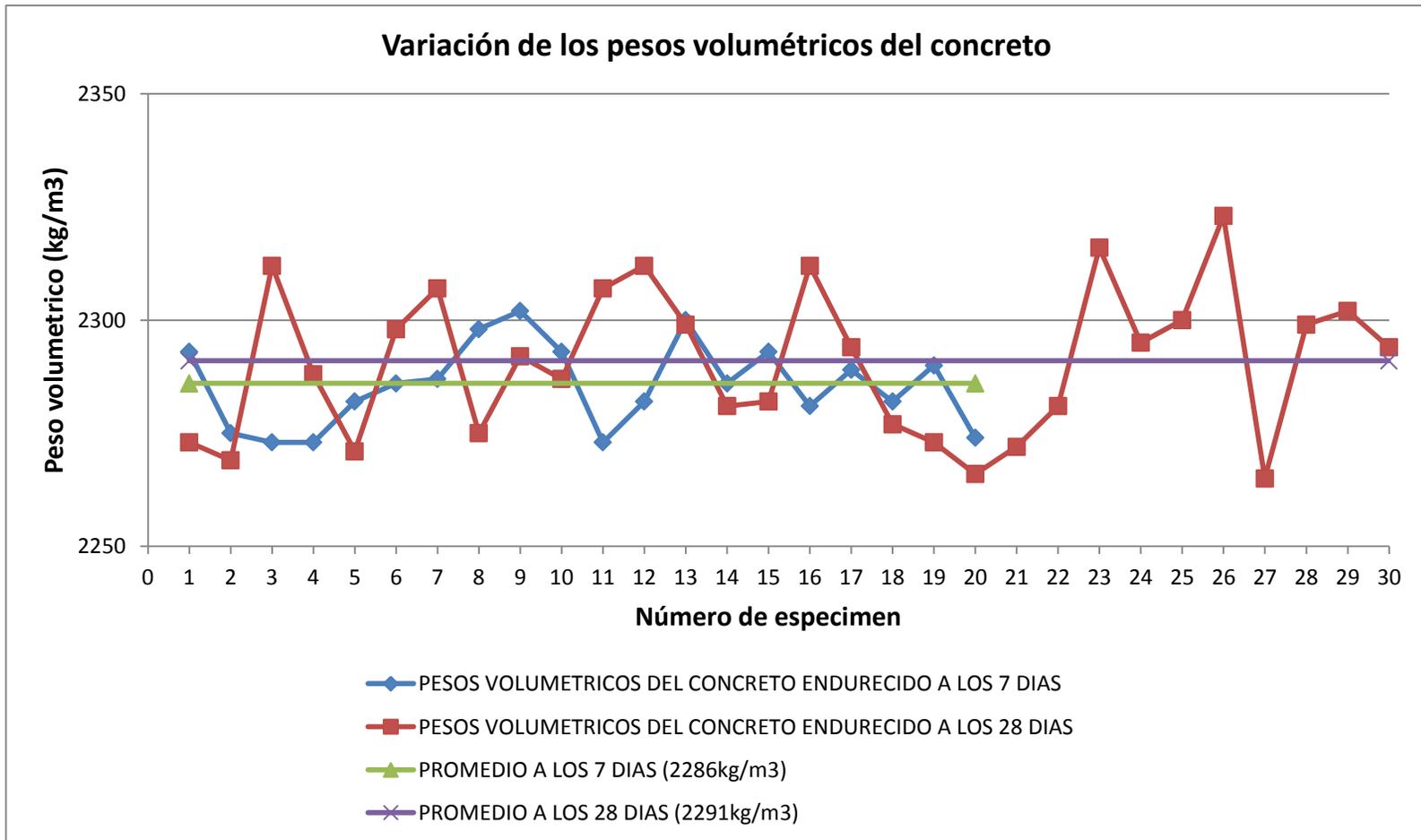
En la figura N° 5.13 se presentan los gráficos de resistencia a compresión de los especímenes ensayados a los 7 y 28 días para el diseño CMBB, así también en la figura N° 5.14 se muestra la variación de los pesos volumétricos a las edades mencionadas anteriormente.

Figura N° 5.13: Variación de la resistencia a compresión diseño CMBB



Fuente: Los autores.

Figura No 5.14: Gráfico de la variación del peso volumétrico del concreto en estado endurecido



Fuente: Los autores.

5.3.3.4 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS A LA FLEXION ESPECÍMENES DE CONCRETO MEZCLA “CMBB”, (A/C=0.48, 75% ARENA LAVADA INDUSTRIALMENTE- 25% A. LAS CAÑAS).

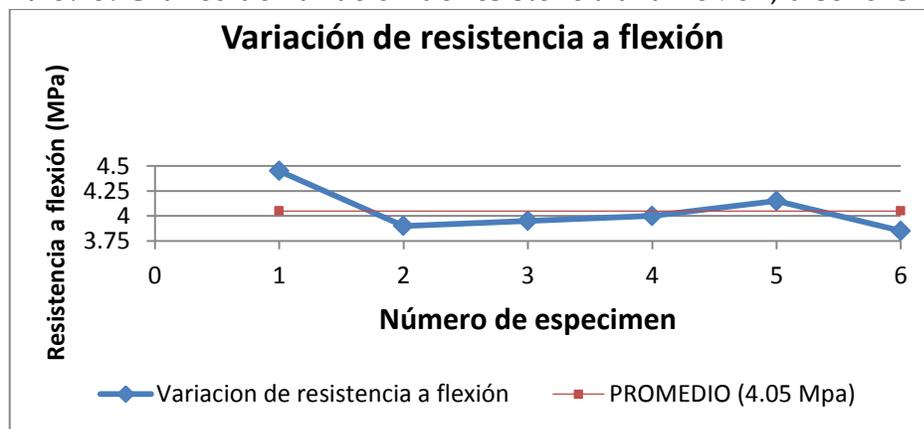
Se presentan a continuación, en la tabla N° 5.15, los resultados de los ensayos de resistencia a la flexión para los 3 pares de especímenes de concreto para el diseño de mezcla; a la edad de 28 días.

Tabla N° 5.15: Resistencia a la flexión de especímenes de concreto.

VIGA N°	EDAD (días)	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)	Carga (Kg)	Módulo de ruptura, Mpa/(kg/cm ²)
1	28	450	150	152	3450	4.45 (45)
2	28	450	153	155	3200	3.90 (40)
3	28	450	150	152	3050	3.95 (40)
4	28	450	150	152	3100	4.00 (41)
5	28	450	150	154	3250	4.15 (42)
6	28	450	154	153	3150	3.85 (39)
PROMEDIO						4.05 (41)

Fuente: Los autores.

Figura N° 5.15: Gráfico de variación de resistencia a la flexión, diseño CMBB.



Fuente: Los autores.

5.3.3.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS AL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO, DISEÑO “CMBB”.

Para el diseño CMBB que corresponde a la combinación de agregado fino 75% arena natural lavada industrialmente - 25% arena natural del río Las Cañas presentaron resultados de resistencia a la compresión a los 7 días (ver tabla N° 5.13) que se encontraron en un rango de 22.2 a 25.1 MPa con un promedio de 23.7 MPa (ver figura N° 5.13), a lo que corresponde un 86% de $f'c$. A la edad de 28 días los resultados de resistencia a compresión para el mismo diseño (ver tabla N° 5.14), presentaron valores en un rango de 33.1 a 36.7 MPa (todos por encima del valor de $f'c$ de 27.5MPa) presentando un promedio de 34.6 MPa (ver figura N° 5.13), a lo que corresponde un 126% de $f'c$, obteniéndose a esta edad de los especímenes una ganancia de resistencia de 26% mayor a la esperada.

Los resultados de los pesos volumétricos obtenidos para los especímenes cilíndricos presentaron un rango que oscila de 2265 a 2323 kg/m³ con un valor promedio de 2289 kg/m³ (ver figura N° 5.14), estos resultados fueron tomados considerando la población total de 50 especímenes.

En cuanto a los resultados de resistencia a flexión obtenidos únicamente a los 28 días (ver tabla N°5.15 y figura N°5.15), las viguetas presentaron valores de

módulo de ruptura entre 3.85 - 4.45 MPa (39 - 45 kg/cm²); lo cual manifiesta el buen comportamiento del concreto trabajando a flexión.

5.3.4 DISEÑO "CMBE" (A/C = 0.48; 75% A. LAS CAÑAS - 25% A. LAVADA INDUSTRIALMENTE).

A continuación se presenta en la tabla N° 5.16 la dosificación para 1m³ del diseño CMBE con su correspondiente gráfico presentado en la figura N° 5.16.

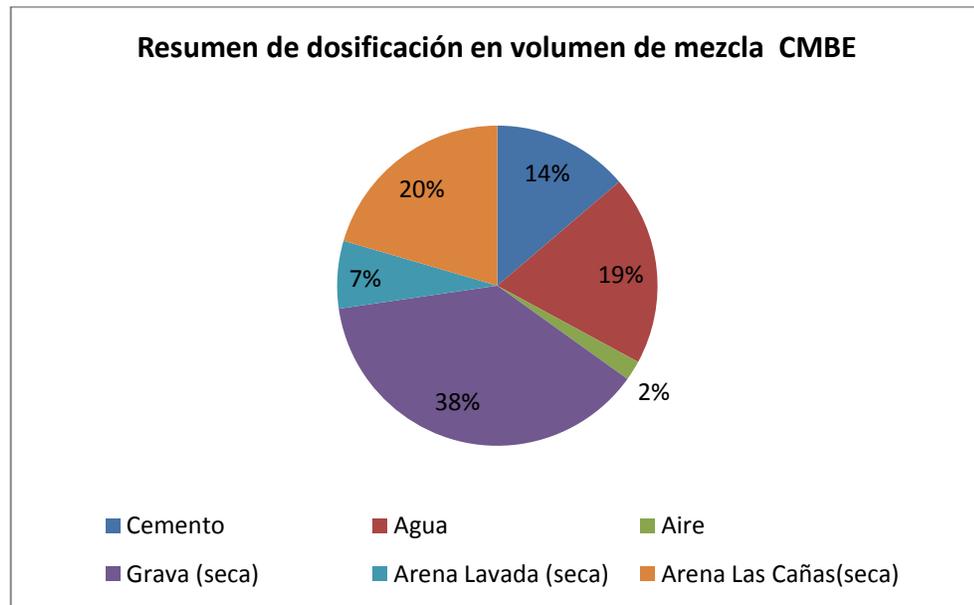
Tabla N° 5.16: Proporcionamiento definitivo para 1m³ CMBE ³⁹

Material	Peso (kg/m ³)	Gs(seca)	Volumen(lt)
Cemento	398.96	2.9	137.57
Agua	191.5	1.0	191.50
Aire	(2%)	-	20.00
Grava (seca)	948.53	2.51	377.90
Arena Lavada (seca)	176.79	2.52	70.15
Arena Las Cañas(seca)	430.02	2.10	204.77

Fuente: Los autores.

