



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**ESTUDIO Y ANÁLISIS FÍSICO, QUÍMICO, MECÁNICO Y PETROGRÁFICO DE AGREGADOS
PARA CONCRETO ESTRUCTURAL DE LOS BANCOS DE LA TRITURADORA “MORÁN”,
OBTENIDOS EN EL RÍO OSTÚA, Y TRITURADORA “EL CAPULLO”, OBTENIDOS EN EL
RÍO TAMAZULAPA; UBICADOS EN EL MUNICIPIO DE ASUNCIÓN MITA, JUTIAPA**

Sergio Estuardo Villalta García

Asesorado por la Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol

Guatemala, julio de 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO Y ANÁLISIS FÍSICO, QUÍMICO, MECÁNICO Y PETROGRÁFICO DE AGREGADOS
PARA CONCRETO ESTRUCTURAL DE LOS BANCOS DE LA TRITURADORA “MORÁN”
OBTENIDOS EN EL RÍO OSTÚA Y TRITURADORA “EL CAPULLO” OBTENIDOS EN EL RÍO
TAMAZULAPA; UBICADOS EN EL MUNICIPIO DE ASUNCIÓN MITA, JUTIAPA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

SERGIO ESTUARDO VILLALTA GARCÍA

ASESORADO POR LA INGA. DILMA YANET MEJICANOS JOL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, JULIO DE 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Luis Manuel Sandoval Mendoza
EXAMINADOR	Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
EXAMINADOR	Ing. Marco Antonio García Díaz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

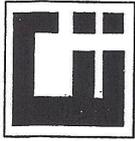
HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

ESTUDIO Y ANÁLISIS FÍSICO, QUÍMICO, MECÁNICO Y PETROGRÁFICO DE AGREGADOS PARA CONCRETO ESTRUCTURAL DE LOS BANCOS DE LA TRITURADORA “MORÁN” OBTENIDOS EN EL RÍO OSTÚA Y TRITURADORA “EL CAPULLO” OBTENIDOS EN EL RÍO TAMAZULAPA; UBICADOS EN EL MUNICIPIO DE ASUNCIÓN MITA, JUTIAPA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha junio de 2010.

Sergio Estuardo Villalta García



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 21884

Guatemala, 15 de Febrero de 2011

Ingeniero José Gabriel Ordoñez Morales
Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil
Área de Materiales y Construcciones Civiles
Coordinador

Ingeniero Ordoñez

Me dirijo a usted para informarle, que he revisado el trabajo de graduación "ESTUDIO Y ANÁLISIS FÍSICO, QUÍMICO, MECÁNICO Y PETROGRÁFICO DE AGREGADOS PARA CONCRETO ESTRUCTURAL DE LOS BANCOS DE LA TRITURADORA "MORAN" OBTENIDOS EN EL RÍO OSTÚA, Y TRITURADORA "EL CAPULLO", OBTENIDOS EN EL RÍO TAMAZULAPA; UBICADOS EN EL MUNICIPIO DE ASUNCIÓN MITA, JUTIAPA" elaborado con el estudiante universitario Sergio Estuardo Villalta García, quien conto con la asesoría de la suscrita.

Considerando que el trabajo desarrollado por el estudiante universitario Villalta García satisface los requisitos exigidos en el reglamento de graduación, por lo cual recomiendo su aprobación.

Atentamente,

"Id y enseñad a todos"


Inga. Civil Dilma Yanet Mejicanos Jol

Col. 5947
ASESORA

Dilma Y. Mejicanos Jol
Ingeniera Civil
Col. 5947



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



Guatemala,
12 de abril de 2011

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director de la Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos
Guatemala

Estimado Ing. Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación ESTUDIO Y ANÁLISIS FÍSICO, QUÍMICO, MECÁNICO Y PETROGRÁFICO DE AGREGADOS PARA CONCRETO ESTRUCTURAL DE LOS BANCOS DE LA TRITURADORA "MORÁN", OBTENIDOS EN EL RÍO OSTÚA, Y TRITURADORA "EL CAPULLO", OBTENIDOS EN EL RÍO TAMAZULAPA; UBICADOS EN EL MUNICIPIO DE ASUNCIÓN MITA, JUTIAPA, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Sergio Estuardo Villalta García, quien contó con la asesoría de la Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol.

Considero que el trabajo realizado por el estudiante Villalta García, satisface los objetivos para los que fue planteado, por lo que recomiendo su aprobación.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAR A TODOS


José Gabriel Ordóñez Morales
Coordinador del Área de Materiales y
Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERIA
AREA DE MATERIALES Y
CONSTRUCCIONES CIVILES
USAC

/bbdeb.

Más de 130 Años de Trabajo Académico y Mejora Continua





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen de la Asesora Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. José Gabriel Ordóñez Morales, al trabajo de graduación del estudiante Sergio Estuardo Villalta García, titulado ESTUDIO Y ANÁLISIS FÍSICO, QUÍMICO, MECÁNICO Y PETROGRÁFICO DE AGREGADOS PARA CONCRETO ESTRUCTURAL DE LOS BANCOS DE LA TRITURADORA "MORÁN", OBTENIDOS EN EL RÍO OSTÚA, Y TRITURADORA "EL CAPULLO", OBTENIDOS EN EL RÍO TAMAZULAPA; UBICADOS EN EL MUNICIPIO DE ASUNCIÓN MITA, JUTIAPA, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

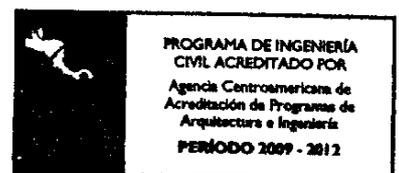

Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, julio de 2011.

/bbdeb.

Más de 130 Años de Trabajo Académico y Mejora Continua



de Guatemala

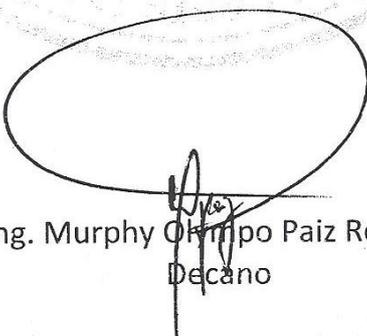


Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 248.2011

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **ESTUDIO Y ANÁLISIS FÍSICO, QUÍMICO, MECÁNICO Y PETROGRÁFICO DE AGREGADOS PARA CONCRETO ESTRUCTURAL DE LOS BANCOS DE LA TRITURADORA "MORÁN", OBTENIDOS EN EL RÍO OSTÚA, Y TRITURADORA "EL CAPULLO", OBTENIDOS EN EL RÍO TAMAZULAPA; UBICADOS EN EL MUNICIPIO DE ASUNCIÓN MITA, JUTIAPA,** presentado por el estudiante universitario Sergio Estuardo Villalta García, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 12 de julio de 2011

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Mis padres	Sergio Villalta y Delmi de Villalta, por su amor y apoyo incondicional a lo largo de toda mi vida.
Mis hermanos y mi sobrina	Claudia, Manuel y Lisa Fernanda, por su amistad, amor y apoyo únicos.
Mis abuelos	Yolanda Alfaro, Angelina Menéndez y Manuel García (q.e.p.d.), por su amor y apoyo incondicional.
Familiares y amigos	Por el apoyo brindado.
Mis amigos y compañeros de la Facultad de Ingeniería	Por su amistad.
La Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala	Por su enorme contribución al servicio y desarrollo del país.

AGRADECIMIENTOS A:

Ingeniera Dilma Yanet Mejicanos Jol	Por su apoyo y asesoramiento en el presente trabajo de graduación.
Personal de la Sección de Concretos del Centro de Investigaciones de Ingeniería	Por su ayuda en la realización de los ensayos de laboratorio.
Ingeniero Julio Luna Aroche	Por su apoyo y asesoramiento en el examen petrográfico de los agregados.
Mi tío Arturo Silva y primo Oscar Barrera	Por su apoyo y gestiones con el personal de las trituradoras en estudio.
Propietarios y personal de las trituradoras Morán y El Capullo	Por la colaboración de las muestras de material, objeto de estudio de este trabajo.
Todas aquellas personas que de alguna manera colaboraron en la elaboración de este trabajo de graduación.	Gracias.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IX
GLOSARIO.....	XIII
RESUMEN.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN.....	XXI
1. GENERALIDADES PARA LA CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS	1
1.1. Definición y características de los agregados.....	1
1.1.1. Agregado fino.....	2
1.1.1. Agregado grueso	4
1.2. Origen geológico de los agregados	6
1.2.1. Tipos de rocas	7
1.2.2. Propiedades físicas de las rocas	8
1.2.3. Clasificación de los minerales formadores de las rocas	10
1.2.4. Generalidades de muestreo para agregado grueso y fino	11
1.3. Tipos de deterioro relacionados con los agregados	13
1.3.1. Reactividad álcali-sílice según Norma ASTM C 289	13

1.3.2.	Reactividad álcali-carbonato según Norma ASTM C 586	15
1.3.3.	Sanidad de los agregados mediante el uso de sulfato de sodio o sulfato de magnesio según Norma ASTM C 88.....	16
1.3.4.	Corrosión del acero de refuerzo	17
2.	MÉTODOS PARA CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS	19
2.1.	Descripción de la metodología general de caracterización	19
2.1.1.	Análisis de las características físicas de los agregados	19
2.1.2.	Análisis de las propiedades mecánicas de los agregados	20
2.1.3.	Análisis de las propiedades químicas, mineralógicas y petrográficas de los agregados.....	20
2.2.	Procedimientos de muestreo para agregados gruesos y finos	21
2.2.1.	Muestreo de un flujo de descarga de agregados (descarga de una banda o contenedor).....	22
2.2.2.	Muestreo desde una banda transportadora.....	22
2.2.3.	Muestreo desde la carretera (bases y sub-bases).....	23
2.2.4.	Muestreo de apilamientos.....	23

2.3.	Metodología para la caracterización física.....	24
2.3.1.	Granulometría para agregado fino y grueso, según Norma ASTM C 136.....	24
2.3.1.1.	Maquinaria y equipo.....	25
2.3.1.2.	Procedimiento	25
	2.3.1.2.1. Agregado fino	25
	2.3.1.2.2. Agregado grueso.....	26
2.3.1.3.	Cálculos	27
2.3.1.4.	Reportar.....	27
2.3.1.5.	Verificar.....	28
2.3.2.	Peso específico y absorción del agregado grueso, según Norma ASTM C 127	28
2.3.2.1.	Maquinaria y equipo.....	29
2.3.2.2.	Procedimiento	29
2.3.2.3.	Cálculos	31
2.3.2.4.	Reportar.....	32
2.3.3.	Peso específico y absorción del agregado fino, según Norma ASTM C 128.	33
2.3.3.1.	Maquinaria y equipo.....	33
2.3.3.2.	Procedimiento	33
2.3.3.3.	Cálculos	34
2.3.3.4.	Reportar.....	35
2.3.4.	Peso unitario en agregados finos y gruesos, según Norma ASTM C 29.....	36

2.3.4.1.	Maquinaria y equipo	36
2.3.4.2.	Procedimiento.....	36
2.3.4.3.	Cálculos.....	38
2.3.4.4.	Reportar	39
2.3.5.	Impurezas orgánicas en agregado fino para concreto, según Norma ASTM C 40.....	39
2.3.5.1.	Maquinaria y equipo	40
2.3.5.2.	Procedimiento.....	40
2.3.5.3.	Reportar	41
2.3.6.	Método de ensayo estándar para sanidad de los agregados mediante el uso de sulfato de sodio, según Norma ASTM C 88.....	41
2.3.6.1.	Significado y uso	41
2.3.6.2.	Solución de sulfato de sodio.....	42
2.3.6.3.	Muestreo.....	43
	2.3.6.3.1. Agregado fino	43
	2.3.6.3.2. Agregado grueso.....	44
2.3.6.4.	Examen cuantitativo	44
2.3.6.5.	Preparación de la muestra de ensayo	45
	2.3.6.5.1. Agregado fino	45
	2.3.6.5.2. Agregado grueso.....	46
2.3.6.6.	Procedimiento.....	46
2.3.6.7.	Número de ciclos.....	47
2.3.6.8.	Reporte.....	48

2.4.	Metodología para la caracterización química.....	48
2.4.1.	Reactividad álcali-sílice potencial, según Norma ASTM C 289.....	48
2.4.1.1.	Selección y preparación de la muestra ..	48
2.4.1.2.	Procedimiento	49
2.4.1.3.	Interpretación de los resultados	50
2.4.2.	Reactividad álcali-carbonato potencial, según Norma ASTM C 586.....	52
2.4.2.1.	Selección y preparación de la muestra ..	52
2.4.2.2.	Procedimiento	52
2.4.2.3.	Interpretación de resultados	53
2.5.	Metodología para la caracterización mecánica.....	55
2.5.1.	Desgaste a la abrasión e impacto para agregado grueso en la máquina de Los Ángeles según Norma ASTM C 131	55
2.5.1.1.	Maquinaria y equipo.....	55
2.5.1.2.	Procedimiento	56
2.5.1.3.	Cálculos	57
2.6.	Metodología para la caracterización petrográfica	57
2.6.1.	Usos de los análisis petrográficos.....	57
2.6.2.	Toma de muestras	58
2.6.3.	Selección de las muestras para el examen	59
2.6.4.	Examen de la grava natural	60
2.6.5.	Exámenes de la arena natural	61

2.6.6.	Cálculos.....	61
2.6.7.	Informes.....	62
3.	LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE BANCOS EN ESTUDIO.....	65
3.1.	Localización.....	66
3.2.	Tipo de banco.....	68
3.2.1.	Rocas y tipos de suelos del departamento de Jutiapa.....	68
3.3.	Ensayos de laboratorio.....	70
4.	ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN FÍSICA, QUÍMICA, MECÁNICA Y PETROGRÁFICA.....	73
4.1.	Resultados de pruebas de caracterización de agregados	73
4.1.1.	Resultados de pruebas de caracterización física	73
4.1.1.1.	Características físicas del agregado fino del Banco 1.....	73
4.1.1.2.	Características físicas del agregado grueso del Banco 1.....	76
4.1.1.3.	Características físicas del agregado fino del Banco 2.....	78
4.1.1.4.	Características físicas del agregado grueso del Banco 2.....	81

4.1.1.5.	Resultados de la prueba de sanidad o bondad de los agregados por sulfato de sodio	84
4.1.2.	Resultados de pruebas de caracterización química	86
4.1.3.	Resultados de pruebas de caracterización mecánica.	87
4.1.4.	Resultados de pruebas de caracterización petrográfica.....	88
4.1.4.1.	Agregado fino del Banco 2.....	88
4.1.4.2.	Agregado grueso del Banco 2.....	92
4.1.4.3.	Agregado fino del Banco 1.....	93
4.1.4.4.	Agregado grueso del Banco 1.....	96
5.	DISEÑO DE MEZCLA PARA CONCRETO ESTRUCTURAL.....	97
5.1.	Diseño de mezcla con agregados del Banco 1.....	97
5.1.1.	Diseño de concreto con resistencia de 20,68 MPa (210 kgf/cm ²).....	97
5.1.2.	Diseño de concreto con resistencia de 34,47 MPa (352 kgf/cm ²).....	100
5.2.	Diseño de mezcla con agregados del Banco 2.....	103
5.2.1.	Diseño de concreto con resistencia de 20,68 MPa (210 kgf/cm ²).....	103

5.2.2.	Diseño de concreto con resistencia de 34,47 MPa (352 kgf/cm ²)	105
5.3.	Análisis e interpretación de resultados	107
5.3.1.	Comparación entre bancos en estudio	107
CONCLUSIONES		109
RECOMENDACIONES		111
BIBLIOGRAFÍA		113
ANEXOS		115