³⁹ Para el diseño CMBE se realizaron correcciones por revenimiento de ahí que no se utilizara toda el agua propuesta por la metodología del comité ACI 211.1 para cumplir con las especificaciones de esta investigación.

Figura N° 5.16: Gráfico de proporcionamiento de mezcla CMBE.



Fuente: Los autores.

Resultados diseño "CMBE" (a/c = 0.48; 75% A. Las Cañas - 25% A. Lavada industrialmente).

A continuación se presentan en la tabla N° 5.17 los resultados de los ensayos realizados al concreto en estado fresco para el diseño CMBE (a/c=0.48; 25% arena natural lavada industrialmente - 75% arena natural).

Tabla № 5.17: Proporcionamiento para 1m³ CMBE.

N° de Bachada	Revenimiento (mm). 100mm ± 25 mm	Temperatura (°C)	Peso Volumétrico (kg/m ³)	Contenido de aire (%)	Relación A/C
1	90	28.0	2223	1.5	0.48
2	75	28.0	2219	1.7	
3	90	28.0	2179	1.5	
PROMEDIO	85	28.0	2207	1.6	

Fuente: Los autores.



Figura № 5.17: Revenimiento obtenido en la segunda mezcla para el diseño CMBE.

5.5.4.1 ANÁLISIS DE MEZCLAS EN ESTADO FRESCO, DISEÑO “CMBE”.

Las mezclas correspondientes al diseño “CMBE” se elaboraron con una relación A/C de 0.48, no obstante esta mezclas fue sometida a correcciones por revenimiento para cumplir con lo especificado en cuanto a este parámetro, los

resultados obtenidos de los ensayos al concreto en estado fresco están tabulados en la tabla № 5.17 en la cual se muestran los revenimientos obtenidos, contenidos de aire, temperatura del concreto fresco y pesos volumétricos del mismo.

Los valores de revenimiento variaron en un rango de rango de 75 a 90 mm cumpliendo con el especificado (75-125mm); en cuanto a su apariencia las mezclas presentaron buena trabajabilidad y consistencia plástica. Se observaba una mezcla pastosa, muy estable y con buena cohesión entre los materiales componentes del concreto ya que no había desplome ni segregación de los agregados al momento de levantar el cono de revenimiento (ver figura № 5.17).

En cuanto a los resultados de temperatura del concreto fresco para este diseño se obtuvo un valor de 28 °C, donde observar que cumplen con lo establecido en la especificación ASTM C-94 para concreto recién mezclado, la cual permite un máximo de temperatura para concreto fresco de 32 °C. Los valores de peso volumétrico en la mezcla resultaron entre 2179 a 2223 kg/m³, presentando un promedio de 2207 kg/m³ los cuales corresponden a un concreto de peso normal que es el tipo de concreto para el cual se ha realizado esta investigación. Por otro lado, teniendo en cuenta que los diseños de mezclas han sido elaborados considerando un concreto sin aire incluido y según la metodología propuesta por el ACI 211.1 se obtiene, para un tamaño máximo nominal de agregado

grueso de $\frac{3}{4}$ " y un revenimiento de 10 cm (4" aproximadamente) un valor de aire atrapado de 2%, el cual puede evidenciarse en los resultados obtenidos mediante el método gravimétrico de contenido de aire para esta mezcla, cuyos valores se encontraron en un rango de 1.5 a 1.7 % (ver tabla N° 5.17), este parámetro será analizado en el apartado N° 5.5.1.4 de este documento

5.3.4.2 RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO A 7 DÍAS.

Se presentan a continuación, en la tabla N° 5.18, los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión para los 10 pares de especímenes de concreto, para este diseño de mezcla a la edad de 7 días.

Tabla N° 5.18: Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión a 7 días CMBE (a/c=0.48, 25% Arena Lavada industrialmente- 75% A. Las Cañas).

Resistencia a la Compresión a 7 días							
Diseño CMBE: a/c=0.48, 75% A. Las Cañas-25% Arena Lavada industrialmente							
Cilindro N°	Área (mm ²)	Masa (g)	Densidad (kg/m ³)	Carga (kgf)	Resistencia (Mpa)	% de f'c	Resistencia Promedio (Mpa)
1	17979	12614	2306	46750	25.5	93	25.1
2	18074	12574	2294	45500	24.7	90	
3	17671	12373	2296	44250	24.6	89	24.6
4	17979	12509	2283	45250	24.7	90	

5	17671	12503	2277	47250	26.2	95	25.7
6	17671	12431	2306	45250	25.1	91	
7	17671	12393	2297	45500	25.2	92	24.8
8	17671	12393	2292	44000	24.4	89	
9	18385	12815	2285	45500	24.3	88	23.8
10	17671	12381	2297	42000	23.3	85	
11	18265	12523	2250	45250	24.3	88	24.6
12	18242	12655	2275	46500	25.0	91	
13	18074	12500	2276	46750	25.4	92	25.0
14	18170	12580	2281	45750	24.7	90	
15	18409	12575	2288	46250	24.6	90	24.6
16	18506	12489	2274	46500	24.6	90	
17	18265	12573	2269	44750	24.0	87	24.5
18	17837	12676	2271	45500	25.0	91	
19	18218	12672	2273	45750	24.6	90	24.9
20	18074	12583	2270	46250	25.1	91	
Promedio					24.8	90	24.8

Fuente: Los autores.

5.3.4.3 RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO A 28 DÍAS.

Se presentan a continuación, en las tablas N° 5.19, los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión para los 15 pares de especímenes de concreto, para este diseño de mezcla a la edad de 28 días.

Tabla N° 5.19: Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión a 28 días CMBE (a/c=0.48, 25% Arena Lavada industrialmente- 75% A. Las Cañas).

Resistencia a la Compresión a 28 días							
Diseño CMBE: a/c=0.48, 25% Arena Lavada industrialmente- 75% A. Las Cañas							
Cilindro N°	Área (mm ²)	Masa (g)	Densidad (kg/m ³)	Carga (kgf)	Resistencia (Mpa)	% de f'c	Resistencia Promedio (Mpa)
1	17908	12445	2279	63000	34.5	125	34.3
2	17908	12434	2284	62250	34.1	124	
3	17908	12612	2317	63000	34.5	125	34.6
4	17908	12451	2287	63250	34.6	126	
5	18146	12619	2280	63000	34.0	124	33
6	18385	12631	2260	60000	32.0	116	
7	17908	12605	2308	64250	35.2	128	35.2
8	18385	12656	2264	66000	35.2	128	
9	17908	12442	2285	65000	35.6	129	35
10	17671	12425	2305	62000	34.4	125	
11	17908	12470	2283	62500	34.2	124	35
12	18146	12618	2280	66250	35.8	130	
13	18627	12785	2258	64750	34.1	124	34.5
14	18146	12606	2285	64750	35.0	127	
15	18146	12591	2275	63000	34.0	124	34.1
16	17908	12523	2308	62500	34.2	124	
17	17908	12627	2312	62500	34.2	124	34.7
18	18146	12611	2279	65000	35.1	128	
19*	8659	4035	2296	31150	35.3	128	34.3
20*	8825	3998	2265	30600	34.0	124	
21*	8659	3986	2290	31000	35.1	128	
22*	8659	3968	2269	29000	32.8	119	
23	18146	12618	2287	66250	35.8	130	35.5

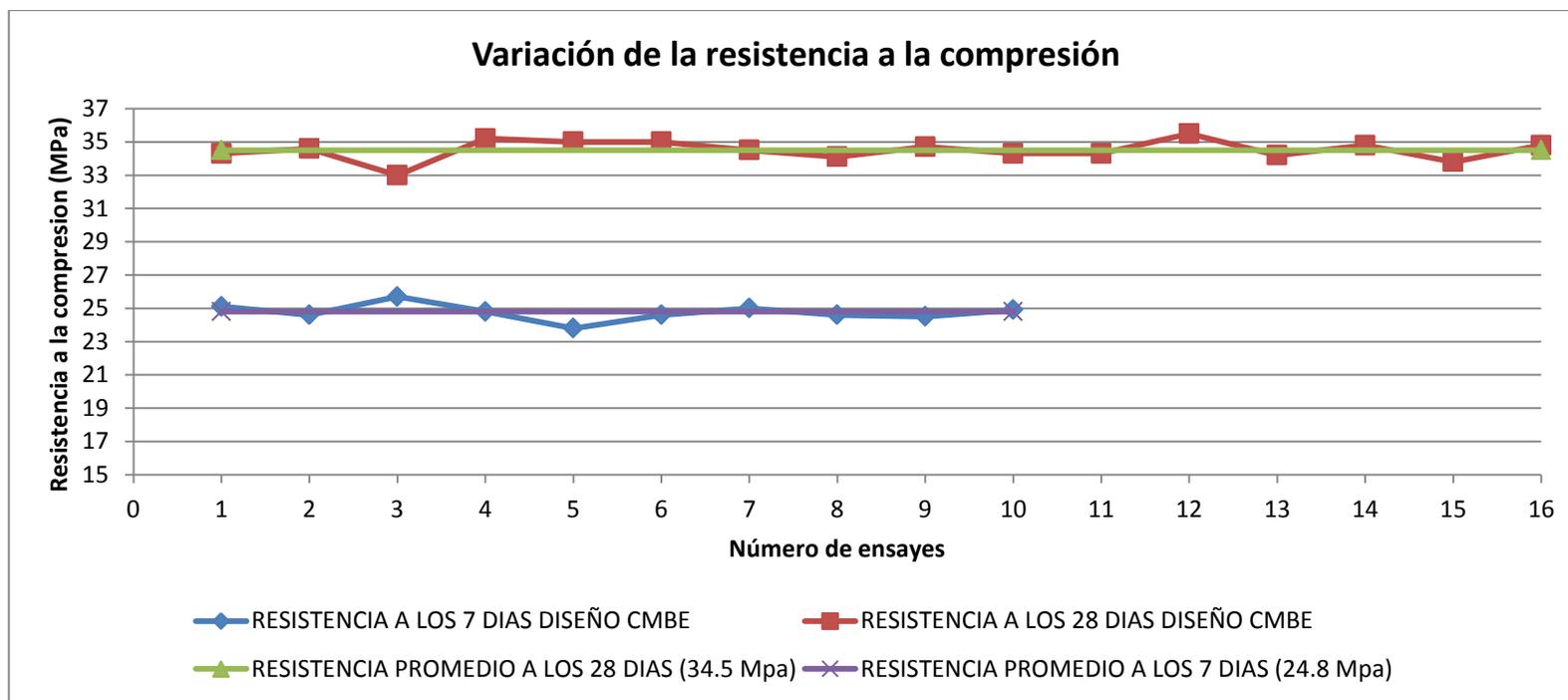
24	17908	12605	2315	64250	35.2	128	
17	17908	12627	2319	62500	34.2	124	34.2
26	18627	12785	2250	64750	34.1	124	
27	17671	12425	2313	62000	34.4	125	34.8
28	18385	12656	2257	66000	35.2	128	
29	17908	12442	2293	65000	35.6	129	33.8
30	18385	12631	2260	60000	32.0	116	
31	17908	12451	2280	63250	34.6	126	34.8
32	18146	12606	2278	64750	35.0	127	
Promedio					34.5	125	34.5

Fuente: Los autores.