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	El ciclo geológico de las rocas	7
2.	División entre agregados inocuos y dañinos	51
3.	Mapa de localización de bancos y trituradoras en estudio	67
4.	Curva granulométrica del agregado fino del Banco 1.....	75
5.	Curva granulométrica del agregado grueso del Banco 1.....	77
6.	Curva granulométrica del agregado fino del Banco 2.....	79
7.	Curva granulométrica del agregado grueso del Banco 2.....	82
8.	Distribución de los diferentes tipos de partículas de roca según número de tamiz del agregado fino del Banco 2	91
9.	Contenido promedio de los tipos de roca en el agregado fino del Banco 2	91
10.	Distribución de los diferentes tipos de partículas de roca según número de tamiz del agregado fino del Banco 1	95
11.	Contenido promedio de los tipos de roca en el agregado fino del Banco 1	95
12.	Medida del asentamiento por medio del cono de Abrams.....	98
13.	Gráfica esfuerzo - edad de concreto de 20,68 MPa del Banco 1	100
14.	Gráfica esfuerzo - edad de concreto de 34,47 MPa del Banco 1	102
15.	Gráfica esfuerzo - edad de concreto de 20,68 MPa del Banco 2	105
16.	Gráfica esfuerzo - edad de concreto de 34,47 MPa del Banco 2	107

TABLAS

I.	Límites de granulometría para el agregado fino	2
II.	Clasificación de la arena por su módulo de finura	3
III.	Límites de sustancias deletéreas en agregados finos para concreto	4
IV.	Porcentajes de sustancias dañinas del agregado grueso	5
V.	Tamaño máximo del agregado grueso	6
VI.	Tamaño de las muestras	21
VII.	Tamaño de la muestra a ensayar para obtener granulometría	26
VIII.	Cantidad mínima de la muestra para peso específico	30
IX.	Capacidad del medidor para peso unitario	37
X.	Grado de contaminación en el agregado	41
XI.	Muestra de agregado fino a ensayar con sulfato de sodio	43
XII.	Muestra de agregado grueso a ensayar con sulfato de sodio	44
XIII.	Determinación de la pérdida de material por sulfato de sodio	45
XIV.	Especificaciones para ensayo de abrasión en la máquina de Los Ángeles	56
XV.	Cantidades de material para el análisis petrográfico	59
XVI.	Granulometría agregado fino del Banco 1	74
XVII.	Características físicas del agregado fino del Banco 1	74
XVIII.	Granulometría del agregado grueso del Banco 1	76
XIX.	Características físicas del agregado grueso del Banco 1	77
XX.	Granulometría del agregado fino del Banco 2	78
XXI.	Características físicas del agregado fino del Banco 2	79
XXII.	Comparación de características físicas entre Banco 1 y 2	80
XXIII.	Granulometría del agregado grueso del Banco 2	81
XXIV.	Características físicas del agregado grueso del Banco 2	81

XXV.	Porcentaje de desgaste por sulfato de sodio en agregado fino ...	85
XXVI.	Porcentaje de desgaste por sulfato de sodio en agregado grueso.....	85
XXVII.	Porcentaje de desgaste por abrasión del agregado grueso.....	87
XXVIII.	Conteo de los tipos de partículas que componen el agregado fino del Banco 2	88
XXIX.	Porcentaje de partículas que componen el agregado fino por tamiz del Banco 2	89
XXX.	Propiedades físicas y mecánicas de la Andesita	90
XXXI.	Conteo de los tipos de partículas que componen el agregado fino del Banco 1	93
XXXII.	Porcentaje de partículas que componen el agregado fino por tamiz del Banco 1	94
XXXIII.	Proporciones en peso y volumen a utilizar en mezcla de concreto de 20,68 MPa del Banco 1	99
XXXIV.	Resistencia f'c promedio por edad para concreto de 20,68 MPa del Banco 1.....	99
XXXV.	Proporciones en peso y volumen a utilizar en mezcla de concreto de 34,47 MPa del Banco 1	101
XXXVI.	Resistencia f'c promedio por edad para concreto de 34,47 MPa del Banco 1.....	102
XXXVII.	Proporciones en peso y volumen a utilizar en mezcla de concreto de 20,68 MPa del Banco 2	104
XXXVIII.	Resistencia f'c promedio por edad para concreto de 20,68 MPa del Banco 2.....	104
XXXIX.	Proporciones en peso y volumen a utilizar en mezcla de concreto de 34,47 MPa del Banco 2	106
XL.	Resistencia f'c promedio por edad para concreto de 34,47 MPa del Banco 2.....	106

GLOSARIO

Álcalis	Óxidos, hidróxidos y carbonatos de los metales alcalinos. Se forman al contacto con el agua. En el cemento Portland estos elementos alcalinos son el sodio y el potasio.
Andesita	Roca ígnea volcánica de composición intermedia. Su nombre proviene de la cordillera de los Andes, se encuentra en los volcanes de las masas continentales, sobre todo en las zonas donde se están formando cordilleras. Su composición mineral comprende generalmente plagioclasa, piroxeno y/u hornablenda.
Brecha	Roca sedimentaria de grano grueso. Formada por trozos angulosos de una roca dura, englobados en una matriz de grano medio y cementados por calcita o sílice.
Cuarzo	Mineral formado por la sílice, su fórmula química es SiO_2 , de fractura concoidea, brillo vítreo, incoloro cuando es puro, y de color que varía según las sustancias con que está mezclado. Tan duro que raya el acero. Es el mineral más abundante y frecuente de la corteza terrestre.

Hornablenda	Grupo de minerales perteneciente a los silicatos ó aluminosilicatos. La hornablenda forma parte de la composición de muchas rocas. Mineral entre translúcido y casi opaco, tiene colores que van del verde claro al verde oscuro y al negro. De brillo vítreo.
Lignito	Carbón mineral que se forma por compresión de la turba, convirtiéndose en una sustancia desmenuzable. Su composición es 60 a 75% de carbono, 20 a 30% de oxígeno y 5,5% de hidrógeno.
Limo	Material suelto con una granulometría comprendida entre la arena fina y la arcilla. Es un sedimento formados por fragmentos de diferentes rocas, transportado en suspensión por los ríos y por el viento. Para que se clasifique como tal, el diámetro de las partículas de limo varía de 0,002 mm a 0,06 mm.
Meteorización	Desintegración y descomposición de una roca en la superficie terrestre o próxima a ella como consecuencia de su exposición a los agentes atmosféricos, con la participación de agentes biológicos.

Mortero	Mezcla de aglomerantes y aglomerados. Los más comunes son los de cemento y están compuestos por cemento, agregado fino y agua. Generalmente, se utilizan para obras de albañilería, como material de agarre, revestimiento de paredes, etc.
Petrogenético	Relativo al proceso geológico de formación de las rocas.
Piroxeno	Grupo de minerales constituyentes de rocas muy extendido. Se encuentran en muchas rocas ígneas y en algunas metamórficas. Además de la sílice pueden contener uno o más de los siguientes elementos: aluminio, hierro, calcio, litio, magnesio, sodio y, a veces, manganeso o titanio.
Plagioclasa	Serie de minerales en los que varía la proporción de sodio y calcio. Contiene cristales columnares o tabulares, de brillo vítreo. De apariencia transparente translúcida, a menudo de color blanco, aunque también pueden ser rosados, verdes o marrones.
Reología	Parte de la física que estudia la relación entre el esfuerzo y la deformación en los materiales que son capaces de fluir.

Sílice

Es un compuesto de silicio y oxígeno. Es uno de los componentes de la arena. Una de las formas en que aparece naturalmente es el cuarzo. El gel de sílice es un desecante, es decir que quita la humedad del lugar en que se encuentra.

Textura porfídica

Textura de las rocas con cristales grandes (fenocristales) en una masa de grano fino.

RESUMEN

En el siguiente trabajo de graduación se propone el estudio y análisis de agregados de dos bancos ubicados en el municipio de Asunción Mita del departamento de Jutiapa, a fin de determinar su calidad y producción de concreto estructural. Para ello se tomaron dos muestras, una de agregado fino y otra de agregado grueso, las cuales fueron llevadas a los laboratorios del Centro de Investigaciones de Ingeniería donde se practicaron los ensayos respectivos para determinar sus propiedades físicas, químicas, mecánicas y mineralógicas.

Estos análisis o ensayos se realizaron en base a las normas que establece la Sociedad Americana para Ensayos y Materiales (ASTM, por sus siglas en inglés), en específico la Norma ASTM C 33: especificación normalizada de agregados para concreto; la cual es considerada como la adecuada para asegurar materiales satisfactorios en la mayoría de los concretos y con la que se pretende estandarizar la calidad de los agregados gruesos y finos, extraídos y utilizados para proyectos de obra civil de baja y alta envergadura en esta región del oriente guatemalteco. Asimismo, en esta norma se especifican los ensayos a utilizar para determinar las características de los agregados que son interés de este trabajo.

Las características físicas se analizaron mediante las Normas ASTM C 136 (Granulometría), C 29 (Peso Unitario), C 127 (Peso específico y absorción para agregado grueso), C 128 (Peso específico y absorción para agregado fino) y C 40 (Impureza orgánica en agregado fino).

Las propiedades mecánicas se establecieron con la Norma ASTM C 131, denominada ensayo de desgaste por abrasión, la cual se aplica solo al agregado grueso. Para los ensayos químicos se empleó la Norma ASTM C 289: “Método de Ensayo para Reactividad álcali-sílice de agregados”.

Las propiedades mineralógicas se determinaron mediante examen petrográfico según Norma ASTM C 295, Se realizó también un ensayo de sanidad del agregado según la Norma ASTM C 88: “Métodos de ensayo para bondad o sanidad de los agregados mediante el uso de sulfato de sodio”, como complemento a los ensayos físicos a fin de conocer su desgaste cuando son sometidos a la acción del clima.

En base a los resultados obtenidos de estas pruebas y su posterior comparación con la Norma ASTM C 33, se determinó que los agregados grueso y fino de ambos bancos cumplen los criterios establecidos y son aptos para la elaboración de concreto estructural. Sin embargo, se encontró una variación de las características en las muestras de material extraído en diferentes épocas, en específico entre muestras obtenidas en el mes de julio y muestras obtenidas en el mes de octubre del año 2010.

La razón de esta diferencia se encuentra en eventos de la feria titular del municipio de Asunción Mita, que se suscitó de los días 12 a 15 de agosto del mismo año. Esto trajo consigo un aumento considerable de contaminación en los lugares de extracción, lo que vuelve altamente recomendable ser cuidadoso y tomar las medidas pertinentes a la hora de extraer y utilizar material de esta región luego de eventos regionales.

OBJETIVOS

General

Estudiar y analizar física, química, mecánica y petrográficamente los agregados para concreto estructural de los bancos de la trituradora “Moran” obtenidos en el río Ostúa y trituradora “El Capullo” obtenidos en el río Tamazulapa; ubicados en el municipio de Asunción Mita, Jutiapa.

Específicos

1. Obtener, clasificar y comparar con las Normas ASTM C 33, C 289 y C 295, la cantidad y calidad específica de cada una de las variables físicas, químicas, mecánicas y petrográficas de las muestras consistentes de agregados para concreto estructural, en base a ensayos referenciados en esta norma.
2. Definir el comportamiento de agregados de diferentes bancos durante pruebas controladas, para determinar la homogeneidad del material.
3. Contribuir a la formación de un registro y unificación de criterios en el control de calidad de los agregados para concreto de la compleja red de bancos del país.

INTRODUCCIÓN

El concreto se encuentra en todas partes, es superado solo por el agua como el producto de mayor consumo, además le da forma a las estructuras que nos rodean. Es un excelente material para construir edificaciones duraderas y energéticamente eficientes. Su calidad viene dada por la condición de sus componentes, y tanto la procedencia, manipulación y transporte de los mismos hace que un concreto tienda hacia un carácter u otro, o que tanto resista un esfuerzo.

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

En Guatemala actualmente existe una compleja red de procesadores de agregados gruesos y finos para concreto, haciendo de su registro y control de calidad un medio intrincado de lograr. A esto se suma un entorno ilícito, de productores que manejan los bancos de agregados sin ningún control fiscal, de explotación o ambiental; creando asimismo incertidumbre entre los consumidores en cuanto a donde y a que costo obtener los agregados para determinado proyecto de obra civil.

En la realidad, existe una variación pequeña en los precios de venta del producto, ya que la misma por lo general termina siendo la calidad y garantía que ofrecen los productores que llevan un control legal y eficiente.

Así como se crea el problema de llevar un buen registro, tanto de la calidad como en la procedencia de los agregados, se instaura otro agravante que viene a ser con el producto ya terminado y utilizado en obra: la serie de daños que sufre a corto plazo el concreto.

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

Por lo tanto, tomando en cuenta que las propiedades intrínsecas de los agregados pasan a ser las del producto final, el concreto, y que éstas forman la mayor parte del volumen del material; se consideran componentes críticos en el concreto, teniendo un efecto significativo en el comportamiento de las estructuras.

1. GENERALIDADES PARA LA CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS

1.1. Definición y características de los agregados

En las mezclas de concreto estructural, los agregados suelen representar entre el 60 y el 75 por ciento, aproximadamente, del volumen absoluto de todos los componentes; de ahí la notable influencia que las características y propiedades de estos ejercen sobre el concreto endurecido.

Mientras mayor sea el nivel de compactación del concreto, mejor será su resistencia y más económica será su fabricación; por esta razón resulta importante cuidar la granulometría (tamaño de los granos y distribución estadística de estos) de los agregados. También es importante que las características mecánicas sean adecuadas y que los materiales a usar estén libres de impurezas.

Los agregados naturales se clasifican en finos y gruesos. Los agregados finos o arenas pasan por el tamiz Nro. 4 y quedan retenidos en el tamiz Nro. 200, mientras que los agregados gruesos o gravas pasan por el tamiz 6,35 mm y quedan retenidos en el tamiz Nro. 4. Estos últimos presentan mejores propiedades de adherencia con la pasta de cemento cuando son triturados, lo que les dota de aristas (los agregados con superficie redondeada tienen menor adherencia).

1.1.1. Agregado fino

Los agregados finos consisten en arena natural, arena manufacturada o combinación de ambas.

El agregado fino debe estar graduado dentro de los límites que se muestran en la tabla I.

Tabla I. Límites de granulometría para el agregado fino

Tamiz	Porcentaje que pasa
3/8" (9,5 mm)	100
Nro. 4 (4,75 mm)	95 a 100
Nro. 8 (2,36 mm)	80 a 100
Nro. 16 (1,18 mm)	50 a 85
Nro. 30 (600 µm)	25 a 60
Nro. 50 (300 µm)*	5 a 30
Nro. 100 (150 µm)*	0 a 10

*Concreto con agregado fino graduado cerca del mínimo para porcentaje pasando el tamiz de 300 µm (Nro. 50) y 150 µm (Nro. 100) algunas veces tienen dificultades con la trabajabilidad, bombeo o excesivo sangrado. La adición de aire, cemento adicional, o la adición de un aditivo mineral aprobado para suplir la deficiencia de finos, son métodos usados para aliviar cada dificultad.

Fuente: libro anual de Normas ASTM, 2003, Vol. 04.02.

El agregado fino debe tener no más de 45 por ciento retenido entre 2 tamices consecutivos de los indicados en la tabla anterior.

El módulo de finura no debe ser menor de 2,2 ni mayor de 3,2 y si varía más del 0,20 del valor asumido al seleccionar las proporciones para concreto, debe ser rechazado a menos que se verifiquen ajustes adecuados con el objeto de compensar la diferencia de graduación.

Tabla II. **Clasificación de la arena por su módulo de finura**

Tipo de arena	Módulo de finura
Gruesa	2,9 - 3,2
Media	2,2 - 2,9
Fina	1,5 - 2,2
Muy fina	1,5

Fuente: libro anual de Normas ASTM, 2003, Vol. 04.02.

El agregado fino debe estar libre de impurezas orgánicas. A excepción de los límites presentados en la tabla III, los agregados sujetos a la prueba de impurezas orgánicas y que produzcan un color más oscuro que el habitual deberán ser rechazados, a no ser que cumplan alguna de las condiciones siguientes:

- Puede usarse un agregado fino que no haya cumplido con el ensayo, si se comprueba que la decoloración se produjo debido a la presencia de pequeñas cantidades de carbón, lignito o partículas similares.
- Puede usarse un agregado fino que no haya cumplido con el ensayo, si cuando se ensaye, posee propiedades adecuadas para la fabricación de morteros y estos presenten una resistencia a la compresión no menor del 95 % a los 7 días, calculada según la Norma ASTM C 87.

Tabla III. **Límites de sustancias deletéreas en agregados finos para concreto**

Sustancia	Porcentaje máximo de la muestra total
Arcilla y partículas desmenuzables	3,0
Material más fino que el tamiz Nro. 200 (75 µm): Concreto sujeto a abrasión Cualquier otro concreto	3,0* 5,0*
Carbón y lignito: Cuando la apariencia del concreto es de importancia Cualquier otro concreto	0,5 1,0

*En el caso de arena manufacturada, si el material más fino que el tamiz Nro. 200 (75µm) consiste en polvo de fractura, esencialmente libre de arcilla o esquisto, estos límites pueden incrementarse en 5 y 7 % respectivamente.

Fuente: libro anual de Normas ASTM, 2003, Vol. 04.02.

1.1.1. Agregado grueso

El agregado grueso está formado por roca o grava triturada obtenida de fuentes previamente seleccionadas y analizadas en laboratorio, para certificar su calidad. El tamaño mínimo será de 4,76 mm. El agregado grueso debe ser duro, resistente, limpio y sin recubrimiento de materiales extraños o de polvo, los cuales, en caso de presentarse, deberán ser eliminados mediante un procedimiento adecuado, como por ejemplo el lavado.

La forma de las partículas más pequeñas del agregado grueso de roca o grava triturada debe ser generalmente cúbica y estar razonablemente libre de partículas delgadas, planas o alargadas en todos los tamaños.

En general, el agregado grueso deberá estar de acuerdo con la Norma ASTM C 33. Los porcentajes de sustancias dañinas en cada fracción del agregado grueso, en el momento de la descarga en la mezcla de concreto, no deben superar los siguientes límites:

Tabla IV. **Porcentajes de sustancias dañinas del agregado grueso**

Sustancia	Norma	Límite máximo (%)
Material que pasa por el tamiz Nro. 200	ASTM C 117	1
Materiales ligeros	ASTM C 123	1
Grumos de arcilla	ASTM C 142	0,5
Otras sustancias dañinas	-	1
Pérdida por Sulfato de Sodio, a cinco ciclos:		
En agregados para concreto	ASTM C 88	12
En agregados para capas de sub-base y base de pavimentos	AASHTO T 104	15
Pérdida por abrasión en la máquina de Los Ángeles, a 500 revoluciones:		
En agregados para concreto	ASTM C 131	50
En agregados para capas de sub-base y base de pavimentos	AASHTO T 96	50

Fuente: libro anual de Normas ASTM, 2003, Vol. 04.02; Ingenieros consultores de Centro América S.A., DGC, Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes (Libro Azul), Guatemala, diciembre de 2000, Sección 3: Sub-bases y bases.

El agregado grueso debe estar bien graduado entre los límites fino y grueso y debe llegar a la mezcla de concreto separado en tamaños normales cuyas granulometrías se indican en la tabla 2 de la Norma ASTM C 33.

A menos que específicamente se indique lo contrario, el tamaño máximo del agregado que debe usarse en las diferentes partes de la obra será lo descrito en la tabla V.

Tabla V. **Tamaño máximo del agregado grueso**

Tamaño máximo	Uso general
51 mm (2")	Estructuras de concreto en masa: muros, losas y pilares de más de 1 m de espesor.
38 mm (1 1/2")	Muros, losas, vigas, pilares, zapatas, etc. de 30 cm a 1 m de espesor.
19 mm (3/4")	Muros delgados, losas, alcantarillas, zapatas, etc. de menos de 30 cm de espesor.

Fuente: libro anual de Normas ASTM, 2003, Vol. 04.02.

1.2. Origen geológico de los agregados

Las rocas son materiales solidificados de la superficie terrestre, compuesto de uno o varios minerales y también de sustancias amorfas no cristalinas que forman masas de notables dimensiones y geológicamente independientes. Todas las rocas están sometidas a un ciclo petrogenético más o menos completo.

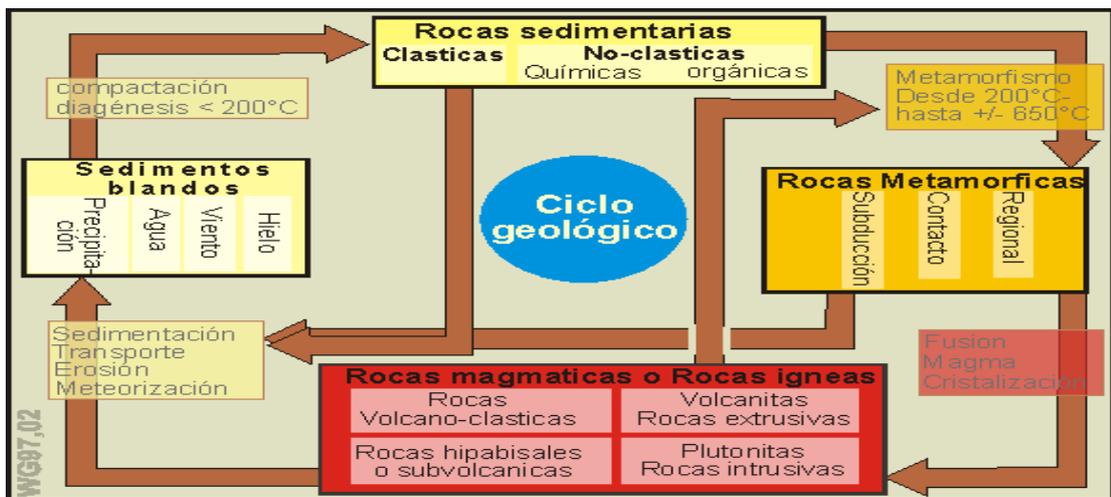
Una primera razón para establecer diferencia entre los agregados se refiere al distinto origen de las rocas que los constituyen. La definición del origen y la composición de las rocas es un asunto útil y necesario, ya que permite inferir ciertos aspectos relacionados con el comportamiento de las mismas al ser utilizadas como agregados en el concreto.

1.2.1. Tipos de rocas

En la naturaleza en general existen tres grupos de rocas: Sedimentos, rocas sedimentarias, rocas ígneas o magmáticas y rocas metamórficas.

Cada grupo principal tiene sus subdivisiones. Una roca puede transferirse a otro tipo de rocas a causa de cambios físicos y/o químicos como la meteorización y la erosión, que pueden afectar una roca ígnea para formar un sedimento. A esto se le suele llamar ciclo geológico y se puede observar en la Figura 1.

Figura 1. El ciclo geológico de las rocas



Fuente: W.Griem & S.Griem-Klee, "Apuntes de Geología General", www.geovirtual2.cl.

Las rocas podemos agruparlas en 3 grandes grupos:

- Rocas Ígneas:** (Magma), son aquellas que tienen su origen en la solidificación, cristalización de un material viscoso caliente y móvil que se llama magma (fundición).

- B. **Rocas Sedimentarias:** son aquellas que se han formado en la superficie de la tierra o en los fondos del agua y que resultan de la acción de los agentes de erosión y transporte o de actividad de deposición de seres vivientes. Los sedimentos son el producto de la meteorización, erosión y transporte. Todas las rocas que afloran superficialmente (puede ser una roca magmática, metamórfica o sedimentaria), sufren la acción de las fuerzas atmosféricas como temperatura, viento, flujo de agua, oxidación. De la destrucción de una roca sólida, más el transporte y la deposición (sedimentación) de estas partículas se forma un sedimento. Ej. Rocas blandas como arena y grava.
- C. **Rocas Metamórficas:** son rocas sedimentarias o ígneas que han sido transformadas por presiones y/o temperaturas muy altas.

1.2.2. Propiedades físicas de las rocas

La textura es la relación de tamaño, forma y arreglo de los minerales. Es el modo de construcción de la roca y describe las relaciones entre los componentes que constituyen la roca. Los parámetros principales de textura pueden observarse a continuación:

Forma de los cristales:

- Idiomorfa: todos los cristales presentan caras propias
- Hipidiomorfa: los cristales presentan algunas caras propias
- Xenomorfa: todos los cristales no presentan caras propias

Granularidad (tamaño de grano):

- Grano muy grueso: >30 mm.
- Grano grueso: 5-30 mm.
- Grano medio: 2-5 mm.
- Grano fino: < 2 mm. (reconocibles)

Tamaño absoluto de cristales (granularidad):

- Macro cristalino: cristales visibles a simple vista
- Afanítico (microscopio), micro cristalino (microscopio), criptocristalino (rayos X)
- Porfídica: fenocristales situados en una masa básica de grano más fino
- Amorfo, vítrea: sin estructura cristalina

Tamaño relativo de cristales:

- Equigranular: todos los cristales son de tamaño similar
- Inequigranular: el tamaño de los cristales varía

Grado cristalino: proporción de cristales y vidrio en la roca

- Holocristalino: compuesta totalmente por cristales
- Hipocristalino: compuesta por vidrio y cristales
- Hialino: compuesta totalmente por vidrio (amorfos). (>90% en volumen de vidrio)

Estructura:

- Distribución y orden de los cristales dentro de la roca
Ejemplo: homogénea, masiva, bandeada, nódulos, etc.

Morfologías especiales:

- Vesículas: cavidades irregulares
- Amígdalas: cavidades rellenas con uno o más minerales
- Inclusiones o enclaves: elementos que se distinguen de la roca albergue por su mineralogía, forma, color, etc.

Índice de color: porcentaje de minerales máficos (ferro-magnesianos)

- Leucocrático: 0-30%
- Melanocrático: 60-90%
- Mesocrático: 30-60%
- Ultramáfico: >90%

1.2.3. Clasificación de los minerales formadores de las rocas

Un 95% del volumen de rocas ígneas está constituido por tan sólo unos pocos minerales: cuarzo, feldespatos, piroxenos, anfíboles, micas, óxidos de hierro, olivino y feldespatoides. La presencia de unos u otros tiene claras implicaciones en la estabilidad, intensidad de alteración y grado de evolución del suelo. Con base en los contenidos que presenten: cuarzo (SiO_2), plagioclasa sódica ($\text{Si}_3\text{AlO}_8\text{Na}$), plagioclasa cálcica ($\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_8\text{Ca}$), feldespato potásico ($\text{Si}_3\text{AlO}_8\text{K}$), etc.; los suelos tienen unas propiedades específicas que les caracteriza.

Las rocas metamórficas se forman por cambios químicos, mineralógicos y estructurales de rocas ígneas y sedimentarias cuando son sometidas a elevadas presiones, altas temperaturas, o ambas. Se caracterizan por presentar una determinada orientación en la disposición de sus minerales, lo que les confiere una estructuración laminar.

La composición en las rocas metamórficas es variable según su origen, y desde el punto de vista del suelo aportan la misma composición mineralógica de la roca inicial de la que proceden.

De gran importancia en la formación de los suelos, las rocas sedimentarias, minoritarias en su proporción respecto a las otras rocas pero de localización muy superficial, proceden de la alteración de otras rocas por la acción de agentes externos que provocan el desprendimiento de partículas, su transporte y posterior deposición. Existen varios tipos: detríticas, cuando su origen es por la compactación y cementación de fragmentos de rocas de tamaños muy variables (conglomerados, areniscas, arcillas); químicas, se forman por la precipitación o sedimentación química de diversas sales (dolomía, caliza, yeso); orgánicas, se generan por la acumulación de restos orgánicos, caparazones, conchas, restos vegetales (lignito, carbón, hulla, antracita).

Para definir el origen geológico y la composición mineralógica de las rocas que integran los agregados, y para hacer una estimación preliminar de su calidad física y química, se acostumbra realizar el examen petrográfico (ASTM C 295).

1.2.4. Generalidades de muestreo para agregado grueso y fino

La toma de muestras debe realizarse por un experto, familiarizado con los requerimientos en muestreo aleatorio de agregados para concreto, debiendo considerarse la localización, la geología y otros datos importantes del sitio donde se sustrajo la muestra.

El muestreo es tan importante como el ensayo, y el encargado de efectuar el muestreo tomará mucha precaución para obtener muestras que exhiban la naturaleza y condición de los materiales los cuales representan.

Las muestras para ensayos de investigación preliminar son obtenidas por la parte responsable en el desarrollo de la fuente potencial. Las muestras de los materiales para control de la producción en la fuente o control del trabajo en el sitio de uso, son obtenidas por el fabricante, contratista u otra parte responsable de realizar el trabajo. Las muestras para ensayos a ser usadas en decisiones de aceptación o rechazo, serán obtenidas por el comprador o su representante autorizado.

La investigación preliminar y muestreo de fuentes potenciales de agregados y tipos, ocupa un lugar muy importante en determinar la disponibilidad y compatibilidad de los constituyentes más grandes e individuales que participan dentro de la construcción. Esto influye en el tipo de construcción desde el punto de vista de economía y gobierno, y el control de material necesario para asegurar la durabilidad de la estructura resultante, desde el punto de vista del agregado. Esta investigación debe efectuarse solamente por una persona responsable, entrenada y con experiencia.

Donde sea practicable, las muestras a ser ensayadas para calidad serán obtenidas del producto terminado. Las muestras del producto terminado, a ser ensayadas para pérdida por abrasión, no deberán estar sujetas a trituración o reducción manual en el tamaño de las partículas en la preparación del ensayo.

A menos que el tamaño del producto terminado sea tal que requiere otra reducción para propósitos de ensayo, el material será inspeccionado para determinar variaciones apreciables. Mientras que el comerciante proveerá el equipo conveniente y necesario para la adecuada inspección y el muestreo.

1.3. Tipos de deterioro relacionados con los agregados

1.3.1. Reactividad álcali-sílice según Norma ASTM C 289

La combinación del cemento con el agua en el seno del concreto genera un medio altamente alcalino donde las partículas de agregado se encuentran inmersas. En estas condiciones, algunos agregados reaccionan químicamente con el medio de contacto, dando lugar a la formación de un gel que, al absorber agua, se expande y crea presiones capaces de desintegrar el concreto. Estas reacciones químicas, denominadas genéricamente álcali-agregado, han sido la causa del deterioro prematuro de importantes estructuras de concreto en diversas partes del mundo.

La reacción álcali-sílice, que es un tipo de reacción álcali-agregado, inicia cuando los hidróxidos alcalinos (NaOH, KOH) presentes en el fluido de poro del concreto atacan la superficie de los minerales silicios en el agregado, formando un gel y ocasionando una alteración de la superficie del agregado, conocida como borde de reacción.

El gel resultante tiene una gran afinidad con el agua y, consecuentemente, una tendencia a incrementar su volumen. El gel expandido ejerce una presión interna que es suficiente para fracturar el concreto. A estos factores se suma un tercero, representado por la humedad, que más bien funge como un agente catalizador de la reacción.