** Los valores pertenecientes a estos especímenes corresponden a cilindros de 3 × 6 pulgadas.*

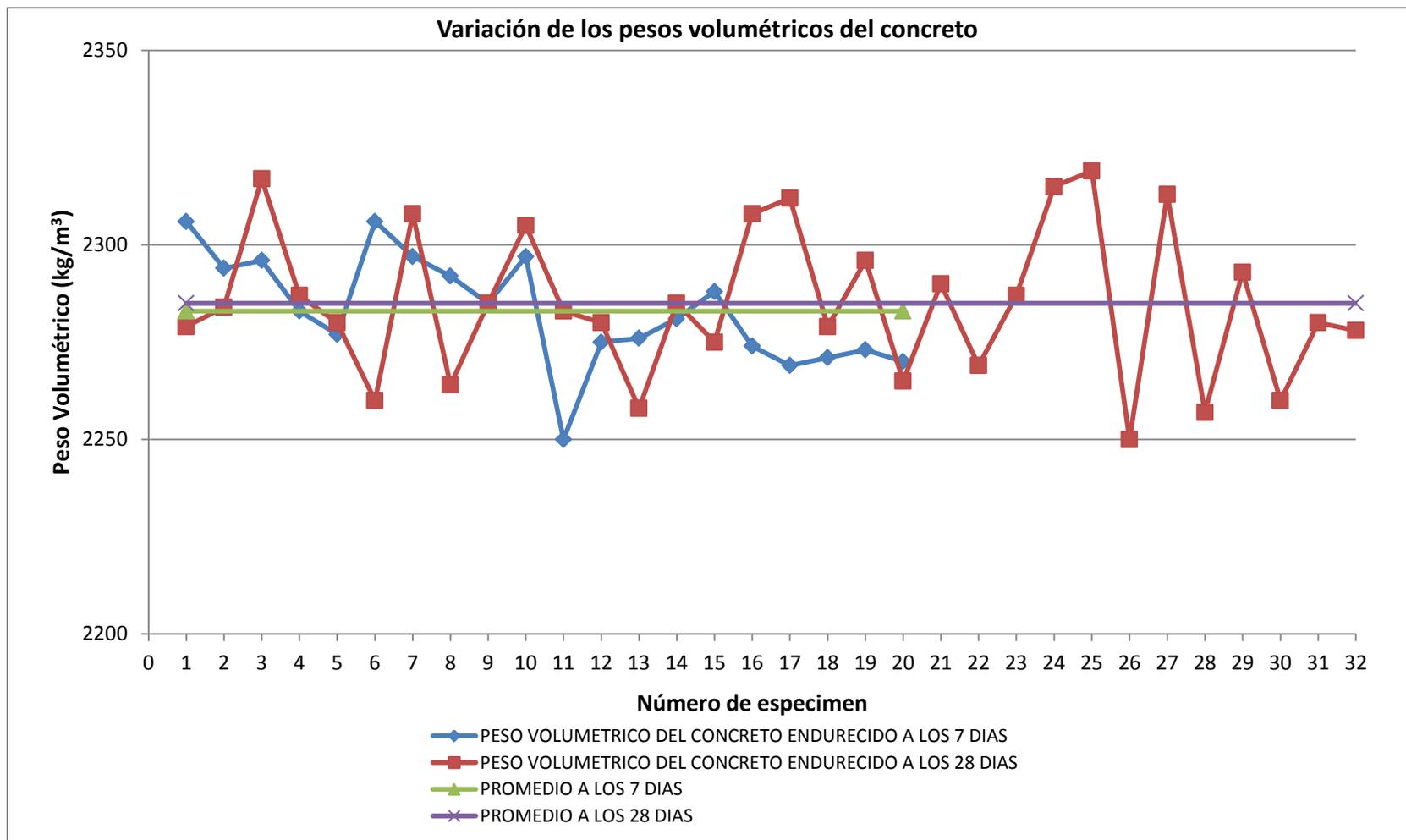
En la figura N° 5.18 se presentan los gráficos de resistencia a compresión de los especímenes ensayados a los 7 y 28 días para el diseño CMBE (75% arena las cañas - 25% arena Tihuapa), así también en la figura N° 5.19 se muestra la variación de los pesos volumétricos a las edades mencionadas anteriormente.

Figura N° 5.18: Variación de la resistencia a compresión diseño CMBE



Fuente: Los autores.

Figura Nº 5.19: Gráfico de la variación del peso volumétrico del concreto en estado endurecido



Fuente: Los autores.

5.3.4.4 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS A LA FLEXION ESPECÍMENES DE CONCRETO MEZCLA “CMBE”, (A/C = 0.48; 75% A. LAS CAÑAS - 25% A. LAVADA INDUSTRIALMENTE).

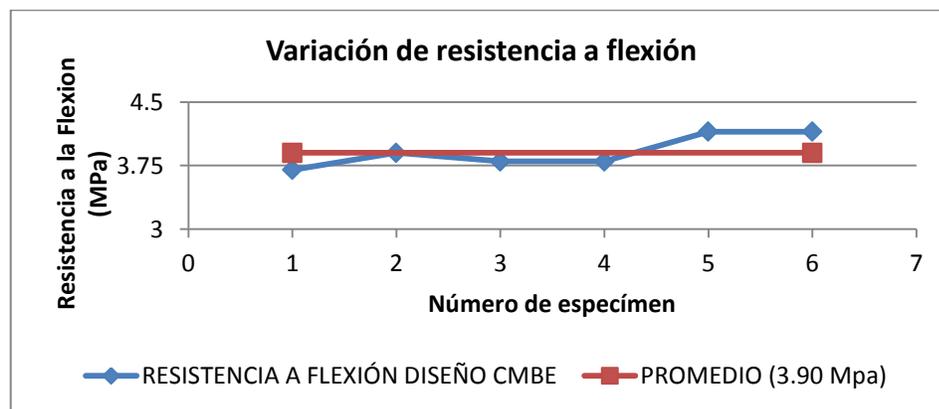
Se presentan a continuación, en la tabla N° 5.20, los resultados del ensayo de resistencia a la flexión para los 3 pares de especímenes de concreto para este diseño de mezcla; a la edad de 28 días.

Tabla N° 5.20: Resistencia a la flexión de viguetas

VIGA N°	EDAD (días)	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)	Carga (Kg)	Módulo de ruptura, Mpa,(kg/cm ²)
1	28	450	151	152	2900	3.70 (38)
2	28	450	152	151	3100	3.90 (40)
3	28	450	154	155	3150	3.80 (39)
4	28	450	154	154	3150	3.80 (39)
5	28	450	148	150	3100	4.15 (42)
6	28	450	150	154	3250	4.15 (42)
PROMEDIO						3.90 (40)

Fuente: Los autores.

Figura N° 5.20: Grafico de variación de resistencia a la flexión, diseño CMBE.



Fuente: Los autores.

5.3.4.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS AL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO, DISEÑO “CMBE”.

Para el diseño CMBE que corresponde a la combinación de agregado fino 75% arena natural del río Las Cañas - 25% arena natural lavada industrialmente presentaron resultados de resistencia a la compresión a los 7 días (ver tabla N° 5.18) que se encontraron en un rango de 23.3 a 26.2 MPa con un promedio de 24.8 MPa (ver figura N° 5.18), a lo que corresponde un 90% de $f'c$. A la edad de 28 días los resultados de resistencia a la compresión para el mismo diseño (ver tabla N° 5.19), presentaron valores en un rango de 32.0 a 35.8 MPa (todos por encima del valor de $f'c$ de 27.5MPa) presentando un promedio de 34.5 MPa (ver figura N° 5.18), a lo que corresponde un 125% de $f'c$, obteniéndose a esta edad de los especímenes una ganancia de resistencia de 25% mayor a la esperada.

Los resultados de los pesos volumétricos obtenidos para los especímenes cilíndricos presentaron un rango que oscila de 2250 a 2319 kg/m³ con un valor promedio de 2284 kg/m³ (ver figura N° 5.19).

En cuanto a los resultados de resistencia a la flexión obtenidos únicamente a los 28 días (ver tabla N° 5.20 y figura N° 5.20), las viguetas presentaron valores de módulo de ruptura entre 3.70 - 4.50 MPa (38 - 42 kg/cm²); los cuales nos indican el buen comportamiento que tendría este concreto trabajando a flexión.

5.5 COMPARACIÓN DE RESULTADOS.

5.5.1 RESULTADOS PROMEDIOS DE LOS DISEÑOS EN LOS ENSAYOS AL CONCRETO EN ESTADO FRESCO.

A continuación se presenta la tabla N° 5.21, en la cual es posible comparar los resultados entre los diferentes diseños en los cuales se presentan los promedios obtenidos para cada uno en los ensayos al concreto en estado fresco.

Tabla N° 5.21: Promedio de los ensayos al concreto en estado fresco.

DISEÑO	Revenimiento (mm). 100mm ± 25 mm	Temperatura (°C)	Peso Volumétrico (kg/m ³)	Contenido de aire (%)	Relación A/C
AN3	110	30.5	2165	1.9	0.50
ANLI3	125	29.5	2269	1.5	
CMBB	90	28.0	2259	1.3	0.48
CMBE	85	28.0	2207	1.6	

Fuente: Los autores.

5.5.1.1 ENSAYO DE REVENIMIENTO.

Los resultados de los ensayos de revenimiento se encuentran dentro de los límites esperados de 3 a 5 pulgadas o 75 a 125 milímetros (ver tabla 5.21), dichos valores son característicos de mezclas con una consistencia plástica la cual es requerida a la hora de colar gran cantidad de elementos estructurales de

concreto reforzado. Las mezclas que presentaron menores revenimientos fueron las elaboradas con combinación de agregado fino, en las cuales la relación A/C empleada fué de 0.48, lo cual tiene sentido puesto que esta relación A/C es menor que la utilizada en los diseños que comprenden en su totalidad un solo tipo de agregado fino cuyo valor es de 0.50.

Cabe mencionar que durante la realización de las mezclas preliminares muchas de estas no cumplieron con el revenimiento especificado, presentando muchas veces una consistencia de tipo cortante, teniendo un aspecto áspero y con poca cohesión; producto de estos resultados se hizo necesario hacer ajustes en los diseños de las mezclas para poder así cumplir con los requerimientos establecidos, no obstante, se pudo observar que es importante considerar que el valor de revenimiento puede verse afectado no solo por el contenido de agua de la mezcla sino también por las condiciones del ambiente a la hora de la elaboración del concreto tales como la baja humedad relativa, las altas temperaturas, las altas velocidades del viento, entre otros.

5.5.1.2 ENSAYO DE TEMPERATURA.

El ensayo de temperatura se realizó según la norma ASTM C-1064. Los resultados que se obtuvieron se encuentran debajo del límite indicado en la norma ASTM C-94 de 32°C como máximo; se presenta en la tabla N^o 5.22 los

promedios correspondientes a cada diseño, para poder realizar las comparaciones respectivas.

Es importante destacar que este parámetro es influenciado por la temperatura presente en el ambiente al momento de la elaboración de las mezclas de concreto, ya que se esperaba que las elaboradas con una menor relación A/C, es decir, los diseños CMBB (75% arena natural lavada industrialmente - 25% arena natural) y CMBE (25% arena natural lavada industrialmente - 75% arena natural) presentaran una mayor temperatura del concreto fresco debido a su mayor cuantía de cemento, lo cual no resultó de esta manera debido a las condiciones del tiempo⁴⁰ cuando se elaboraron estas mezclas.

Tabla N° 5.22: Promedios de temperatura del concreto fresco para cada diseño

DISEÑO	TEMPERATURA PROMEDIO (°C)	RELACIÓN A/C
AN3	30.5	0.50
ANLI3	29.5	
CMBB	28.0	0.48
CMBE	28.0	

Fuente: Los autores.

⁴⁰ Al momento de realizar estas mezclas las condiciones del tiempo eran nubladas y con probabilidades de lluvia.

5.5.1.3 ENSAYO DE PESO VOLUMÉTRICO DEL CONCRETO FRESCO.

En la tabla de resultados (ver tabla N^o 5.23), se pueden observar los valores obtenidos de este ensayo para cada mezcla, para así ser comparado este parámetro entre un diseño y otro reflejando que las mezclas relativamente más densas eran aquellas en las que como agregado fino empleaban en su totalidad o en su mayoría la arena natural lavada industrialmente del río Tihuapa, de la cual se conoce su origen basáltico. Estas mezclas presentaron en promedio un 4.8% y 2.4% de peso volumétrico del concreto fresco más que la mezcla elaborada con un 100% de arena natural sin tratamiento y que la combinación CMBE respectivamente. Ahora bien si comparamos los resultados del diseño AN3 con los del diseño CMBE podemos observar que en esta combinación, al intercambiar un 25% de arena natural del río Las Cañas por arena natural lavada industrialmente del río Tihuapa se obtiene un incremento del 1.9% de peso volumétrico; el fenómeno se invierte al intercambiar un 25% de arena lavada industrialmente del río Tihuapa por arena natural del río Las Cañas (diseños ANLI3 y CMBB) donde se reduce el peso volumétrico de las mezclas en un 0.4%. Los resultados obtenidos para este parámetro eran los esperados debido al origen de cada una de las arenas en consideración teniendo en cuenta que la arena del río Tihuapa presentó un peso volumétrico suelto de 1470 kg/m³, mientras que la arena del río las cañas resultó en 1340 kg/m³.

Tabla No 5.23: Promedios de peso volumétrico del concreto fresco para cada diseño

DISEÑO	PESO VOLUMETRICO (kg/m ³)	RELACIÓN A/C
AN3	2165	0.50
ANLI3	2269	
CMBB	2259	0.48
CMBE	2207	

Fuente: Los autores.

5.5.1.4 ENSAYO DE CONTENIDO DE AIRE.

A continuación se presentan en la tabla No 5.24 los resultados obtenidos de contenido de aire para cada diseño, a partir de la cual es posible realizar una comparación de los valores obtenidos.

Si comparamos el diseño AN3 (100% arena Las Cañas) con el ANLI3 (100% arena lavada) podemos observar que las mezclas con 100% arena natural del río Las Cañas incorporan una mayor cuantía de aire atrapado en relación a aquellas elaboradas con 100% arena natural lavada industrialmente; esto es un indicativo que la arena lavada industrialmente reduce la cantidad de aire atrapado en las mezclas. Este fenómeno también tiene lugar cuando se combina una mayor cuantía de arena natural lavada industrialmente del río Tihuapa en relación a la arena natural del río Las Cañas, en donde se obtienen mezclas con menor

cantidad de aire atrapado en comparación con un diseño en el cual se utiliza una mayor cuantía de arena del río Las Cañas.

Según lo descrito anteriormente, podemos decir que mezclas que incorporan una mayor cuantía de arena natural lavada industrialmente producen concretos con menores contenidos de aire atrapado, lo que es un indicativo de un concreto endurecido con mayor resistencia a la compresión.

Tabla No 5.24: Promedios de contenido de aire del concreto fresco para cada diseño

DISEÑO	CONTENIDO DE AIRE PROMEDIO (%)	RELACIÓN A/C
AN3	1.9	0.50
ANLI3	1.5	
CMBB	1.3	0.48
CMBE	1.6	

Fuente: Los autores.

5.5.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EN ESTADO ENDURECIDO DEL CONCRETO.

En este apartado se presentan en la tabla No. 5.25, los resultados promedio del ensayo de resistencia a la compresión para los 25 pares de especímenes de concreto por cada diseño de mezcla; para las edades de 7 y 28 días respectivamente.

5.5.2.1 ANALISIS DE RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO A LOS 7 DÍAS Y 28 DÍAS.

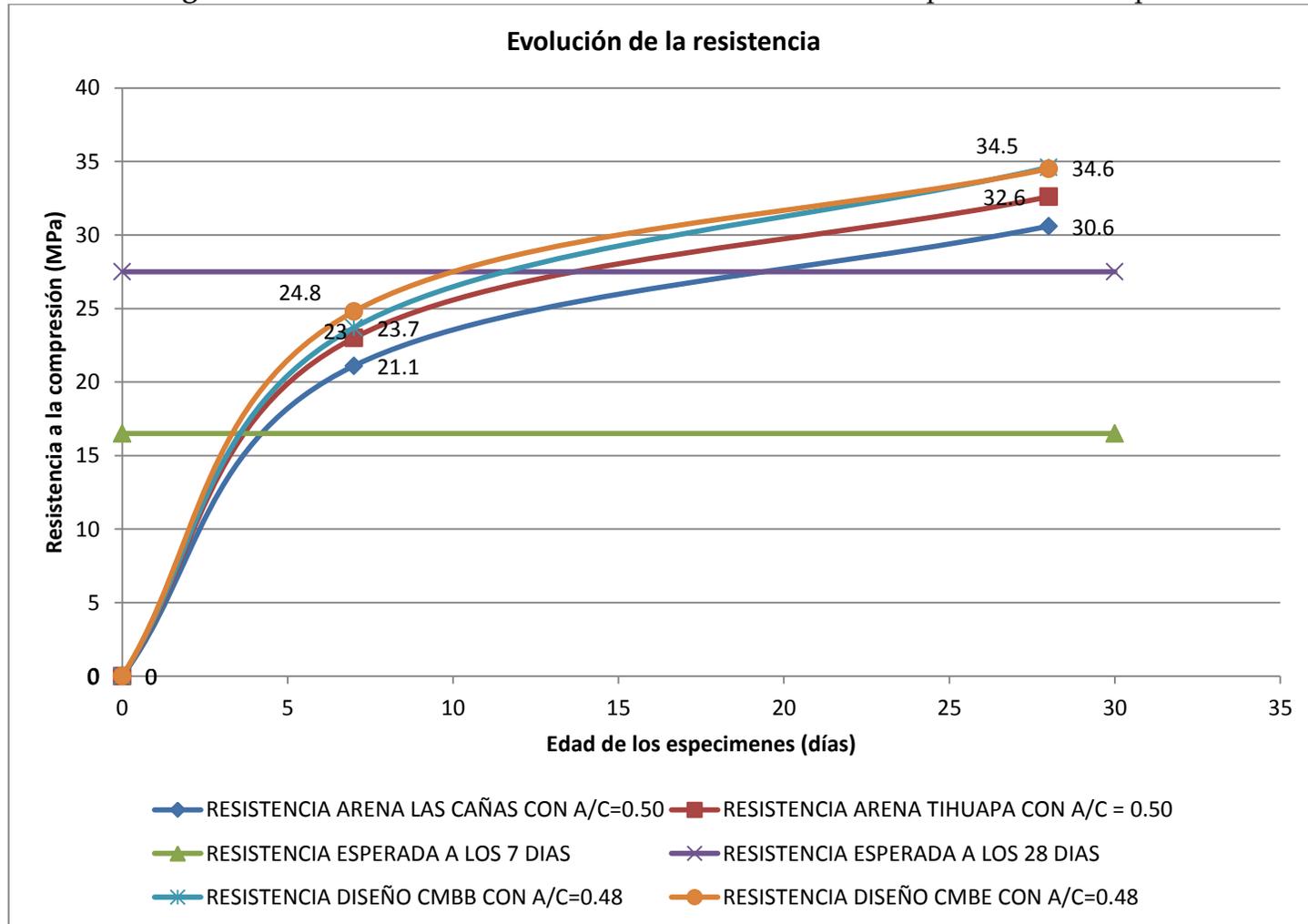
Se presentan a continuación, en la tabla N° 5.25, los resultados promedios de los ensayos de resistencia a la compresión para los especímenes elaborados para cada uno de los diseños, asimismo en la figura N° 5.21 se puede observar la evolución de la resistencia a la compresión de los especímenes con la edad.

Tabla N° 5.25: Resultados promedio de resistencia a compresión para cada diseño de mezcla.

EDAD (días)	RESISTENCIA (Mpa)	% de f'c	RELACIÓN A/C	% DE RESIS. SOBRE f'c A 28 DÍAS
DISEÑO AN3			0.5	12
7	21.1	77		
28	30.6	112		
DISEÑO ANLI 3				
7	23	84	0.5	19
28	32.6	119		
DISEÑO CMBB			0.48	26
7	23.7	86		
28	34.6	126		
DISEÑO CMBE				
7	24.8	90	0.48	25
28	34.5	125		

Fuente: Los autores.

Figura No 5.21: Gráficos de evolución de resistencia a la compresión vrs tiempo.



Es necesario aclarar primeramente que los diseños AN3 (100% arena natural del río Las Cañas) y ANLI3 (100% arena lavada industrialmente) fueron elaborados con una relación A/C de 0.50, mientras los diseños CMBB (75% arena lavada industrialmente - 25% arena natural del río Las Cañas) y CMBE (25% arena lavada industrialmente - 75% arena natural del río Las Cañas) con una relación A/C de 0.48 , motivo por el cual, se presentarán a continuación los respectivos análisis comparativos entre los diseños que comparten una misma relación A/C, los cuales nos permiten realizar una comparación directa entre ellos.