Además hay que tomar en cuenta las proporciones en que se hallan los elementos participantes.

El mayor riesgo que se produzca una reacción deletérea, ocurre cuando se reúnen tres condiciones en el concreto:

- A. El uso de un cemento portland de alto contenido de álcalis (más de 0,60 por ciento expresado como Na_2O); particularmente si el contenido de álcalis en el concreto excede los 3 kg/m³.
- B. El empleo de agregados que contengan rocas y minerales reactivos con los álcalis en las proporciones que resulten críticas para cada tipo de roca o mineral.
- C. La exposición de la estructura de concreto en servicio a un medio de contacto húmedo; principalmente cuando se producen alteraciones de humedecimiento y secado, o disipación de humedad a través del concreto.

Debido a que en ocasiones es imposible sustituir el agregado reactivo porque con frecuencia no resulta económico, es necesario someter a prueba los agregados seleccionados para producir concreto. Se recomienda el análisis de los mismos mediante el método químico ASTM C 289: "Determinación de la reactividad álcali-sílice" para identificar y verificar el carácter reactivo de los agregados con los álcalis.

Este ensayo describe un método químico para determinar la reactividad potencial de un agregado con álcalis, en un concreto elaborado con cemento Portland, de acuerdo con la magnitud de la reacción que ocurre durante 24 horas a 80 °C, entre una solución de hidróxido de sodio y un agregado que ha sido triturado y cernido de forma que pase por un tamiz Nro. 50 y quede retenido en un tamiz Nro. 100.

Reacciones entre una solución de hidróxido de sodio y agregado silíceo han demostrado correlación con el desempeño del agregado en estructuras de concreto, por lo que debe ser usado cuando nuevas fuentes de agregados están siendo evaluadas o la reactividad álcali-sílice puede ocurrir.

Los resultados de este método pueden ser obtenidos rápidamente y, aunque no son completamente fiables en todos los casos, proveen datos valiosos que pueden mostrar la necesidad de obtener información adicional a través de los métodos C 227 y C 295 (método de la barra de mortero y análisis petrográfico, respectivamente).

Este ensayo es aplicable tanto a agregados finos como gruesos; cuando los agregados finos y gruesos provengan del mismo material puede aplicarse para el agregado total.

1.3.2. Reactividad álcali-carbonato según Norma ASTM C 586

Este método de prueba cubre la determinación de las características expansivas de las rocas carbonatadas mientras están sumergidas en una solución de hidróxido de sodio (NaOH) a temperatura controlada. Los cambios de longitud observables que ocurren durante tal inmersión indican el nivel general de reactividad de las rocas.

El método está concebido como provisional más que como una especificación que deba cumplirse y solamente busca suplir información de registros de servicio de agregados, de exámenes petrográficos y otras pruebas.

Debido a que la ASTM C 227 no es apropiada para rocas carbonatadas, debe utilizarse esta norma para evaluar los cambios de volumen en rocas de este tipo, teniendo el inconveniente que al igual que la ASTM C 289, la información no es del todo confiable, por lo que nuevamente la norma recurre a recomendar el análisis petrográfico para un análisis más amplio.

1.3.3. Sanidad de los agregados mediante el uso de sulfato de sodio o sulfato de magnesio según Norma ASTM C 88

Un factor importante de deterioro es el grado de alteración de las características físicas y químicas del agregado debido a procesos de erosión y meteorización (intemperismo). Estas alteraciones provocan un daño en la dureza, densidad, porosidad y composición mineralógica de los agregados, entre otras características, lo cual repercute en la calidad final del concreto.

Por tal motivo, se debe llevar a cabo un estricto control de calidad sobre la sanidad de los agregados. La cual debe ser evaluada mediante pruebas, tales como la ASTM C 88.

Esto es necesario porque, en ocasiones, se puede tener un agregado que esté libre de materiales contaminantes, con una adecuada granulometría, pero cuyo uso no sea recomendable para la fabricación de concreto ya que tarde o temprano provocaría algún daño en la estructura de concreto, como puede ser expansión, reacciones químicas entre la pasta y el agregado, entre otros.

Este método de ensayo cubre la prueba de los agregados para estimar su sanidad cuando son sometidos a la acción del clima en el concreto o en otras aplicaciones. Esto se logra por inmersiones repetidas en soluciones saturadas de sulfato de sodio o sulfato de magnesio, seguido por secado en horno para deshidratar parcial o totalmente la sal depositada en los poros permeables. La fuerza interna de expansión derivada por la rehidratación de la sal por re-inmersión, simula la expansión del agua al refrigerarse. Este método de ensayo proporciona información útil para juzgar la sanidad cuando no se dispone de información adecuada de registros de servicio del material expuesto a condiciones climáticas actuales.

1.3.4. Corrosión del acero de refuerzo

La terminología de la Norma ASTM G15¹ define la corrosión como la reacción química o electroquímica entre un material, usualmente un metal y su medio ambiente, que produce un deterioro del material y de sus propiedades. Para el acero embebido en el concreto, la corrosión da como resultado la formación de óxido que tiene 2 a 4 veces el volumen del acero original y la pérdida de sus óptimas propiedades mecánicas. La corrosión produce además descascarillado y vacíos en la superficie del acero de refuerzo, reduciendo la capacidad resistente como resultado de la reducción de la sección transversal.

El acero en el concreto se encuentra usualmente en condición pasiva, no corroído. Sin embargo, el concreto reforzado con acero es frecuentemente utilizado en ambientes severos donde está presente el agua de mar o las sales de deshielo. Cuando los cloruros se mueven dentro del concreto, provocan la ruptura de la capa pasiva de protección del acero, causando que éste se oxide y se exfolie.

¹ ASTM G15 Terminología estándar relativa a la corrosión y ensayos de corrosión

La carbonatación del concreto es otra causa de la corrosión del acero. Cuando el concreto se carbonata hasta el nivel de la barra de acero, el ambiente normalmente alcalino que protege el acero de la corrosión, es reemplazado por un ambiente más neutral. Bajo estas condiciones el acero no permanece pasivo y comienza una corrosión rápida. El ritmo de corrosión debido al recubrimiento de concreto carbonatado es más lento que la corrosión inducida por cloruros.

Ocasionalmente, la falta de oxígeno que rodea la barra de acero causará que el metal se disuelva, conduciendo a un líquido de pH bajo.

La primera defensa contra la corrosión del acero en el concreto es la calidad del concreto y un recubrimiento suficiente alrededor de las barras de refuerzo. El concreto de calidad tiene una relación agua/mineral cementante (A/C) que es lo suficientemente baja para disminuir la penetración de las sales de cloruro y el desarrollo de la carbonatación. La relación A/C debe ser menor de 0,5 para reducir el ritmo de carbonatación y menor de 0,4 para minimizar la penetración de los cloruros.

2. MÉTODOS PARA CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS

2.1. Descripción de la metodología general de caracterización

En esta sección se presenta la teoría y los procedimientos sobre los cuales se sustenta la caracterización de agregados, con base en las Normas ASTM.

2.1.1. Análisis de las características físicas de los agregados

Los agregados para concreto deben estar formados de partículas duras y compactas (peso específico elevado) de textura y forma adecuada con una buena distribución de tamaños (buena granulometría).

Los agregados suelen estar contaminados con limo, arcilla, humus y otras materias orgánicas. Algunos tienen porcentajes altos de material liviano o de partículas de forma alargada o plana, tales sustancias o partículas defectuosas restan calidad y resistencia al concreto, y las especificaciones fijan los límites permisibles de tolerancia.

Se acepta como norma para determinar una calidad óptima, la especificación ASTM C 33.

2.1.2. Análisis de las propiedades mecánicas de los agregados

En relación a los agregados, la resistencia a ser rayados y la resistencia al desgaste (abrasión) son las propiedades mecánicas que interesa determinar, sobre todo cuando el agregado se usa en pavimentos o aceras.

Para determinar la resistencia al desgaste de los agregados se emplea el ensayo en la máquina de Los Ángeles, de acuerdo con la Norma ASTM C 131.

Este ensayo consiste, básicamente, colocar el agregado dentro de un cilindro rotatorio con una carga de impacto provocada por bolas de acero y hacerlo completar 500 revoluciones en un periodo de tiempo especificado, después del cual se determina el porcentaje de desgaste sufrido. El agregado grueso ensayado a desgaste no deberá mostrar una pérdida mayor del 50 por ciento en peso.

2.1.3. Análisis de las propiedades químicas, mineralógicas y petrográficas de los agregados

Los agregados con alto contenido de sílice pueden producir reacciones dañinas con sustancias alcalinas (Na_2O y K_2O) en un concreto. Estas reacciones pueden ser lentas o tardías, y consisten en la generación de hidróxidos de elementos alcalinos cuando estos entran en contacto con el agua, posteriormente al combinarse con sílice hidratada generan un gel de silicato de sodio hidratado que conlleva un aumento de volumen de hasta el 50%. Este cambio de volumen produce fisuras en los agregados y la matriz de cemento, provocando mal desempeño en la función estructural del concreto y en casos severos puede darse incluso explosiones internas.

Cuando se trata de rocas carbonatadas, la reacción del álcali con los carbonatos produce igualmente un efecto expansivo que provoca microfisuras, generando carbonato de potasio. Las Normas ASTM para determinar la presencia de sustancias y minerales que provocan reacciones con la pasta de cemento Portland, a corto, mediano o largo plazo son: método químico para determinar la reactividad potencial álcali-sílice (C 289), examen petrográfico (C 295) y método para determinar la reactividad potencial álcali-carbonato (C 586).

2.2. Procedimientos de muestreo para agregados gruesos y finos

En la tabla siguiente se muestran las cantidades mínimas de material a tomar para ser ensayados.

Tabla VI. **Tamaño de las muestras**

Tamaño nominal máximo del agregado	Masa mínima aproximada de muestra de campo
Nro. 8 (2,36 mm)	10 kg (25 lb.)
Nro. 4 (4,75 mm)	10 kg (25 lb.)
3/8" (9,5 mm)	10 kg (25 lb.)
1/2" (12,5 mm)	15 kg (35 lb.)
3/4" (19,0 mm)	25 kg (55 lb.)
1" (25,0 mm)	50 kg (110 lb.)
1 1/2" (37,5 mm)	75 kg (165 lb.)
2" (50 mm)	100 kg (220 lb.)
2 1/2" (63 mm)	125 kg (275 lb.)
3" (75 mm)	150 kg (330 lb.)
3 1/2" (90 mm)	175 kg (385 lb.)

Fuente: libro anual de Normas ASTM, 2003, Vol. 04.02.

2.2.1. Muestreo de un flujo de descarga de agregados (descarga de una banda o contenedor)

Seleccionar de la producción las unidades a ser muestreadas por un método aleatorio. Obtener al menos tres porciones aproximadamente iguales, seleccionadas aleatoriamente desde la unidad siendo muestreada, y combinar para formar una sola muestra de campo cuya masa iguale o exceda el mínimo recomendado en la tabla VI. Tomar cada porción desde la sección transversal completa del chorro de material que está siendo descargado.

Usualmente es necesario tener un recipiente construido para uso en cada planta en particular. Este dispositivo consiste en una bandeja de tamaño suficiente como para interceptar la sección transversal completa del chorro de la descarga y retener una cantidad suficiente como para que este no caiga de ella. Puede ser necesario tener un juego de rieles para soportar la bandeja cuando esta pase bajo el chorro de descarga. En la medida en que sea posible, mantener los contenedores continuamente llenos o casi llenos para reducir la segregación.

2.2.2. Muestreo desde una banda transportadora

Se obtienen al menos tres porciones aproximadamente iguales, seleccionadas aleatoriamente de la unidad siendo muestreada y combinarlas para formar una muestra de campo cuya masa iguale o exceda el mínimo recomendado en la tabla VI. Parar la banda transportadora cuando se vayan a obtener las porciones de la muestra. Insertar dos reglas, cuya forma coincida con la forma de la banda, espaciándolos de tal forma que el material que quede comprendido entre ambos sea una de las porciones y tenga el peso requerido.

Cuidadosamente recoger con una pala el material que ha quedado entre las dos reglas y colocar en un contenedor adecuado, recoger después los finos de la banda con una brocha y una pala y colocarlos en el mismo recipiente.

2.2.3. Muestreo desde la carretera (bases y sub-bases)

Obtener al menos tres porciones aproximadamente iguales, seleccionadas aleatoriamente de la unidad a ser muestreada y combinar para formar una sola muestra de campo cuya masa iguale o exceda el mínimo recomendado en la tabla VI. Tomar cada porción de material del espesor completo de la carretera, teniendo cuidado de excluir cualquier material que no pertenezca a la capa. Marcar claramente las áreas específicas desde las cuales será removida cada porción, el uso de una plantilla metálica colocada sobre el área es una gran ayuda para asegurar que las porciones sean aproximadamente del mismo peso.

2.2.4. Muestreo de apilamientos

En el muestreo de material desde apilamientos es muy difícil asegurar muestras imparciales, debido a la segregación, la cual ocurre frecuentemente cuando el material es apilado, con partículas gruesas rodando a la base exterior de la pila. Para agregado grueso o mezcla de agregado grueso y fino, se hará todo esfuerzo por emplear los servicios de equipos mecanizados para desarrollar una separación, muestreos pequeños en apilamientos compuestos de materiales tomados de varios niveles y localizaciones en el apilamiento principal, después del cual algunas porciones pueden ser combinadas para formar la muestra de campo cuya masa iguale o exceda el mínimo recomendado en la tabla VI. Si es necesario, indicar el grado de variabilidad existente en la pila principal, muestras separadas deben ser tomadas en áreas separadas de la pila.

En donde no es posible emplear equipo mecanizado, las muestras del apilamiento deben ser hechas arriba de al menos tres porciones tomadas del tercio superior, de la zona media y del tercio inferior del volumen de la pila.

Una tabla empujada verticalmente en la pila justamente por arriba del punto de muestreo ayuda a prevenir la segregación. En el muestreo de agregado fino apilado la capa externa, la cual puede tener o llegar a ser segregación, debe ser removida y la muestra tomada por debajo del material. Tubos de muestra de aproximadamente 30 mm (1 1/4 pulg.) mínimo, por 2 m (6 pies) mínimo de longitud pueden ser insertados en la pila en localizaciones aleatorias para extraer un mínimo de cinco porciones de material para formar la muestra de campo.

2.3. Metodología para la caracterización física

2.3.1. Granulometría para agregado fino y grueso, según Norma ASTM C 136

La granulometría consiste en un análisis de separación para conocer los porcentajes de granos de cada tamaño.

El agregado debe tener una graduación dada de acuerdo con su tamaño máximo y dentro de los límites fijados por las especificaciones de la norma.

2.3.1.1. Maquinaria y equipo

- Balanza con capacidad de 1 kg o más con aproximación a 0,1 gramos o menos, para agregado fino
- Balanza con capacidad de 20 kg o más con aproximación a 0,5 g o menos, para agregado grueso
- Tamizadora para agregado fino con tamices Nro. 4, 8, 16, 30, 50,100 y 200; con armadura
- Tamizadora para agregado grueso con tamices de 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", Nro.4 y fondo
- Horno a temperatura uniforme de 230 ± 9 °F (110 ± 5 °C).
- Cepillo de alambre
- Cepillo de cerda

2.3.1.2. Procedimiento

- Secar la muestra de agregado en horno a temperatura de 230 ± 9 °F (110 ± 5 °C)
- Tomar la masa de la muestra del agregado, según sea fino o grueso

2.3.1.2.1. Agregado fino

Utilizar 100 gramos de agregado que pase menos del 95% el tamiz Nro. 8. Para agregado que pase menos del 85% el tamiz Nro. 4 y quede retenido más del 5% en el tamiz Nro. 8, utilizar 500 gramos.