Habiendo mencionado lo anterior, si nos remitimos a la figura N° 5.21 así como al cuadro comparativo de resistencias a la compresión a los 7 y 28 días de los 4 diseños (ver tabla N° 5.25), se puede observar cómo varía el porcentaje de la resistencia a la compresión adquirida a los 7 y 28 días de los 4 diseños definitivos, obteniéndose como resultados a los 7 días, para los diseños ANLI3 (100% arena lavada industrialmente) y AN3 (100% arena natural del río Las Cañas) de 23.0 MPa y 21.1 MPa respectivamente, obteniéndose una ganancia del 9% del diseño con 100% arena lavada industrialmente respecto al elaborado con 100% arena del río Las Cañas; por otro lado las resistencias a compresión a los 28 días resultaron ser 32.6 MPa y 30.6 MPa en el mismo orden, con lo cual se obtuvo una ganancia de resistencia de 6.5% siempre a favor del concreto elaborado con 100% arena lavada industrialmente.

En la combinación de arena natural y arena natural lavada industrialmente, se puede observar que a los 7 días, para el diseño CMBB (75% arena lavada industrialmente - 25% arena natural del río Las Cañas) hubo una ganancia de resistencia de 23.7 MPa; sin embargo, en el caso del diseño CMBE (25% arena lavada industrialmente - 75% arena natural del río Las Cañas) resultó una ganancia de resistencia a la compresión de 24.8 MPa, obteniéndose una ganancia del 4.6% del diseño que incorpora una mayor cuantía de arena del río Las Cañas(CMBE) con respecto al elaborado con una minoría de esta, no obstante, los resultados de resistencia a compresión a los 28 días reflejan que el diseño CMBB (75% arena lavada industrialmente - 25% arena natural del río Las Cañas) presentó una resistencia de 34.6 MPa, mientras que en el diseño CMBE (25% arena lavada industrialmente - 75% arena natural del río Las Cañas), se obtuvo un valor de 34.5 MPa, obteniéndose una ganancia de tan solo 0.30% del diseño con 75% de arena lavada - 25% Las Cañas, en relación con el que incorpora un 75% de arena natural del río las Cañas - 25% arena natural lavada industrialmente.

De lo anterior podemos decir que en cuanto a la resistencia a la compresión, los diseños que incorporan una mayor cuantía de arena natural lavada industrialmente (ANLI3 y CMBB) presentaron valores poco mayores en relación a aquellos elaborados con una mayor cuantía de arena natural del río

Las Cañas (AN3 y CMBE respectivamente), por lo que podemos decir que estas son prácticamente iguales, debido a que ambos tipos de arenas tienen propiedades físicas similares.

5.5.2.2 TIPOS DE FALLA EN LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES DE CONCRETO.

Los tipos de falla presentes en los especímenes que fueron ensayados varían entre los tipos cortante, cónica y columnar; presentándose en su mayoría la de tipo cortante que según la norma ASTM C-39 es una falla tipo 4, como se puede observar en las figuras de Nº 5.22 - Nº 5.44 donde se muestran aquellas más representativas por cada diseño de mezcla.

Tabla Nº 5.23: Tipos de falla en los especímenes de concreto.

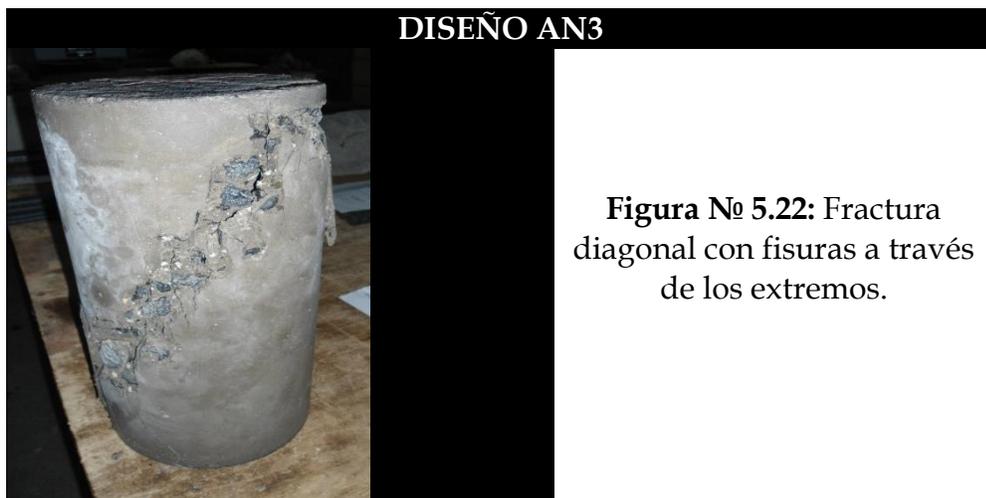




Figura No 5.23: Fractura diagonal con fisuras a través de los extremos.



Figura No 5.24: Fractura diagonal con fisuras a través de los extremos.



Figura No 5.25: Grieta en forma de columna vertical y cono no bien definido.



Figura No 5.26: Cono razonablemente bien formado en un extremo, con menos de 1" (25mm) de grieta a través de las tapas.

DISEÑO ANLI 3



Figura No 5.27: Fractura diagonal con fisuras a través de los extremos.



Figura No 5.28: Grieta en forma de columna vertical y cono no bien definido.



Figura Nº 5.29: Cono semi-formado en un extremo y grieta vertical que atraviesa la tapa.



Figura Nº 5.30: Fractura diagonal con fisuras a través de los extremos



Figura Nº 5.31: Grieta en forma de columna vertical y cono no bien definido.



Figura No 5.32: Grieta vertical en forma columnar.

DISEÑO CMBB



Figura No 5.33: Grieta en forma de columna vertical no bien definido y cono no bien definido.



Figura No 5.34: Fractura diagonal con fisuras a través de los extremos.



Figura Nº 5.35: Fractura diagonal con fisuras a través de los extremos y grieta no bien definida columnar.



Figura Nº 5.36: Fractura en la parte superior



Figura Nº 5.37: Fractura columnar no bien definida con fisuras a través de los extremos.



Figura No 5.38: Cono razonablemente formado en un extremo, con menos de 1" (25mm) de grieta a través de las tapas.

DISEÑO CMBE



Figura No 5.39: Fractura diagonal con fisuras a través de los extremos.

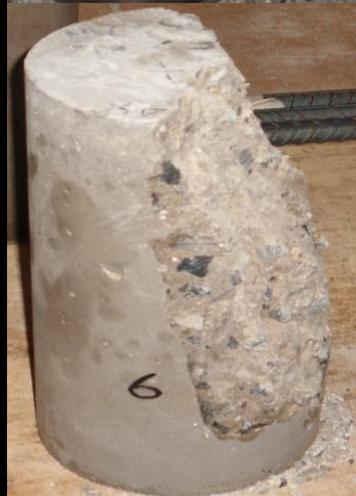


Figura No 5.40: Fractura columnar no bien definida con fisuras a través de los extremos.



Figura No 5.41: Fractura en la parte superior.



Figura No 5.42: Grieta vertical no bien definido que atraviesa la tapa



Figura No 5.43: Fractura diagonal con fisuras a través de los extremos.



Fuente: Los autores.

5.5.2.3 CARTAS DE CONTROL DE CALIDAD.

5.5.2.3.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.

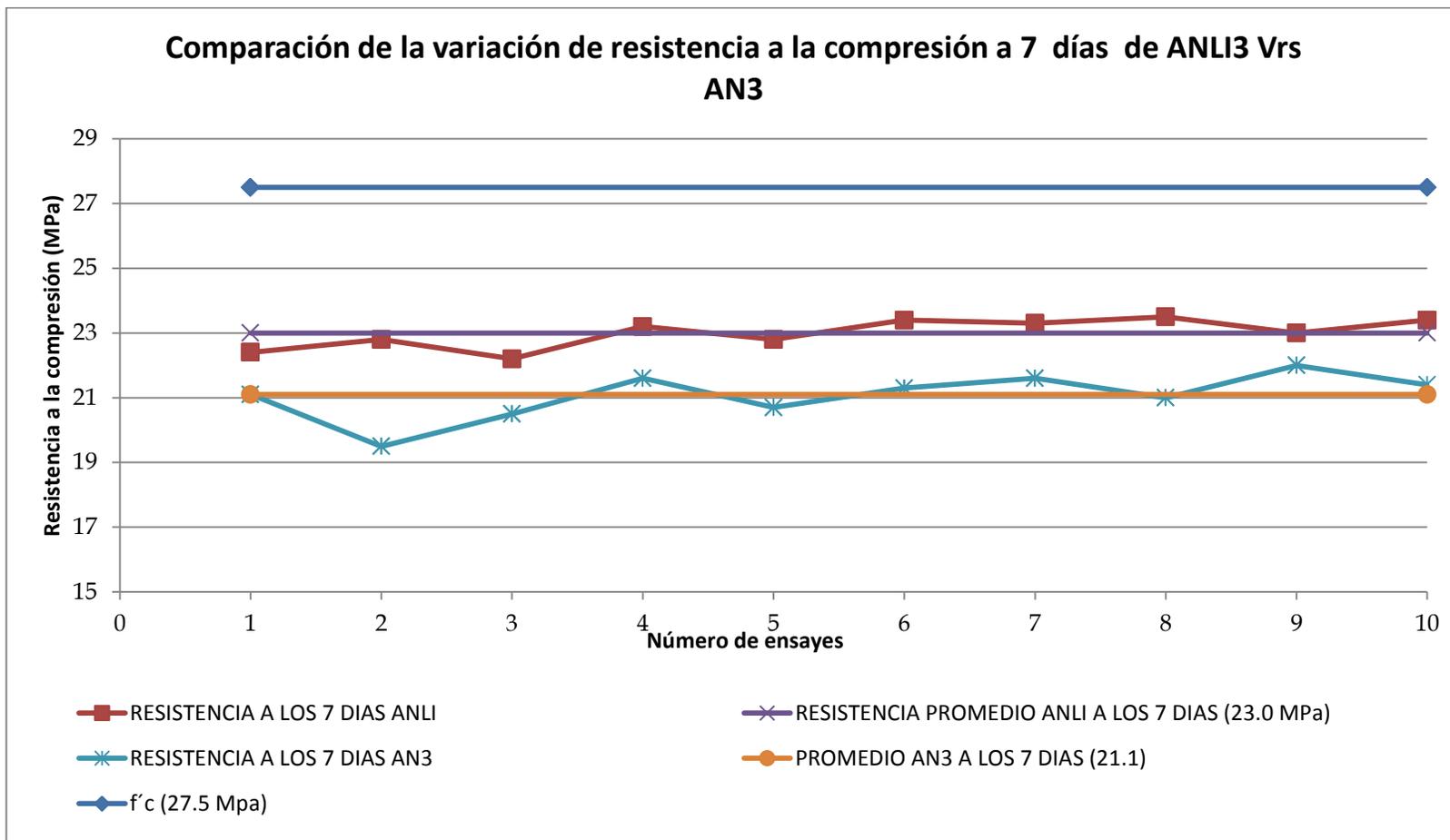
A continuación se presentan, en las figuras N° 5.45, N° 5.46, N° 5.47 y N° 5.48, las cartas de control de calidad con la media aritmética de los resultados de los ensayos de la resistencia a la compresión a 7 y 28 días.

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

En el caso de la combinación de arena natural y arena lavada industrialmente, se presentó un fenómeno no esperado en el cual se pudo observar una resistencia menor en las mezcla CMBB (75% arena lavada industrialmente - 25% arena

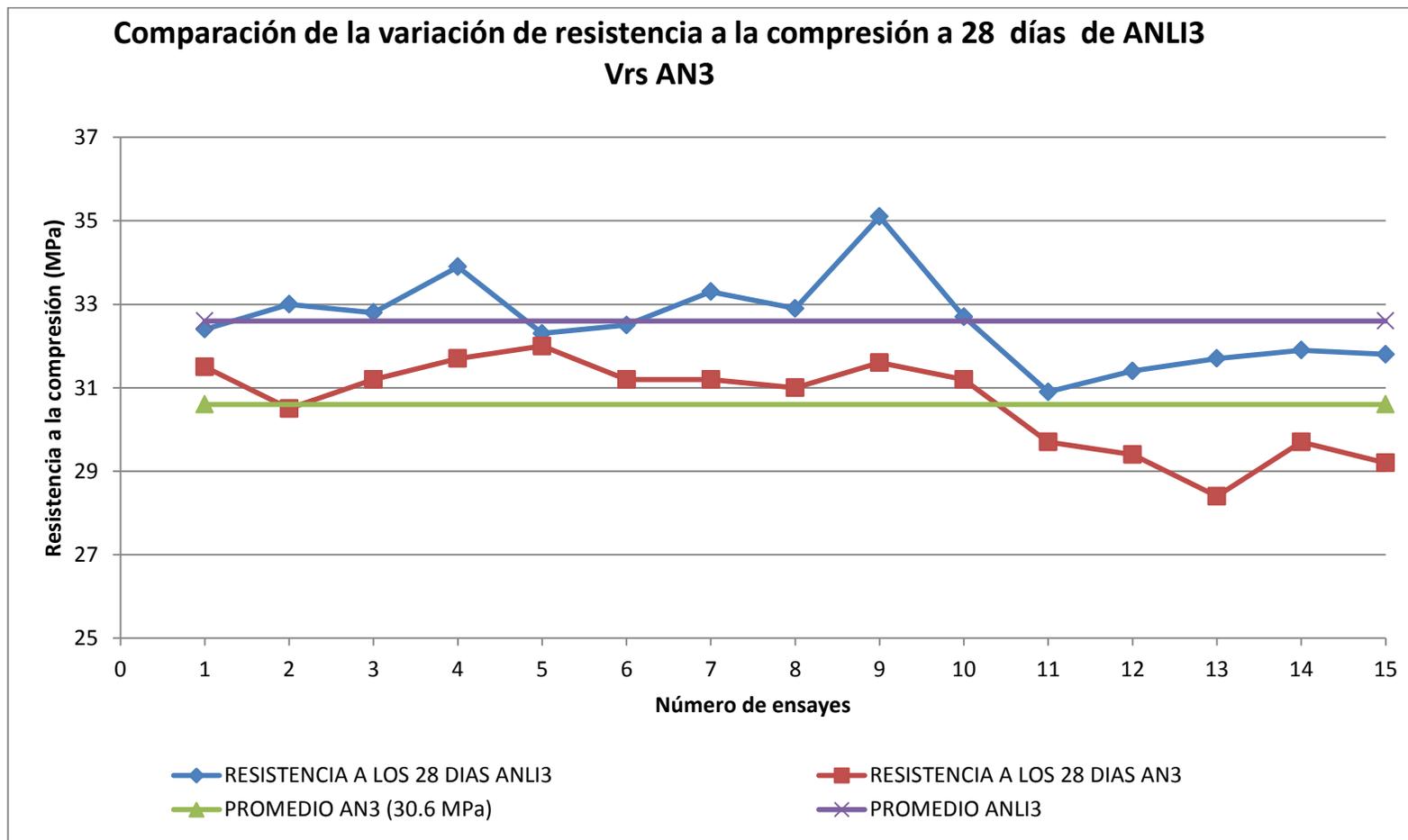
natural) que en la mezcla CMBE (75% arena natural - 25% arena lavada industrialmente), dicho fenómeno fue más evidente a la edad de 7 días.

Figura No 5.45: Comparación de la variación de la Resistencia a la compresión a 7 días de AN3 vrs. ANLI3.



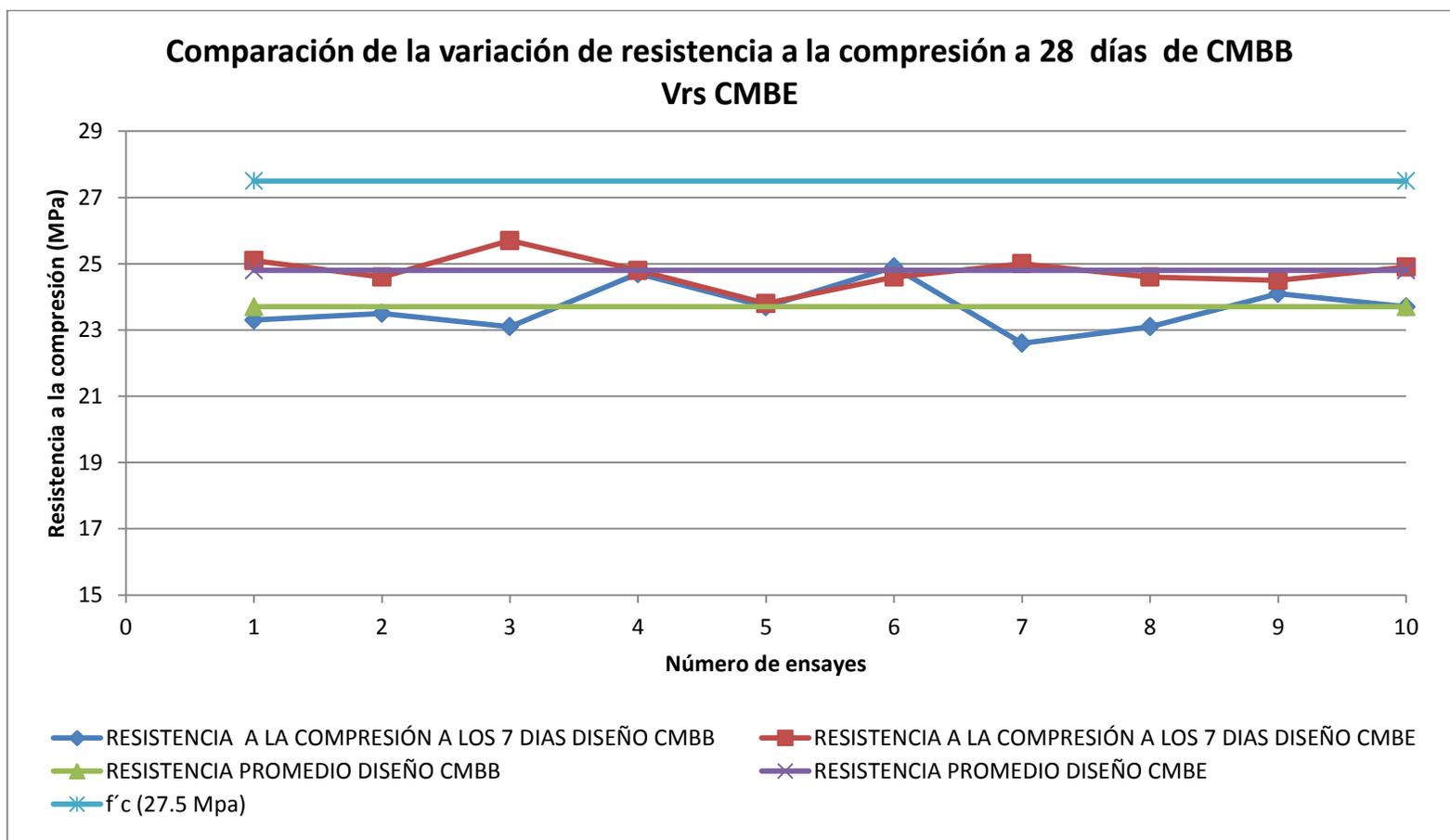
Fuente: Los autores.

Figura No 5.46: Comparación de la variación de la Resistencia a la compresión a 28 días de AN3 vrs. ANLI3.



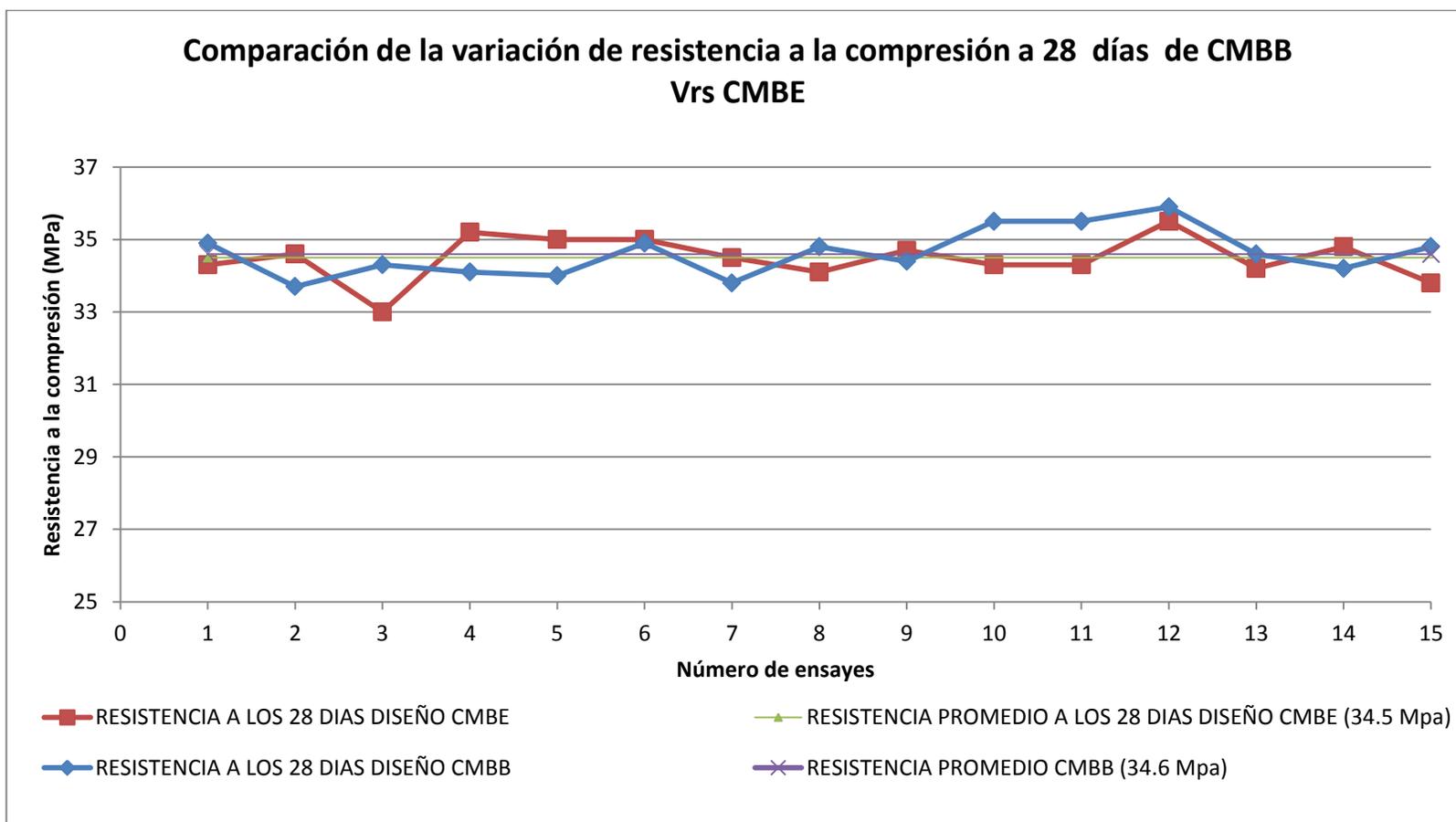
Fuente: Los autores.