2.3.1.2.2. Agregado grueso

En la tabla VII se muestra la cantidad de material mínima para obtener granulometría del agregado grueso.

Tabla VII. **Tamaño de la muestra a ensayar para obtener granulometría**

Máximo tamaño nominal, la abertura de cuadro, mm (pulg.)	Masa mínima de muestra a ensayar, kg (lb)
9,5 (3/8)	1 (2)
12,5 (1/2)	2 (4)
19 .0 (3/4)	5 (11)
25,0 (1)	10 (22)
37,5 (1 1/2)	15 (33)
50 (2)	20 (44)
63 (2 1/2)	35 (77)
75 (3)	60 (130)
90 (3 1/2)	100 (220)
100 (4)	150 (330)
112 (4 1/2)	200 (440)
125 (5)	300 (660)
150 (6)	500 (1 100)

Fuente: libro anual de Normas ASTM, 2003, Vol. 04.02.

- Colocar los tamices en orden de tamaño decreciente, con fondo en la parte inferior y en la parte superior una tapadera
- Abrir la tapadera de los tamices y colocar el agregado homogéneo dentro del tamiz superior

- Tamizar en forma manual o mecánica durante 10 minutos, con el fin de acomodar el agregado por tamaños, sin causar daño en la abertura de los tamices
- Al finalizar el tamizado, tomar la masa del material, mmat. indicando el número de tamiz y la cantidad de material retenido en cada uno
- Los tamices después de vaciar su contenido deberán quedar limpios utilizando un cepillo de alambre para tamices mayores del Nro. 30 y un cepillo de cerda para tamices menores del Nro. 30
- La pérdida de material durante el tamizado y toma de masas, no debe sobrepasar el 0,3% de la masa original

2.3.1.3. Cálculos

- El porcentaje total del material retenido en cada tamiz

$$\% \text{ mat. retenido} = \frac{\text{masa total del material}}{\text{masa del material retenido}}$$

- El porcentaje de material que pasa

$$\% \text{ mat. que pasa} = 100 - \% \text{ mat. retenido}$$

- Módulo de Finura:

$$\text{M.F.} = \frac{\% \text{ material retenido del tamiz Nro. 4 al Nro. 100}}{100}$$

Normalmente para concreto debe usarse arena con M.F. entre 2,2 y 3,2, prefiriéndose arena media.

2.3.1.4. Reportar

- El porcentaje total del material retenido en cada tamiz
- El porcentaje de material que pasa
- Módulo de finura

2.3.1.5. Verificar

Comparar los porcentajes de la masa del material retenido en cada tamiz, comprobando si se encuentran dentro de los límites establecidos para agregados finos en la tabla 1 de la Norma ASTM C 33, y en la tabla 2 para los agregados gruesos.

2.3.2. Peso específico y absorción del agregado grueso, según Norma ASTM C 127

El peso específico es generalmente usado para calcular el volumen ocupado por el agregado en varias mezclas que contengan agregados como el concreto de cemento Portland, el concreto bituminoso u otras mezclas que están proporcionales o analizadas sobre un volumen básico. El peso específico es también usado en el cálculo de vacíos en el agregado.

Los valores de absorción son usados para calcular el cambio en la masa de un agregado debido al agua absorbida en los espacios de poro con las partículas constituyentes, comparado con la condición seca, cuando es considerado que el agregado ha estado en contacto con agua por un periodo suficiente para poder satisfacer la absorción potencial. La norma para la determinación de la absorción en el laboratorio es obtenida después de sumergir el agregado seco por un período de tiempo prescrito. Los agregados explotados por debajo del nivel de agua, comúnmente tienen un contenido de humedad mayor que la absorción determinada por este método de ensayo si es usado sin oportunidad de secar antes de su uso.

A la inversa, algunos agregados los cuales no han sido mantenidos continuamente en una condición húmeda hasta ser usados, probablemente pueden contener una cantidad de humedad absorbida menor que la condición de inmersión durante 24 horas.

2.3.2.1. Maquinaria y equipo

- Balanza con aproximación a 0,05 kg (0,1 lb), equipada con un sistema de soporte canasta-muestra
- Horno a temperatura uniforme de 230 ± 9 °F (110 ± 5 °C)
- Canasta de hierro de espesor 3,3 mm (Nro. 6) o un balde de aproximadamente igual ancho que alto, con capacidad de 4 a 7 litros, con un sistema de soporte a la pesa
- Tanque de agua, en el cual la canasta de hierro pueda ser suspendida
- Tamices de 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8" y Nro. 4

2.3.2.2. Procedimiento

- Tamizar el material, desechando el agregado que pase el tamiz Nro. 4
- Lavar el material para remover el polvo, u otro agregado fino adherido a la muestra
- Secar el material al horno a 230 ± 9 °F (110 ± 5 °C), hasta llevarlo a su condición seca
- Retirar la muestra del horno, dejándola en un ambiente fresco de 1 a 3 horas, hasta que la muestra pueda palpase o alcance una temperatura de 50 °C
- La cantidad de la masa natural (mn) a ensayar, dependerá del tamaño de las partículas del agregado, cuando el material se encuentra en condiciones mixtas se toma la diferencia de las masas mínimas; entre el máximo y mínimo tamaño nominal del agregado.

Tabla VIII. Cantidad mínima de la muestra para peso específico

Tamaño máximo nominal mm (pulg.)	Masa mínima de la muestra kg (lb)
12,5 (1/2) o menos	2 (4,4)
19,0 (3/4)	3 (6,6)
25,0 (1)	4 (8,8)
37,5 (1 1/2)	5 (11)
50 (2)	8 (18)
63 (2 1/2)	12 (26)
75 (3)	18 (40)
90 (3 1/2)	25 (55)
100 (4)	40 (88)
112 (4 1/2)	50 (110)
125 (5)	75 (165)
150 (6)	125 (276)

Fuente: libro anual de Normas ASTM, 2003, Vol. 04.02.

- Sumergir la canasta con la muestra de agregado en agua a temperatura de $23 \pm 1,7$ °C ($73,4 \pm 3$ °F) con una densidad de 997 ± 2 kg/m³ por 24 ± 4 horas
- Extraer la muestra del agua, y colocarla en un paño largo absorbente frotando individualmente las partículas largas hasta remover del agregado toda la película del agua. Una corriente de aire puede ayudar en el proceso de secado. Evitar la evaporación del agua en los poros internos del agregado.
- Tomar la masa de la muestra en su condición de superficie seca saturada (mss)

- Inmediatamente después colocar el material en la canasta y sumergirlo en el agua a una temperatura de $23 \pm 1,7 \text{ }^\circ\text{C}$ ($73,4 \pm 3 \text{ }^\circ\text{F}$) con una densidad de $997 \pm 2 \text{ kg/m}^3$, después de remover por medio de agitación, todo el aire atrapado en las partículas tomar la masa seca saturada sumergida (msss).
- Secar la muestra al horno a $230 \pm 9 \text{ }^\circ\text{F}$ ($110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$), hasta llevarlo a su condición seca. Retirar la muestra del horno, dejándola en un ambiente fresco de 1 a 3 horas, hasta que la muestra pueda palpase o alcance una temperatura de $50 \text{ }^\circ\text{C}$, tomar la masa seca de la muestra (ms).

2.3.2.3. Cálculos

- Peso específico:

$$G = \frac{mn}{mss - msss}$$

Donde:

G = Peso específico

mn = Masa natural al aire (g)

mss = Masa superficie seca saturada al aire (g)

msss = Masa seca saturada sumergida (g)

- Peso específico (superficie seca saturada):

$$gss = \frac{mss}{mss - msss}$$

Donde:

gss = Peso específico, superficie seca saturada

mss = Masa superficie seca saturada al aire (g)

msss = Masa seca saturada sumergida (g)

- Peso específico aparente:

$$gA = \frac{mn}{mn - msss}$$

Donde:

gA = Peso específico aparente

mn = Masa natural al aire (g)

msss = Masa seca saturada sumergida (g)

- Porcentaje de absorción:

$$\% \text{ abs.} = \left(\frac{mss - mn}{mn} \right) * 100$$

Donde:

% abs. = Porcentaje de absorción en %

mn = Masa natural al aire (g)

mss = Masa superficie seca saturada al aire (g)

2.3.2.4. Reportar

- Peso específico, lo más cercano a 0,01
- Peso específico (superficie seco saturado), lo más cercano a 0,01
- Peso específico aparente, lo más cercano a 0,01
- Porcentaje de absorción, lo más cercano a 0,1%

2.3.3. Peso específico y absorción del agregado fino, según Norma ASTM C 128

Para este ensayo se toma una muestra de 500 gramos de agregado fino.

2.3.3.1. Maquinaria y equipo

- Matraz con volumen de 500 cm³
- Pipeta con capacidad para 0,15 ml
- Cono metálico con diámetro interno superior de 40 ± 3 mm y diámetro interno inferior de 90 ± 3 mm, altura de 75 ± 3 mm, espesor de 0,8 mm
- Balanza con capacidad de 1 kg o más con aproximación a 0,1 g ó menos

2.3.3.2. Procedimiento

- Obtener aproximadamente 1 kg de agregado fino homogenizado
- Colocar en un recipiente el agregado fino cubierto con agua, en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F), durante 24 ± 4 horas, hasta obtener al menos un 6% de humedad. Durante este tiempo debe votarse el agua teniendo el cuidado de no perder los finos.
- Durante el tiempo que el agregado permanezca en el horno, se realizarán varias pruebas del cono, con intervalos de tiempo, iniciando cuando el material tenga todavía alguna superficie de agua, y finalizando las pruebas, hasta que alcance la humedad deseada.
- Para la prueba del cono: dicho cono se coloca firmemente sobre una suave superficie no absorbente con el diámetro mayor hacia abajo, llenándolo con los dedos hasta pasar su superficie, apisonar con 25 golpes distribuidos, dejando caer el apisonador por gravedad aproximadamente 5 mm (0,2") dentro del agregado.

Remover el agregado en la parte externa de la base y levantar verticalmente el molde, si la humedad es la correcta el agregado tomara la forma del molde.

- Obtener una masa de 500 ± 10 g de agregado fino seco saturado (mss)
- Llenar parcialmente el matraz con agua e introducir los 500 ± 10 g de agregado, completar con agua el 90% de la capacidad del matraz
- De 15 a 20 minutos agitar, invertir y rotar el matraz para eliminar todas las burbujas de aire
- Nivelar la temperatura del matraz a $23 \pm 1,7$ °C ($73,4 \pm 3$ °F), por inmersión en agua circulante
- Completar el nivel de agua del matraz con una pipeta
- Determinar la masa total del matraz, con agregado fino y agua (mmfa)
- Remover todo el agregado fino y agua del matraz, lavar el matraz
- Secar el matraz a una temperatura de 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F)
- Colocar el matraz en un ambiente fresco, durante $1 \pm 1/2$ horas, tomar la masa del matraz (m.m.)
- Determinar la masa del matraz con agua, llenándolo hasta su capacidad indicada (mma)
- Realizar el ensayo dos veces y promediar los resultados

2.3.3.3. Cálculos

- Masa de los finos:

$$mf = m.m. - mmf$$

Donde:

mf = Masa del agregado fino (g)

m.m. = Masa del matraz (g)

mmf = Masa del matraz y agregado fino (g)

- Peso específico:

$$G = \left[\left(\frac{m.m.}{m_f + m_{ma}} \right) - m_{mfa} \right] * m_f$$

Donde:

G = Peso específico

m.m. = Masa del matraz (g)

m_f = Masa del agregado fino (g)

m_{ma} = Masa del matraz lleno con agua (g)

m_{mfa} = Masa del matraz con agua y finos en (g)

- Porcentaje de absorción:

$$\% \text{ abs.} = \left(\frac{m_n - m_{ss}}{m_{ss}} \right) * 100$$

Donde:

% abs. = Porcentaje de absorción

m_{ss} = Masa superficie seca saturada al aire (g)

m_n = Masa natural de superficie seca saturada (g)

2.3.3.4. Reportar

- Peso específico, lo más cercano a 0,01
- Porcentaje de absorción, lo más cercano a 0,1%
- Indicar si el agregado tuvo la humedad necesaria, o hubo procedimiento para obtenerla

2.3.4. Peso unitario en agregados finos y gruesos, según Norma ASTM C 29

Esta norma es aplicada en agregados de tamaño menor a 6" (150 mm), para el peso unitario de agregados finos, gruesos y mixtos; en condiciones de material suelto y compactado. El peso unitario es la relación entre el peso del material y un volumen ocupado por el mismo expresado en kg/m³.

Hay dos valores para esta relación, el peso unitario suelto y el peso unitario apisonado, el primero se utiliza para convertir de masa a volumen, para conocer el consumo de agregados por metro cúbico de concreto. El segundo se usa para conocer el volumen del material apilado.

En ambos casos, este peso se debe obtener con material en estado seco-saturado para fines de comparación.

2.3.4.1. Maquinaria y equipo

- Balanza con capacidad necesaria según la muestra aproximación a 0,05 kg (0,1 lb)
- Apisonador de diámetro 5/8" (16 mm) y 24" (600 mm) de largo; con punta redonda o hemisférica
- Medidor cilíndrico metálico con altura entre 80% y 150% su diámetro
- Pala o cucharón pequeño

2.3.4.2. Procedimiento

- El tamaño de la muestra será entre 125% a 200% de la cantidad necesaria para llenar el medidor, para cada prueba.

Tabla IX. **Capacidad del medidor para peso unitario**

Tamaño máximo nominal del agregado		Capacidad del medidor		
Pulgadas	Milímetros	pie ³	Litros	m ³
1/2	12,5	1/10	2,8	0,0028
1	25,0	1/3	9,3	0,093
1 1/2	37,5	1/2	14	0,014
3	75	1	28	0,028
4 1/2	112	2 1/2	70	0,070
6	150	3 1/2	100	0,100

Fuente: libro anual de Normas ASTM, 2003, Vol. 04.02.

- Secar la muestra al horno a 230 ± 9 °F (110 ± 5 °C), hasta llevarlo a su condición seca.
- Procedimiento por apisonado para agregado de tamaño menor de 1 1/2" (37,5 mm): llenar el medidor con las manos hasta 1/3, con el apisonador dar 25 golpes en forma distribuida sobre el primer tercio, llenar el medidor hasta 2/3 y apisonar con 25 golpes distribuidos, completar el llenado del medidor y apisonar con otros 25 golpes. Completar el llenado con las manos acomodando las partículas en los espacios vacíos y rasar la superficie; la fuerza que se aplica al apisonar no debe dañar la estructura del agregado, solo debe acomodar la capa apisonada.

- Procedimiento por salto para agregado entre 1 1/2" (37,5 mm) a 6" (150 mm): llenar el medidor con las manos, cada tercio, compactando cada capa sobre una superficie de concreto, en 50 tiempos, 25 tiempos de cada lado, elevando cada lado del medidor alternativamente 2" (50 mm). Completar el llenado del medidor con las manos acomodando partículas entre los vacíos, y rasar.
- Procedimiento de llenado con pala: llenar completamente el medidor con una pala sin pasar las 2" (50mm) sobre la superficie y rasar.
- Cada ensayo debe realizarse dos veces para promediar el resultado.
- Pesarse el medidor más su contenido, para cualquiera de los procedimientos
- Pesarse el medidor vacío
- Calcular el peso unitario para cualquiera de los procedimientos anteriormente descritos.