Figura No 5.47: Comparación de la variación de la Resistencia a la compresión a 7 días de CMBB Vrs CMBE



Fuente: Los autores.

Figura No 5.48: Comparación de la variación de la Resistencia a la compresión a 28 días de CMBB Vrs CMBE



Fuente: Los autores.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 INTRODUCCION.

En el presente capítulo se muestran las conclusiones y recomendaciones de la investigación, las cuales han sido elaboradas basándonos en los objetivos y resultados de esta investigación.

6.2 CONCLUSIONES.

6.2.1 ENSAYO DE REVENIMIENTO.

- ✘ Para la mezcla elaborada con 100% arena natural del río Las Cañas, los rangos de revenimiento obtenidos oscilaron entre los 110 a 115 mm con un valor promedio de 110 mm; mientras que los rangos de revenimiento obtenidos para la mezcla con 100% arena natural lavada industrialmente fueron de 120 a 125 mm obteniéndose un valor promedio de 125 mm; ambas para una relación A/C de 0.50; concluyéndose, que la mezcla con 100% arena natural del río Las Cañas requiere una mayor demanda de agua debido a las propiedades físicas y mineralógicas que ésta posee (porcentaje de absorción, y presencia de pómez), la cuales resultaron ser mayores en relación con la arena lavada industrialmente.

- ✘ Para la mezcla elaborada con la combinación 75% arena lavada industrialmente - 25% arena Las Cañas, los rangos de revenimientos obtenidos oscilaron entre los 85 y 95 mm, con un valor promedio de 90 mm; mientras que los rangos de revenimiento obtenidos para la mezcla

elaborada con la combinación 25% arena lavada industrialmente - 75% arena Las Cañas resultaron ser de 75 a 90 mm, obteniéndose un valor promedio de 85 mm; ambas para una relación A/C de 0.48; concluyéndose, que la mezcla con una mayor cuantía de arena natural del río Las Cañas requiere una mayor demanda de agua debido a las propiedades físicas y mineralógicas que esta posee (porcentaje de absorción, y presencia de pómez), la cuales resultaron ser mayores en relación con la arena lavada industrialmente.

- ✘ El hecho de que se mezcle la arena natural del río Las Cañas en una mayor cuantía con respecto a la arena lavada industrialmente en la elaboración de concreto se ve reflejado en la disminución del revenimiento; dicho fenómeno se invierte al mezclar una mayor cuantía de arena natural lavada industrialmente con respecto al otro tipo de arena.

6.2.2 ENSAYO DE TEMPERATURA.

- ✘ Para la mezcla elaborada con 100% de arena natural del río Las Cañas, los rangos de temperaturas obtenida oscilaron entre los 29.0 °C y 32.0 °C con un valor promedio de 30.5 °C. En la mezcla elaborada con arena natural lavada industrialmente se obtuvieron valores de temperaturas que se encuentran entre 28.0 °C y 30.5 °C, con un promedio de 29.5°C.

Estas mezclas se elaboraron con una relación A/C de 0.50; por tanto, basándonos en los resultados obtenidos de temperatura para ambas mezclas, se obtuvo una variación de 1°C en sus promedios.

- ✘ Para la mezcla elaborada con la combinación 75% arena lavada industrialmente - 25% arena Las Cañas, los rangos de temperaturas obtenidas oscilaron entre los 27.0 °C y 29.0 °C con un valor promedio de 28.0 °C. En la mezcla elaborada con la combinación 25% arena lavada - industrialmente 75% arena Las Cañas, obteniéndose igualmente un valor promedio de 28.0 °C. Estas mezclas se elaboraron con una relación A/C 0.48.

6.2.3 ENSAYO DEL PESO VOLUMETRICO DEL CONCRETO FRESCO.

- ✘ El rango de valores de pesos volumétricos para las mezclas elaboradas con arena natural osciló entre 2160 a 2172 kg/m³, con un valor promedio de 2165 kg/m³. En las mezclas elaboradas con arena natural lavada industrialmente se obtuvieron valores que se encuentran entre 2261 a 2274 kg/m³, con un promedio de 2269 kg/m³ se puede observar que el concreto fresco elaborado con arena natural lavada industrialmente es más denso en un porcentaje de 4.8% en relación a un concreto elaborado con arena natural.

- ✘ El rango de valores de pesos volumétricos para las mezclas elaboradas con la combinación 75% arena lavada industrialmente - 25% arena Las Cañas, osciló entre 2258 a 2260 kg/m³, con un valor promedio de 2259 kg/m³. En las mezclas elaboradas con la combinación 25% arena lavada industrialmente - 75% arena Las Cañas, se obtuvieron valores que se encuentran entre 2179 y 2223 kg/m³, con un promedio de 2207 kg/m³, donde se pudo observar que el concreto fresco elaborado con mayor cuantía de arena lavada industrialmente es más denso en un 2.4% en relación con el concreto elaborado con una mayor cuantía de arena natural del río Las Cañas.

- ✘ El hecho de que se mezcle la arena natural del río Las Cañas en una mayor cuantía con respecto a la arena lavada industrialmente en la elaboración de concreto se ve reflejado en la disminución del peso volumétrico en estado fresco del mismo; dicho fenómeno se invierte al mezclar una mayor cuantía de arena natural lavada industrialmente con respecto al otro tipo de arena.

6.2.4 CONTENIDO DE AIRE.

- ✘ El rango de valores del contenido de aire para las mezclas elaboradas con 100% arena natural osciló entre 1.7% a 2.1%, con un valor promedio de 1.9%. En las mezclas elaboradas con 100% arena natural lavada

industrialmente se obtuvieron porcentajes del contenido de aire que se encuentran entre 1.4% a 1.6%, con un promedio de 1.5%. Al comparar los resultados obtenidos entre estos diseños se observa que las mezclas elaboradas con arena natural lavada industrialmente reducen el contenido de aire atrapado en relación con las elaboradas con arena natural del río Las Cañas presentando una variación de 0.4% aproximadamente.

- ✘ El rango de valores del contenido de aire para las mezclas elaboradas con la combinación 75% arena lavada industrialmente - 25% arena Las Cañas osciló entre 1.2% a 1.4%, con un valor promedio de 1.3%. En las mezclas elaboradas con la combinación 25% arena lavada industrialmente 75% arena Las Cañas se obtuvieron porcentajes del contenido de aire que se encuentran entre 1.5% a 1.7%, con un promedio de 1.6%. Al comparar los resultados obtenidos entre estos diseños se observa, que las mezclas elaboradas con una mayor cuantía de arena natural lavada industrialmente reducen el contenido de aire atrapada en la mezcla con relación a las elaboradas con una mayor cuantía de arena natural del río Las Cañas.

6.2.5 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.

- ✘ La resistencia a la compresión a 28 días de los especímenes elaborados en el diseño utilizando 100% arena natural del río Las Cañas presentó valores en el rango de 28.0 a 32.7 MPa, con un valor promedio de 30.6 MPa; asimismo, la resistencia a la compresión obtenida a los 28 días de los especímenes elaborados en el diseño empleando 100% arena lavada industrialmente presentó valores en el rango de 28.9 a 35.3 MPa con un valor promedio de 32.6 MPa. Concluyendo que realizando mezclas con un 100% de arena natural lavada industrialmente se obtiene una ganancia de resistencia a la compresión de 6.5% con respecto a las mezclas empleando 100% arena natural del río Las Cañas, ambas para una relación A/C de 0.50.

- ✘ La resistencia a la compresión a 28 días de los especímenes elaborados en el diseño utilizando 75% arena natural lavada industrialmente - 25% arena natural del río Las Cañas presentó valores en el rango de 33.1 a 36.7 MPa con un valor promedio de 34.6 MPa; asimismo, la resistencia a la compresión obtenida a los 28 días de los especímenes elaborados en el diseño empleando 75% arena natural del río Las Cañas - 25% arena lavada industrialmente presentó valores en el rango de 32.0 a 35.8 MPa, con un valor promedio de 34.5MPa. Concluyéndose que éstas mezclas

presentan el mismo comportamiento en cuanto a la ganancia de resistencia para una relación A/C de 0.48.

6.2.6 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN.

- ✘ La resistencia a la flexión a 28 días de los especímenes elaborados en el diseño utilizando 100% arena natural del río Las Cañas presentó valores de módulo de ruptura en el rango de 3.45 a 4.05 MPa con un valor promedio de 3.70 MPa; asimismo, la resistencia a la flexión obtenida a los 28 días de los especímenes elaborados con el diseño empleando 100% arena lavada industrialmente presentó valores de 3.90 a 4.40 MPa con un valor promedio de 4.18 MPa. Concluyéndose que realizando mezclas con un 100% de arena natural lavada industrialmente se obtiene una ganancia de resistencia a la flexión de 13 % con respecto a las mezclas empleando 100% arena natural del río Las Cañas, ambas para una relación A/C de 0.50.

- ✘ La resistencia a la flexión a 28 días de los especímenes elaborados con el diseño utilizando 75% arena natural lavada industrialmente - 25% arena natural del río Las Cañas presentó valores en el rango de 3.85 a 4.45 MPa con un valor promedio de 4.05 MPa; asimismo, la resistencia a la flexión obtenida a los 28 días de los especímenes elaborados con el diseño empleando 75% arena natural del río Las Cañas - 25% arena lavada

industrialmente presentó valores en el rango de 3.70 a 4.15 MPa con un valor promedio de 3.92MPa. Concluyendose que realizando mezclas con 75% de arena natural lavada industrialmente - 25% arena natural del río Las Cañas se obtiene una ganancia de resistencia a la flexión de 3.3% con respecto a las mezclas empleando 75% arena natural del río Las Cañas - 25% arena natural lavada industrialmente, ambas para una relación A/C de 0.48.

- ✘ Se comprobó en esta investigación que al comparar la resistencia a la compresión de especímenes elaborados con el 100% de cada una de las arenas en estudio no se obtuvo una mayor ganancia de resistencia a la compresión a 28 días de una con respecto a la otra; mientras que en el comportamiento a la flexión la incidencia es marcada, presentando el diseño con 100% arena lavada industrialmente una ganancia de resistencia a la flexión de 13% en relación al diseño elaborado con 100% arena del río Las Cañas.

6.3 RECOMENDACIONES.

- ✘ Realizar un buen muestreo de los agregados a utilizar y asimismo desarrollar cuidadosamente los ensayos a estos para obtener resultados confiables.

- ✘ Al implementar el procedimiento de diseño de mezclas expuesto por el comité ACI 211.1 se debe de tener cuidado de que éste es sólo una guía de diseño de mezclas de concreto de peso normal, por ello se recomienda realizar pruebas previas a las mezclas diseñadas y realizar los ajustes necesarios a las mezclas de concreto.
- ✘ En base a los resultados obtenidos de la variación de la resistencia de las mezclas preliminares, se recomienda la elaboración de una mayor cantidad de especímenes con la finalidad de obtener resultados más representativos del comportamiento del concreto y minimizar significativamente los valores atípicos entre los resultados.
- ✘ Para garantizar una mayor confiabilidad en los resultados de resistencia a la compresión se recomienda refrentar los especímenes, para uniformizar los esfuerzos durante la aplicación de la carga.
- ✘ Para complementar esta investigación se recomienda elaborar combinaciones con estos tipos de agregado fino dejando fija la relación A/C.
- ✘ Con el fin de obtener la variabilidad de las propiedades que presenta la arena a través del tiempo, realizar una investigación para determinar las diferencias que presentaría un concreto elaborado con estas en el tiempo.

- ✘ Se recomienda realizar una investigación, que evalúe el beneficio – costo de las mezclas de concreto elaborado con agregado fino con arena natural en relación a mezclas de concreto con arena natural lavada industrialmente, para estudiar qué ventajas tendría una sobre la otra tanto técnica como económicamente.
- ✘ Se recomienda desarrollar una investigación utilizando los mismos agregados finos, teniendo como variante diferentes épocas del año en las cuales se realice el muestreo de estos, asimismo se recomienda realizar los diseños de mezclas con al menos cuatro combinaciones de agregado fino.
- ✘ Se recomienda realizar un estudio de impacto ambiental del río Las Cañas, con el fin de minimizar la extracción indiscriminada de arena del mismo.

GLOSARIO.

- ✘ **Absorción:** Es el aumento de la masa del agregado debido a la penetración del agua en los poros de las partículas durante el período de tiempo prescrito, pero sin incluir el agua adherida a la superficie exterior de las partículas, expresado como un porcentaje de la masa seca.
- ✘ **Agregado:** Material granular, tal como arena, grava, roca triturada, escoria de alto horno, que se utiliza con un medio cementante para formar concreto de cemento hidráulico o mortero.
- ✘ **Agregado fino:** Agregado que pasa el tamiz de 9.5 mm (3/8 pulg) y que pasa casi en su totalidad el tamiz de 4.75 mm (N° 4) y retenido predominantemente en el tamiz de 75 μ m (N° 200).
- ✘ **Agregado grueso:** Agregado predominantemente retenido en el tamiz de 4.75 mm (No. 4).
- ✘ **Análisis por tamizado:** Es la distribución de los tamaños de partículas de una muestra de partículas o de un sólido granular, cuando se determina por el porcentaje de masa que pasa y se retiene en un set de tamices graduados.
- ✘ **Bachada:** Cantidad de materiales mezclados, que en cada ciclo produce una revolvedora o planta mezcladora.

- ✘ **Cemento hidráulico:** material con características cementantes o aglutinantes que reacciona con agua y es usado para unir entre sí todos los agregados para producir concreto hidráulico.
- ✘ **Componentes del concreto:** son aquellos materiales que en conjunto constituyen el concreto, los cuales básicamente son agregados (arena y grava) y pasta (cemento Portland y agua); los aditivos y adiciones son incluidos en la mezcla como componentes especiales.
- ✘ **Concreto endurecido:** el concreto se encuentra en este estado cuando propiamente comienza la formación del tejido filamentosos producto de la hidratación, o gel de cemento, que endurece la pasta y que a su vez la capacita para aglutinar las partículas de los agregados, dándole resistencia mecánica a la masa del concreto.
- ✘ **Concreto fresco:** Es una mezcla homogénea y fluida de cemento, agregado fino, agregado grueso y agua. La mezcla puede contener aditivos, materiales cementicios, o ambos. Es un material que en pocas horas se transforma y cambia de estado, desde su condición inicial de masa blanda uniforme hasta la de cuerpo rígido tomando la forma del molde en donde se coloca, y después continúa evolucionando para adquirir con el tiempo sus propiedades definitivas.

- ✘ **Consistencia:** es una medida de la trabajabilidad referida a la movilidad y la compactación del concreto, en términos de la apariencia que exhibe al ser manipulada y expresada con base en resultados de alguna prueba específica.
- ✘ **Contenido de aire:** Es el volumen total de vacíos de aire por unidad de volumen de concreto vibrado, expresado como un porcentaje.
- ✘ **Curado:** Procedimiento para mantener en el concreto, los contenidos de humedad y temperatura en condiciones satisfactorias, durante un período definido inmediatamente después de la colocación y acabado, con el propósito que se desarrollen las propiedades deseadas.
- ✘ **Densidad:** Es la masa por unidad de volumen. La densidad del concreto es también conocida como masa volumétrica, unidad de peso o masa unitaria, esta depende de la cantidad y la densidad del agregado, la cantidad de aire atrapado (ocluido) o intencionalmente incluido y las cantidades de agua y cemento.
- ✘ **Densidad aparente:** Es la masa por unidad de volumen de la porción impermeable de las partículas de agregado.
- ✘ **Densidad Bulk o peso unitario:** Masa de un volumen unitario del agregado en bruto, en el cual el volumen incluye el volumen de las

partículas individuales y el volumen de los vacíos entre las partículas.

Expresado en Kg/m³ (lb/pie³).

- ✘ **Grava triturada:** es un producto resultante de una trituración artificial de la grava, donde la mayoría de las partículas poseen por lo menos una cara resultante de la fractura.
- ✘ **Gravedad específica:** la relación entre la densidad de un material a la densidad del agua destilada a una temperatura dada, los valores son adimensionales.
- ✘ **Pómez:** es vidrio altamente vesiculado, generalmente de composiciones intermedias a ácidas con una densidad menor que 1 gr/cm³. Las paredes de las vesículas generalmente están forradas por vidrio traslúcido.
- ✘ **Segregación:** La separación involuntaria de los constituyentes del concreto o las partículas del agregado, causando una falta de uniformidad en su distribución.
- ✘ **Relación agua/cemento (A/C):** La razón de la cantidad de agua en peso, excluyendo solo aquella absorbida por los agregados, a la cantidad en peso de cemento en la pasta aglutinante.

- ✘ **Rendimiento:** Es definido como el volumen del concreto producido por una determinada cantidad de agregados, cemento y agua, medido en peso, normalmente expresado en metros cúbicos o pies cúbicos.
- ✘ **Resistencia a la compresión:** Esfuerzo máximo que una muestra de material puede soportar bajo carga axial.
- ✘ **Revenimiento:** Es la medida de la consistencia del concreto fresco recién mezclado.
- ✘ **Trabajabilidad:** Es aquella propiedad del concreto recién mezclado que determina la facilidad y homogeneidad en que puede ser mezclado, transportado, colocado, compactado y acabado.
- ✘ **Vacíos en agregados:** Volumen unitario de agregado, el espacio entre partículas en una masa de agregado no ocupada por materia mineral sólida.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

COMITÉS:

- ✘ ACI 211.1-91: "Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight and Mass Concrete". (2002)

LIBROS DE TEXTO:

- ✘ Joaquín Porrero; "Leyes básicas para hormigón hecho con arena manufacturada"; Universidad Central de Venezuela.
- ✘ Richard D. Barksdale; "The aggregate handbook"; National Stone, sand and gravel association; Cuarta edición; Estados Unidos. (2001).
- ✘ Steven H. Kosmatka y otros; "Diseño y control de mezclas de concreto"; Portland Cement Association (PCA); Primera edición; México. (2004).

NORMAS:

- ✘ ASTM C29/C29M-97 (2003): Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate.
- ✘ ASTM C33-03: Standard Specification for Concrete Aggregates.
- ✘ ASTM C39/C39M-01: Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.

- ✘ ASTM C40-99: Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete.
- ✘ ASTM C78-02: Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading).
- ✘ ASTM C127-01: Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate.
- ✘ ASTM C128-01: Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate.
- ✘ ASTM C136-01: Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates.
- ✘ ASTM C138/C138M-01a: Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete.
- ✘ ASTM C143/C143M-00: Standard Test Method for Slump of Hydraulic Cement Concrete.
- ✘ ASTM C192/C192M-02: Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory.
- ✘ ASTM C702-98(2003): Standard Practice for Reducing Samples of Aggregate to Testing Size.

- ✘ ASTM C1064/C1064M-01: Standard Test Method for Temperature of Freshly Mixed Portland Cement Concrete.
- ✘ ASTM C1157-02: Standard Performance Specification for Hydraulic Cement.
- ✘ ASTM D75/D75M-09: Standard Practice for Sampling Aggregates.

TRABAJOS DE GRADUACIÓN:

- ✘ Argueta Alvarado, Portillo Vásquez y Sorto Gómez: “Estudio de la calidad de agregados para concreto en las canteras más importantes de El Salvador”; Trabajo de graduación presentado para optar al grado de ingeniero civil en la Universidad de El Salvador (UES), San Salvador, El Salvador. (1998).
- ✘ Laínez Cruz, Martínez Díaz y Velásquez Araujo: “Influencia del uso de microsilíce en las propiedades en estado fresco y endurecido en concreto de alta resistencia”; 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).

OTRAS FUENTES:

- ✘ Misión Geológica Alemana [1967-1971] Mapa Geológico de El Salvador, escala 1:100,000. San Salvador, El Salvador.

SIGLAS.

- ✘ AASHTO American Association of State Highway Officials (Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales).
- ✘ AMSS Área Metropolitana de San Salvador.
- ✘ ASTM American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana de Pruebas y Materiales)
- ✘ ISCYC (Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto)

✘ TBJ Tierra Blanca Joven.

✘ UES Universidad Nacional de El Salvados.

UNIDADES DE MEDIDA

°C: Grados Celsius.

cm: Centímetro.

cm²: Centímetro cuadrado.

cm³ Centímetro cúbico.

g: Gramo.

kg: Kilogramo.

kg/cm²: Kilogramos sobre centímetro cuadrado.

kg/m²: Kilogramos sobre metro cuadrado.

kg/m³: Kilogramos sobre metro cúbico.

MPa: MegaPascales.

m: Metro.

m²: Metro Cuadrado.

m³: Metro Cúbico.

l: litro.

mm: Milímetro.