2.3.4.3. Cálculos

- Peso unitario:

$$m. u. = \frac{m. m.}{v. r.}$$

Donde:

m.u. = Peso unitario en kg/cm³

m.m. = Masa del material en kg

v.r. = Volumen del recipiente en cm³

- Porcentaje de vacíos:

$$\% \text{ de vacíos} = \frac{(g * 1\,000) - \text{m.u.}}{g * 1\,000} * 100$$

Donde:

g = Peso específico

m.u. = Peso unitario en kg/cm³

2.3.4.4. Reportar

- Los resultados del peso unitario con una desviación permisible de 1 L/pie³ (10 kg/m³)
- Los resultados de los porcentajes de vacíos, con una desviación permisible del 1%

2.3.5. Impurezas orgánicas en agregado fino para concreto, según Norma ASTM C 40

Este procedimiento sirve para determinar la presencia de compuestos orgánicos dañinos en los agregados finos que son usados para cemento, morteros o concretos. Las impurezas en el agregado fino bajan la resistencia a compresión del concreto y afecta la hidratación del cemento.

Para este ensayo se tomará una muestra de 450 g de agregado fino, aproximadamente una libra.

2.3.5.1. Maquinaria y equipo

- Probetas de vidrio, de 20 ó 16 oz (fluidas); 350 ó 470 ml aproximadamente; incoloras, graduadas, con sección transversal ovalada, con tapón de seguridad
- Probeta de vidrio, de 7 oz (fluidas); 200 ml aproximadamente
- Balanza con capacidad de 1 kg y aproximación a 0,05 kg (0,1 lb)
- Hidróxido de sodio
- Colorímetro, o bicromato potásico
- Cucharón pequeño

2.3.5.2. Procedimiento

- Disolver 3 partes por peso de hidróxido de sodio, en 97 partes de agua
- Llenar la probeta con el agregado fino hasta 130 ml (4 1/2 oz fluidas)
- Agregar la solución de hidróxido de sodio en la probeta que contiene el agregado fino, agitándola durante el llenado, hasta llegar a 200 ml (7 oz fluidas)
- Colocar el tapón de la probeta, y agitarlo vigorosamente dejándolo reposar durante 24 horas
- Aproximadamente 2 horas antes de su uso, disolver el reactivo de bicromato potásico en concentración de ácido sulfúrico a una velocidad de 0,250 g/100 ml de ácido, usando si fuera necesario un calor suave para efectos de solución.
- Al finalizar las 24 horas de reposo, llenar una probeta de 75 ml (2 1/2 oz) con el reactivo de bicromato potásico, comparar las dos probetas observando la oscuridad o claridad del líquido.
- Para mayor precisión en el color del líquido se puede sustituir la solución de bicromato potásico por un colorímetro de 5 colores.

- Comparando así el líquido de la probeta de agregado fino, con el colorímetro, utilizando la siguiente tabla de colores para determinar el grado de contaminación en el agregado:

Tabla X. **Grado de contaminación en el agregado**

Colorímetro Nro. estándar	Grado orgánico
5	1
6	2
11	3 (estándar)
14	4
16	5

Fuente: libro anual de Normas ASTM, 2003, Vol. 04.02.

2.3.5.3. Reportar

- Grado de contaminación, si hubiese. Lo permisible es el grado 3

2.3.6. Método de ensayo estándar para sanidad de los agregados mediante el uso de sulfato de sodio, según Norma ASTM C 88

2.3.6.1. Significado y uso

Este método de ensayo provee un procedimiento para hacer un estimado preliminar de la sanidad de los agregados para el uso en el concreto u otros propósitos. Los valores obtenidos deberán ser comparados con la especificación ASTM C 33, la cual está diseñada para indicar la conveniencia del agregado para propósitos de uso.

Ya que la precisión de este método de ensayo es pobre, este puede no ser apropiado para rechazar enfáticamente los agregados sin la confirmación de otros ensayos más cercanamente relacionados al servicio específico pretendido.

Los valores para el porcentaje permitido de pérdida por este método de ensayo, son usualmente diferentes para agregados gruesos y finos, un llamado de atención al hecho que los resultados de ensayo por el uso de dos sales difieren considerablemente y debe tenerse cuidado al fijar los límites apropiados en cualquier especificación que incluya los requerimientos para estos ensayos.

2.3.6.2. Solución de sulfato de sodio

Prepárese una solución saturada de sulfato de sodio por disolver de grado igual de la sal en agua a una temperatura de 77 a 86 °F (25 a 30 °C). Agregar suficiente sal de sulfato de sodio anhídrido (Na_2SO_4), o en forma de cristales ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), para asegurar no solo saturación, sino también la presencia de exceso de cristales, cuando la solución está lista para el uso en el ensayo. Agitar vigorosamente la mezcla durante la adición de la sal y agitar a intervalos frecuentes hasta ser usada.

Para reducir la evaporación y prevenir la contaminación, mantenga todo el tiempo la solución cubierta cuando no se utilice. Dejar la solución enfriar de 70 a 2 °F (21 a 1 °C). De nuevo agitar y dejar la solución reposar a la temperatura designada por al menos 48 hrs. antes de ser utilizada. Antes de cada uso, diluir los trozos de sal, si hay alguno en el contenedor, agitar vigorosamente la solución y determínese el peso específico. Cuando se utilice, la solución tendrá un peso específico no menor que 1 151 y no más que 1 174. Deseche la solución si esta descolorida o fíltrela y chequee su peso específico.

Para la solución, 215 g de sal anhidra ó 700 g de sal deshidratada por litro son suficientes para la saturación a 71,6 °F (22 °C). Sin embargo, dado que estas sales no son completamente estables y que es deseable que un exceso de cristales este presente, el uso de no menos de 350 g de sal anhidra o 750 g de sal deshidratada por litro es recomendado.

2.3.6.3. Muestreo

2.3.6.3.1. Agregado fino

El agregado fino para el ensayo debe pasar a través del tamiz 9,5 mm (3/8"). La muestra debe ser de tamaño tal que rinda no menos de 100 g para cada uno de los siguientes tamices, las cuales deben estar en cantidades de 5% ó más, expresado en términos de los tamices mostrados en la tabla XI.

Tabla XI. **Muestra de agregado fino a ensayar con sulfato de sodio**

Pasa el tamiz	Retenido en el tamiz
600 µm (Nro. 30)	300 µm (Nro. 50)
1,18 mm (Nro. 16)	600 µm (Nro. 30)
2,36 mm (Nro. 8)	1,18 mm (Nro. 16)
4,75 mm (Nro. 4)	2,36 mm (Nro. 8)
9,5 mm (3/8")	4,75 mm (Nro. 4)

Fuente: libro anual de Normas ASTM, 2003, Vol. 04.02.

2.3.6.3.2. Agregado grueso

El agregado grueso para el ensayo debe consistir de material retenido sobre el tamiz Nro. 4. La muestra debe ser de tamaño tal que rinda las siguientes cantidades de los tamaños indicados que estén en cantidades de 5% o más:

Tabla XII. **Muestra de agregado grueso a ensayar con sulfato de sodio**

Tamaño	Masa (g)
9,5 mm (3/8") a 4,75 mm (Nro. 4)	300 ± 5
19,0mm (3/4") a 9,5 mm (3/8")	1 000 ±10
12,5 mm (1/2") a 9,5 mm (3/8")	330 ± 5
19,0 mm (3/4") a 12,5 mm (1/2")	670 ±10
37,5mm (1 1/2") a 19,0 mm (3/4")	1 500 ± 50
25,0 mm (1") a 19,0 mm (3/4")	500 ± 30
63mm (2 1/2") a 37,5 mm (1 1/2")	5 000 ± 300
50 mm (2") a 37,5mm (1 1/2")	2 000 ± 200
63mm (2 1/2") a 50mm (2")	3 000 ± 300

Fuente: libro anual de Normas ASTM, 2003, Vol. 04.02.

2.3.6.4. Examen cuantitativo

Después que la solución de sulfato de sodio o sulfato de magnesio ha sido removida, secar cada fracción de la muestra a peso constante a 230 ± 9 °F (110 ± 5 °C). Tamizar el agregado fino sobre los mismos tamices sobre los cuales fue retenido antes del ensayo y tamice el agregado grueso sobre las mallas que se muestran abajo para el tamaño apropiado de la partícula. Para el agregado fino, el método y duración del tamizado será el mismo que fue usado en la preparación de las muestras.

Para el agregado grueso, tamizar manualmente, con agitación suficiente para asegurar que todo el material de tamaño más pequeño pase la malla designada. No hay que emplear manipulación extra para quebrar las partículas o hacer que pasen las mallas. Pesar el material retenido en cada malla y registrar cada cantidad. La diferencia entre las cantidades y el peso inicial de la fracción de la muestra ensayada es la pérdida en el ensayo y es expresado como un porcentaje del peso inicial.

Tabla XIII. **Determinación de la pérdida de material por sulfato de sodio**

Tamaño del agregado	Malla usada para determinar la pérdida
2 1/2" a 1 1/2"	1 1/4"
1 1/2" a 3/4"	5/8"
3/4" a 3/8"	5/16"
3/8"	Nro. 5

Fuente: libro anual de Normas ASTM, 2003, Vol. 04.02.

2.3.6.5. Preparación de la muestra de ensayo

2.3.6.5.1. Agregado fino

Lavar vigorosamente la muestra de agregado fino sobre el tamiz Nro. 50, secar a peso constante a 230 ± 9 °F (110 ± 5 °C), y separar en los diferentes tamaños por tamizado, como sigue: haga una separación aproximada de la muestra graduada por medio de un juego de mallas estándar especificadas de las fracciones obtenidas, seleccionar las muestras de suficiente tamaño para rendir 100 g después de tamizado de descarte. En general, una muestra de 110 g será suficiente. No utilizar agregado fino atrapado en los tamices en la preparación de la muestra.

Pese las muestras consistentes de $100 \pm 0,1$ g para cada una de las fracciones separadas después del tamizado final y colocarlas en contenedores separados para el ensayo.

2.3.6.5.2. Agregado grueso

Lavar vigorosamente y secar la muestra de agregado grueso a peso constante 230 ± 9 °F (110 ± 5 °C) y separar en los diferentes tamaños por tamizado para descarte. Pesar las cantidades de los diferentes tamaños dentro de las tolerancias de la tabla XII y cuando la porción consiste de dos tamaños, combinarlas para el designado peso total. Registrar los pesos de las muestras de ensayo y sus componentes fraccionarias. En el caso de las partículas más grandes que 19,0 mm (3/4"), registre el número de partículas en las muestras de ensayo.

2.3.6.6. Procedimiento

Sumérganse las muestras en la solución preparada de sulfato de sodio o sulfato de magnesio por no menos de 16 horas y no más de 18 horas, de tal manera que la solución cubra las muestras como mínimo 1/2 pulgada. Cúbrase los depósitos para reducir la evaporación y prevenir la adición accidental de sustancias extrañas. Manténgase la muestra sumergida en la solución a una temperatura de 70 ± 2 °F (21 ± 1 °C) por el período de inmersión.

Después del período de inmersión, remover la muestra de agregado de la solución y permitir que drene por 5 a 15 min, posteriormente colocarla en el horno de secado. La temperatura del horno debe haber sido alcanzada previamente a 230 ± 9 °F (110 ± 5 °C). Secar las muestras a la temperatura especificada hasta alcanzar peso constante.

Establezca el tiempo requerido para alcanzar peso constante de la siguiente manera: con el horno conteniendo todas las muestras, revise las pérdidas de peso de las muestras de ensayo, sacándolas y pesándolas, sin enfriar a intervalos de 2 a 4 horas; hacer suficientes revisiones para establecer el tiempo de secado requerido para el lugar menos favorable del horno y la condición de la muestra. El peso constante podrá ser considerado que ha sido alcanzado cuando la pérdida de peso sea menor que 0,1% del peso de la muestra en 4 horas de secado. Después que el peso constante ha sido alcanzado, dejar las muestras enfriar a temperatura ambiente, hasta que sean de nuevo inmersas en la solución.

El tiempo requerido de secado para alcanzar el peso constante puede variar considerablemente por varias razones. La eficiencia del secado será reducida al acumularse los ciclos por la sal adherida a las partículas y en algunos casos por el incremento del área superficial debido a las partiduras. Los diferentes tamaños de fracciones de agregados tienen diferentes razones de secado.

Los tamaños más pequeños tenderán a secarse más despacio debido a sus áreas de superficie más grandes y vacíos restringidos, pero esta tendencia puede cambiar por los efectos del tamaño y tipo del recipiente.

2.3.6.7. Número de ciclos

Repita los procesos alternos de inmersión y secado hasta obtener el número de ciclos. Después de completar el ciclo final y la muestra se ha enfriado, lavar la muestra con agua para quitarle el sulfato de sodio o sulfato de magnesio, lo cual se determina por la reacción del cloruro de bario (BaCl_2) con el agua de lavado.

Lavar con agua que circule a 110 ± 10 °F (43 ± 6 °C) a través de las muestras en sus recipientes. Esto puede ser hecho, colocándolas en un tanque en el cual el agua caliente puede ser introducida en el fondo. En la operación de lavado, las muestras no deben estar sujetas a impacto o abrasión que pueda tender a quebrar las partículas.

2.3.6.8. Reporte

- El peso de cada fracción de cada muestra antes del ensayo
- Reporte los porcentajes de pérdida de peso al entero mayor
- Clase de solución (sulfato de sodio o magnesio) y si la solución fue fresca o de uso previo

2.4. Metodología para la caracterización química

2.4.1. Reactividad álcali-sílice potencial, según Norma ASTM C 289

2.4.1.1. Selección y preparación de la muestra

La muestra de ensayo debe ser preparada de una porción representativa del agregado triturándolo hasta que pase el tamiz de 300 μm (Nro. 50), de acuerdo al siguiente procedimiento: reducir el agregado grueso triturándolo hasta que pase por el tamiz de 4,75 mm (Nro. 4). Tamizar el agregado grueso triturado al igual que la arena hasta obtener partículas de 150 μm . Descartar el material que pase por el tamiz de 150 μm . Reducir el material retenido en el tamiz de 300 μm pasándolo repetidamente por el disco pulverizador, tamizando después de cada pulverizado.

El material debe ser reducido de tamaño hasta que pase por el tamiz de 300 μm . Debe evitarse tanto como sea posible la proporción de finos que pasan el tamiz Nro. 100. Reservar la porción retenida en el tamiz de 150 μm como muestra para el ensayo.

2.4.1.2. Procedimiento

Pesar tres porciones representativas de $25 \pm 0,05$ gr. de la muestra seca comprendida entre los tamices Nro. 50 y Nro. 100. Colocar cada porción en uno de los tres recipientes y agregar por medio de una pipeta 25 cm^3 de la solución de NaOH. En un cuarto recipiente, utilizando una pipeta agregar 25 cm^3 de la misma solución de NaOH para usarla como solución blanca. Sellar los cuatro envases después de agitarlos suavemente para liberar el aire atrapado.

Inmediatamente después de haber sellado los envases, se colocan en un baño líquido, o de aire mantenido a $80 \pm 1,0$ °C. Después de $24 \pm 1/4$ horas se sacan los envases del baño y se enfrían bajo una corriente de agua por 15 ± 2 minutos hasta menos de 30 °C. Inmediatamente después de haberse enfriado los recipientes se filtra la solución del residuo del agregado.

Al completar la filtración, se agita el filtrado para asegurar homogeneidad y luego se toma una alícuota de 10 cm^3 del filtrado y se diluye con agua hasta 200 cm^3 en un frasco volumétrico. Se conserva esta solución diluida para la determinación de la sílice disuelta y la reducción en alcalinidad, con las fórmulas y procedimientos dados por la norma.

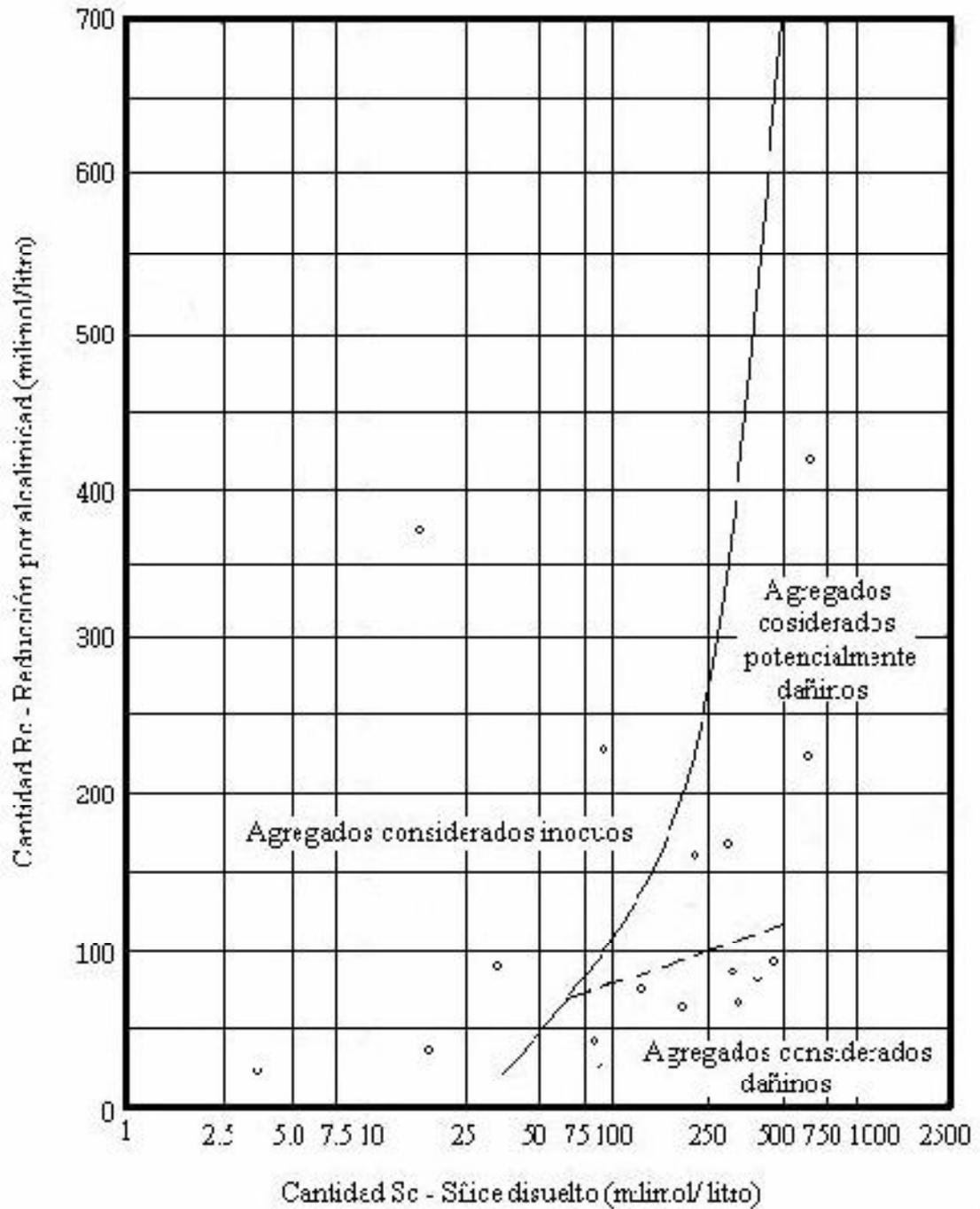
2.4.1.3. Interpretación de los resultados

Se han publicado estudios que correlacionan los resultados obtenidos a partir de este método con el comportamiento de los agregados en estructuras de concreto, con la expansión de barras de morteros elaborados con cemento de alto contenido de álcali y con los exámenes petrográficos de los agregados.

En base a ésta información, se ha dibujado la curva indicada en la figura 2. Si cualquiera de los tres puntos $R_c - S_c$ quedan situados en el lado dañino de la curva de la figura, esto indicará un grado potencial dañino de reactividad alcalina. Sin embargo, agregados potencialmente dañinos, que en principio pueden ser extremadamente reactivos con los álcalis y que aparecen representados por puntos que están situados por encima de la línea de trazos de la figura, pueden producir expansiones relativamente bajas. A pesar de esto, se considerará que estos agregados indican un grado de reactividad potencial dañino, hasta tanto se demuestre el carácter inocuo del mismo, por medio de datos sobre su uso o por ensayos suplementarios.

Los resultados del ensayo podrían ser incorrectos para agregados que contienen carbonatos de calcio, magnesio o hierro ferroso, tal como calcita, dolomita, magnesita o siderita; o silicatos de magnesio tal como serpentina. Para determinar la presencia de minerales de este tipo, se podrá realizar un examen petrográfico de los agregados.

Figura 2. División entre agregados inocuos y dañinos



Fuente: libro anual de Normas ASTM, 2003, Vol. 04.02.

2.4.2. Reactividad álcali-carbonato potencial, según Norma ASTM C 586

Este método de ensayo pretende dar una indicación relativamente rápida de la reactividad expansiva potencial de ciertas rocas de carbonato que puede ser utilizada como agregados concretos. El método de ensayo ha sido utilizado con éxito en la investigación y la proyección preliminar de fuentes agregadas para indicar la presencia de material con un potencial para la expansión perjudicial cuando se utiliza en hormigón.

2.4.2.1. Selección y preparación de la muestra

Este método es aplicable a una muestra de roca asegurado de conformidad con los requisitos aplicables de la Norma ASTM D 75. Salvo que la masa de la muestra de cada estrato despejado sea al menos de 1 kg y piezas individuales, no deberán ser inferiores a 75 x 75 x 75 mm de tamaño.

El muestreo debe estar bajo la dirección de una persona capaz de distinguir las diferencias en litología y la muestra de roca debería adoptarse para representar sólo la litología particular bajo consideración, teniendo en cuenta las limitaciones y la importancia de este método como se indica anteriormente. Cada muestra de roca debe ser de una sola pieza de tamaño suficiente para la preparación de las muestras necesarias.

2.4.2.2. Procedimiento

Colocar una marca de posición sobre el espécimen para permitir colocar al espécimen en la comparación en la misma posición durante las mediciones posteriores. Medir la longitud de la muestra de ensayo.

Sumergir al espécimen en agua destilada a una temperatura en el rango de 20 a 27,5 °C (68 a 81,5 °F). A intervalos, quitar el espécimen para eliminar el exceso de aguas superficiales y medir que el cambio de longitud durante un período de inmersión de agua de 24 h no exceda 0,02%. La longitud en esta condición es tomada como la longitud de referencia. La longitud de referencia normalmente se obtiene después de 1 a 4 días de inmersión.

Sumergir a los especímenes saturados de agua en una botella que contenga un mínimo de 35 ml de solución de NaOH por espécimen a temperatura ambiente y sellar. Sumergir a no más de dos especímenes en una botella. Medir la longitud de los especímenes después de los días 7, 14, 21 y 28 de inmersión en la solución de NaOH y a intervalos de 4 semanas a partir de entonces. Si las pruebas continúan más allá de 1 año, hacer mediciones a intervalos de 12 semanas.

2.4.2.3. Interpretación de resultados

Desde la expansión causada por las reacciones entre álcalis de cemento y agregados de carbonatación es sensible a cambios sutiles en litología, los resultados de las mediciones deben ser interpretados con pleno reconocimiento de la variable global que afectaría a los resultados obtenidos. La aceptación o el rechazo de agregado fuentes basadas únicamente en los resultados de esta prueba no se recomienda ya que, en la producción comercial, materiales expansivos y no expansivos pueden ocurrir en estrecha proximidad y la obtención de muestras suficientemente representativas de la variabilidad de la producción de la fuente es una tarea difícil y exige los esfuerzos de un individuo capacitado para distinguir diferencias en litología.

La relación de los resultados en la prueba del comportamiento de grandes cantidades de roca desde un origen determinado, dependerá del grado en que las propiedades petrográficas y químicas de la roca varían dentro de la fuente.

Los resultados de investigación han indicado que el comportamiento expansivo de agregados en concreto es cualitativamente predicho por los resultados de la roca de cilindro de prueba. Predicción cuantitativa de la expansión de agregado depende del grado de reactividad del agregado, la cantidad de pronunciada, el contenido de cemento y el entorno importante para reactivar. La expansión apreciable debe indicar la necesidad de pruebas adicionales. A la luz de los conocimientos actuales, parece que expansiones en exceso de 0,10% son indicativos de reacción química y deben justificar pruebas adicionales, preferentemente, en concreto mediante examen del método ASTM C 1105.

Normalmente las tendencias expansivas son evidentes después de 28 días de inmersión, sin embargo, se han observado excepciones a esto. Las expansiones deletéreas de concreto dependen de la magnitud, la velocidad de expansión global y el tiempo en el que comienza; sin embargo, no es posible establecer predicciones cuantitativas de expansión concreta en servicio, únicamente desde los resultados de este método de ensayo.

2.5. Metodología para la caracterización mecánica

2.5.1. Desgaste a la abrasión e impacto para agregado grueso en la máquina de Los Ángeles según Norma ASTM C 131

Este procedimiento se realiza en agregado grueso para partículas que no sobrepasan 1 1/2" (37,5 mm) de tamaño, para la resistencia a la abrasión con efectos de impacto y fricción, utilizando la máquina de Los Ángeles, que debido a la rotación del tambor de la referida máquina, provoca que el material y las esferas se impacten, ocasionando fracturas que hacen disminuir el tamaño de las partículas.

La prueba de abrasión, es el control de calidad de los agregados de procedencia triturada o de canto rodado, cuyos resultados sirven para la elaboración de concretos, debido a que en el procedimiento de mezclado son sometidos a las mismas cargas, ya sea con pala o con mezcladora. Si la cantidad de material requerido en cada tamiz no cumple con la granulometría que especifica la tabla en la norma, pero si contiene partículas mayores, es posible triturarlas para completar los pesos. Para este ensayo se tomaran 5 000 gramos de agregado grueso, clasificado según el tipo de abrasión.

2.5.1.1. Maquinaria y equipo

- Máquina de Los Ángeles
- Tamiz Nro. 12
- Balanza con aproximación a 0,05 kg (0,1lb)
- Esferas de acero de diámetro 1 27/32" (46,8 mm), entre 390 g y 445 g de peso. La cantidad de esferas varía según el tipo de abrasión.

2.5.1.2. Procedimiento

- Lavar el material de impurezas
- Secar el material al horno a 230 °F (110 °C), hasta llevarlo a su condición seca
- Realizar una granulometría con una cantidad de material representativa, previamente cuarteada para obtener la cantidad retenida en cada tamiz, e identificar el tipo de abrasión
- Pesar 5 000 g de material tamizado según el tipo de abrasión
- Disgregar el material dentro de la máquina de Los Ángeles
- Colocar dentro de la máquina de Los Ángeles las esferas de acero, según el tipo de abrasión
- Iniciar la rotación de la máquina de Los Ángeles de 30 rpm a 33 rpm equivalente a 500 revoluciones, con un tiempo estimado de 17 minutos

Tabla XIV. **Especificaciones para ensayo de abrasión en la máquina de Los Ángeles**

Tipo	Tamaño de material retenido	Masa en (g) de cada tamaño	Numero de esferas	Rev.	Tiempo (min.)
A	1", 3/4", 1/2", 3/8"	1 250±10	12	500	17
B	1/2", 3/8"	2 500±10	11	500	17
C	1/4", 4"	2 500±10	8	500	17
D	#8	5 000±10	6	500	17

Fuente: libro anual de Normas ASTM, 2003, Vol. 04.02.

- Colocar el material desgastado en el tamiz Nro. 12
- Lavar el material, de impurezas
- Secar el material al horno a 230 °F (110 °C)
- Pesar el material desgastado

2.5.1.3. Cálculos

- Porcentaje de desgaste:

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{(P_i - P_f)}{P_i} * 100$$

Donde:

P_i = Peso inicial en kg

P_f = Peso final en kg

2.6. Metodología para la caracterización petrográfica

2.6.1. Usos de los análisis petrográficos

Los procedimientos que se siguen en el análisis petrográfico de agregados dependen del uso que se le quiera dar al agregado. En ocasiones la petrografía no basta para hacer el estudio y es necesario completarlo con procedimientos como difracción de rayos X. Esto permite clasificaciones más seguras de minerales poco comunes y arcillas. La determinación de constituyentes no es el fin último del análisis petrográfico, pero sí permite efectuar muchas conclusiones importantes a nivel práctico. Lo más importante es determinar si hay componentes que puedan afectar el comportamiento de un agregado en una aplicación específica, como por ejemplo, determinar y cuantificar los componentes reactivos potenciales de álcali-sílice y álcali-carbonato y recomendar ensayos que confirmen o no la reacción.

A continuación se presentan los lineamientos para la realización de un análisis petrográfico de los agregados para concreto, basado en la Norma ASTM C 295.

2.6.2. Toma de muestras

La toma de muestras debe realizarse por un experto, familiarizado con los requerimientos para muestreo aleatorio de agregados para concreto, debiendo considerarse la localización, la geología y otros datos importantes del sitio donde se sustrajo la muestra.

Las canteras no desarrolladas se muestrean por medio de núcleos perforados a través de toda la profundidad que se espera explotar, la perforación se realiza perpendicularmente a la característica estructural dominante de las rocas. Las rocas masivas se muestrean con núcleos de cincuenta y tres milímetros de diámetro y para estratificaciones delgadas o materiales complejos deben tomarse núcleos no menores de 100 mm de diámetro. Se deberá contar con un número adecuado de perforaciones a cubrir los límites de los depósitos propuestos para el proyecto.

Para canteras en operación de gravas y arenas, las muestras se representan por no menos de 45 kilogramos o 300 piezas de las más grandes de cada tamaño de material.

Para afloramientos de canteras no productoras, donde los apilamientos regulares del material no son disponibles, las muestras no deben ser menos de 2 kilogramos de cada estrato con piezas que no pesen menos de 0,5 kilogramos o por núcleo perforado descrito anteriormente.

Los depósitos de arenas y gravas no desarrollados, deberán ser muestreados por medio de pruebas en trincheras excavadas a mano, para anticipar la futura producción económica.

Las muestras consistirán en no menos de las cantidades de material indicadas en la tabla XV, seleccionando, tanto como sea posible, la representatividad de los depósitos.

Tabla XV. **Cantidades de material para el análisis petrográfico**

Abertura de tamiz	Cantidad		
	kg	lb	Piezas
Mayores de 150 mm (6")	--	--	*
75 a 150 mm (3" a 6")	--	--	300
37,5 a 75 mm (1 1/2" a 3")	180	400	--
19 a 37,5 (3/4" a 1 1/2")	90	200	--
4,75 a 19 mm (Nro. 4 a 3/4")	45	100	--
Menores de 4,75 mm (Nro. 4)**	23	50	--

* No menos de una pieza de cada tipo aparente de roca.

** Agregado fino.

Fuente: libro anual de Normas ASTM, 2003, Vol. 04.02.

2.6.3. Selección de las muestras para el examen

Las muestras se tamizan en seco para obtener muestras de cada tamaño de tamiz. En caso de arenas, se toma una porción adicional a ensayarse con lavado de agua para que sea tamizado y removido por secado, para proporcionar un muestreo del material que pasa el tamiz Nro. 200.

Los resultados del análisis de tamices de cada muestra se deben adjuntar al examen petrográfico. Cada fracción tamizada será examinada por separado, iniciando con el tamaño mayor para facilitar su identificación; puede necesitarse el uso del microscopio estereoscópico para facilitar la identificación de pequeñas partículas, o el uso del microscopio petrográfico.

La reducción de partículas de cada fracción tamizada se realiza por medio de cuarteos hasta obtener un mínimo de 150 partículas; del número de partículas depende el grado de precisión que se requiera, el cual se contará al iniciarse el examen, luego de identificarse las partículas, se deben contar nuevamente.

2.6.4. Examen de la grava natural

Las gravas se examinan para establecer si presentan revestimiento externo, si existe, se determinará si consiste en materiales potencialmente dañinos para el concreto y que tan firme es el revestimiento. Si cada fracción tamizada puede clasificarse fácilmente, dentro de los tipos de rocas, mediante un examen visual, rayado y prueba de ácido, las demás identificaciones pueden omitirse. Las rocas de grano fino que no se pueden identificar macroscópicamente y que pueden contener componentes dañinos para el concreto, serán examinadas mediante microscopía petrográfica.

Las características físicas más importantes que deben describirse son las siguientes:

- Forma de las partículas
- Superficie de la partícula, textura
- Tamaño del grano
- Estructura interna, porosidad, cementación de los granos
- Color
- Composición mineralógica
- Heterogeneidad significativa
- Condición física general del tipo de rocas de la muestra
- Revestimiento o incrustaciones
- Presencia de componentes reactivos dañinos en el concreto

2.6.5. Exámenes de la arena natural

Estos exámenes son similares a los de la gravas, con la diferencia que se requiere el uso del microscopio estereoscópico, disco de Petri, pinzas y aguja de disección.

Para granos más finos que 600 micrones (tamiz Nro. 30) se reducen por cuarteo a aproximadamente 4 ó 5 gramos, el volumen será normalmente menor que una cucharadita rasa, tomando en cuenta que el número de partículas no debe ser menor de 150. El examen puede realizarse como el de los granos superiores al tamiz de 600 micrones (Nro. 30) y si es posible, auxiliarse con el microscopio petrográfico.

2.6.6. Cálculos

Se calcula la composición de cada fracción retenida en los tamices de una muestra heterogénea y la composición en promedio ponderado de toda la muestra como sigue: se expresa la composición de cada fracción retenida en los tamices, por la suma del número total de partículas de la fracción contada y calculando cada componente en cada condición como un porcentaje de la cantidad total (como número de partículas en porcentaje, en cada fracción de tamiz). Es conveniente calcular y registrar los porcentajes por docenas en esta presentación.

El porcentaje de peso de la fracción retenida en cada tamiz de la muestra completa (porcentajes individuales retenidos sobre tamices consecutivos) se obtiene al multiplicar los porcentajes de los componentes en la fracción tamizada, determinada y descrita anteriormente, por los porcentajes de la fracción tamizada de la muestra completa.

Se calculan los porcentajes de la muestra completa de ese componente, de ese tamaño y el porcentaje pesado de los componentes de la fracción tamizada. Es conveniente el cálculo y el registro de estos porcentajes expresados en intervalos del 10%.

Se construye una tabla para representar la composición de cada fracción tamizada y los pesos de la composición de la muestra completa. Reportar los valores aproximados a números enteros y las cantidades de componentes menores del 5% de la fracción tamizada o de la muestra completa como residuos. Como una convención, el total de cada fracción tamizada y el total de la muestra completa, será cada uno el 100%, no incluyendo los residuos.

2.6.7. Informes

El reporte del examen petrográfico debe contener los datos esenciales necesarios para identificar la muestra, la fuente, propósito de uso e incluye una descripción dando la composición y propiedades del material. El informe debe incluir los procedimientos empleados en la prueba y una descripción de la naturaleza y las características de cada constituyente importante de la muestra, acompañado de tablas y fotografías según sea necesario. Los hallazgos y conclusiones deben ser expresados en términos comprensibles para quienes deben tomar las decisiones de conveniencia del material a ser usado como agregado para concreto.

Cuando en una muestra han sido encontradas propiedades o constituyentes conocidos por sus propiedades dañinas al concreto, estos deben ser descritos cualitativamente y su posible magnitud de forma cuantitativa.

Los efectos desfavorables que se espera sucedan deben mencionarse, así como incluir recomendaciones considerando un examen petrográfico adicional, químico, físico, o investigación geológica que deba ser necesaria para evaluar propiedades adversas que fueron indicadas en el examen petrográfico.

3. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE BANCOS EN ESTUDIO

La importancia que incluye la ubicación geográfica y el volumen de extracción de los bancos en estudio fue primordial para la decisión de formar el presente trabajo de investigación. Los referidos bancos se encuentran en dos de los ríos más importantes de la región y las trituradoras de las cuales se extrajeron las muestras constituyen 2 de las 3 principales manufacturas de agregados para concreto en el municipio de Asunción Mita. Estas comprenden una zona relativamente extensa que abastece de materiales de construcción a todo el departamento de Jutiapa.

Se tomaron, para su estudio, dos muestras de material manufacturado de cada trituradora, una de agregado fino y otra de agregado grueso, directamente del lugar de trituración posteriormente a que el material fuera llevado ahí desde los lugares de extracción en los ríos.

Debido a que las trituradoras se encuentran a orillas de la carretera, la extracción del material es bastante accesible. Una se encuentra en el lugar conocido como El Capullo, debiéndose a esto su nombre. Y la trituradora Morán se encuentra a la entrada del valle del municipio de Asunción Mita.

A continuación se describe en detalle la localización de ambas trituradoras y sus respectivos bancos de materiales.

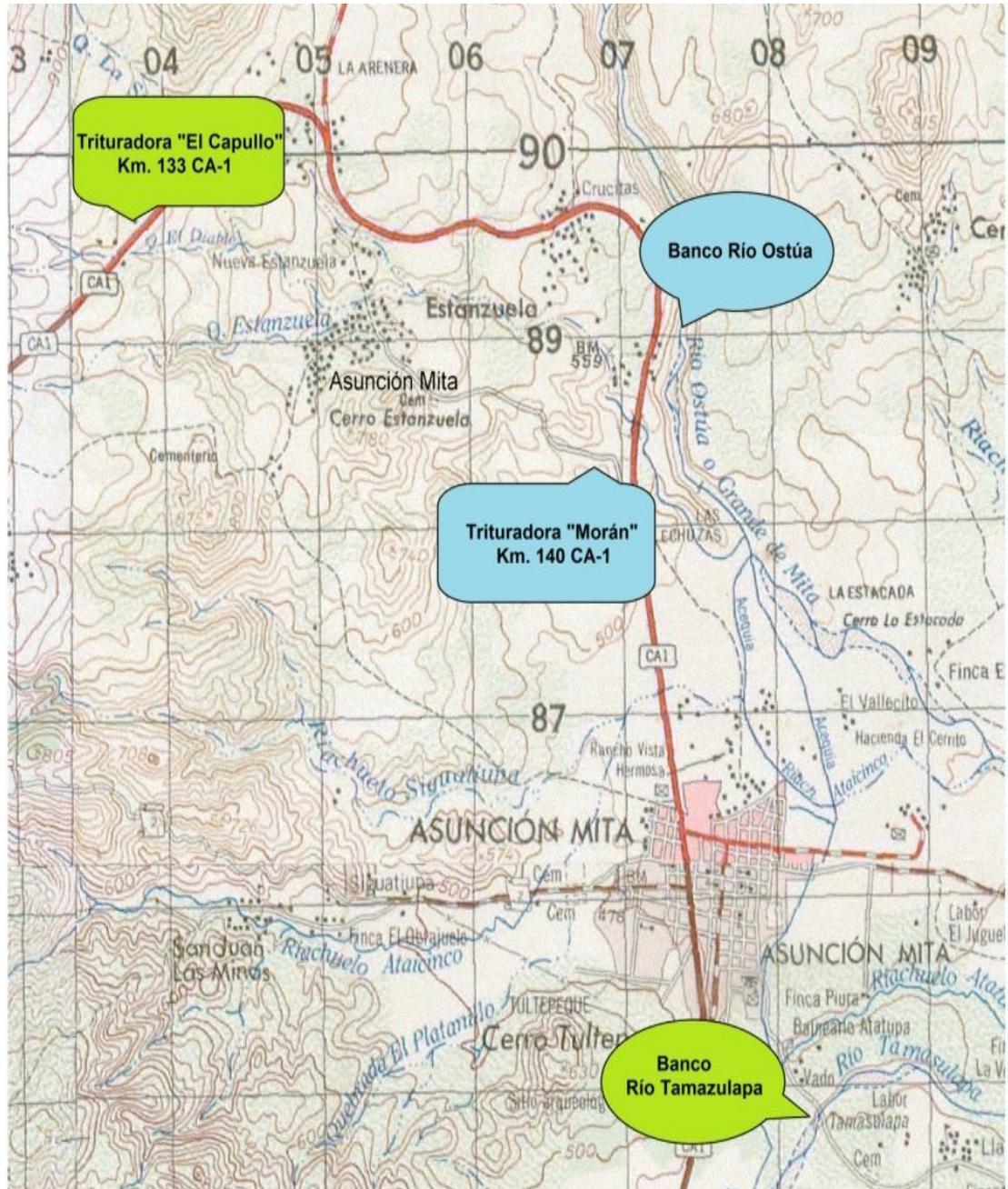
3.1. Localización

Los bancos de agregados en estudio se encuentran a orillas de los ríos Ostúa y Tamazulapa, este último en un lugar conocido como Boca del Zanjón ubicado a tres kilómetros de la ruta departamental JUT-15, que conduce desde la cabecera municipal al Lago de Guija, mientras que el banco del río Ostúa se localiza paralelo a la carretera Panamericana CA-1, aproximadamente en el kilómetro 139.

Las trituradoras de donde se obtuvieron las muestras, se encuentran a orillas de la carretera Panamericana CA-1 (hacia El Salvador), próximas a llegar a la cabecera del municipio. La trituradora El Capullo se encuentra aproximadamente en el km. 133 y la trituradora Morán en el km. 140 de la carretera anteriormente citada.

En la figura 3 podemos ver la localización de ambas trituradoras y sus respectivos bancos.

Figura 3. Mapa de localización de bancos y trituradoras en estudio



Fuente: Instituto Geográfico Nacional. Hoja: Asunción Mita.

3.2. Tipo de banco

La zona del municipio de Asunción Mita está formada por suelos de naturaleza rocosa, arenosa y en algunos lugares arcillosos, con pendientes inclinadas y verticales, en las partes altas es arcillosa sobre materiales volcánicos constituidos por sedimentos metamórficos y arena. En las partes bajas se encuentran algunas zonas arenosas sobre bases de arcilla.

3.2.1. Rocas y tipos de suelos del departamento de Jutiapa

En este departamento se pueden contemplar e identificar de Sur a Norte 3 franjas fisiográficas que son:

- Franja costera del pacifico: formada por sedimentos y productos de erosiones volcánicas consistentes en arena, gravas, cenizas, poma y depósitos laháricos, ricas en magnética; que han formado una planicie costera con un ancho de 50 kilómetros aproximadamente, con altitudes de 0 a 500 msnm.
- Franja volcánica: una prolongación de la cadena volcánica formada por los volcanes El Chingo, entre los municipios de Atescatempa, Jerez y la república de El Salvador, el de Moyuta en Santa Catarina Mita, el Amayo en Jutiapa y el Tuhual en el municipio de El Progreso cubriendo la parte Sur del área, extendiéndose hacia El Salvador
- Franja cordillera central: constituida por una faja de rocas plutónicas, metamórficas sedimentarias plegadas, que se extienden sobre la parte central

Los suelos se pueden clasificar de la manera siguiente:

- Clase I:
 - Pendiente: 0 a 5%
 - Tipo de suelo: arcilla, migajón
 - Drenaje del suelo: no inundable más de 24 horas
 - Penetración: más de 50 cm aproximadamente

Este suelo se encuentra en gran parte de la planicie costera del pacifico.

- Clase II:
 - Pendiente: 6 a 20%
 - Tipo de suelo: migajón, arenoso y limoso
 - Drenaje del suelo: de 1 a 4 días
 - Penetración: 30 cm aproximadamente

Este tipo de suelos es predominante en el área de estudio.

- Clase III:
 - Pendiente: 21 a 45%
 - Tipo de suelo: arenoso, barroso limoso
 - Drenaje: mayor de 4 días
 - Penetración: 15 cm aproximadamente

Este tipo de terreno, en forma relativa, es escaso, encontrándose principalmente en las partes altas de las montañas.

3.3. Ensayos de laboratorio

Directamente de cada lugar de trituración se tomaron dos muestras de material, de aproximadamente 100 libras cada uno. Luego estas fueron llevadas al Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII), donde se realizaron los ensayos físicos, mecánicos y químicos siguientes: ASTM C 136 (Granulometría), C 29 (Peso unitario), C 127 (Peso específico y absorción para agregado grueso), C 128 (Peso específico y absorción para agregado fino), C 40 (Impureza orgánica en agregado fino), C 88 (Sanidad por sulfato de sodio), C 131 (Desgaste a la abrasión) y C 289 (Reactividad álcali-sílice). El examen petrográfico (ASTM C 295) se realizó en el Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas como parte del análisis de propiedades químicas y mineralógicas.

Los ensayos en relación a la determinación de las características físicas que se efectuaron para el agregado grueso fueron: peso específico, peso unitario, porcentaje de vacíos, porcentaje de absorción, porcentaje de finos y granulometría. Para el agregado fino se realizó, además de los anteriores, un ensayo de contenido de materia orgánica. Como complemento a estos ensayos se evaluó la sanidad de los agregados fino y grueso, utilizando sulfato de sodio.

Para las propiedades mecánicas se practicó el ensayo en la máquina de Los Ángeles. Además, se realizó el ensayo de reactividad potencial de reducción por alcalinidad y sílice disuelta en el área de Química Industrial del CII.

Además de los ensayos para determinar las propiedades antes referidas, se realizaron mezclas de concreto, utilizando como aglomerante un cemento Portland con puzolanas, el cual cumple con los requisitos establecidos en la Norma ASTM C 1157 y corresponde a una categoría de resistencia de 4 000 psi.

Asimismo se realizaron diseños de mezcla para una resistencia de 20,68 MPa y 34,47 MPa. El volumen de las mezclas fue el necesario para crear 6 cilindros de 6" por 12", para cada resistencia, a los que se les ensayo a compresión mediante la Norma ASTM C 39.

4. ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN FÍSICA, QUÍMICA, MECÁNICA Y PETROGRÁFICA

4.1. Resultados de pruebas de caracterización de agregados

A continuación se presentan los resultados de los ensayos de laboratorio con su análisis e interpretación respectivos en base a la teoría expuesta en la Norma ASTM C 33. De aquí en adelante a la trituradora Morán se le nombrará como Banco 1 y a la trituradora El Capullo como Banco 2.

4.1.1. Resultados de pruebas de caracterización física

Se realizaron los ensayos básicos de calidad y requerimientos en el Centro de Investigaciones de Ingeniería conforme lo indicado en las normas específicas para caracterización física mencionadas en la Norma ASTM C 33; una copia del informe original de cada ensayo entregado por el CII se encuentra en el anexo de este trabajo. La información obtenida se muestra, analiza e interpreta a continuación.

4.1.1.1. Características físicas del agregado fino del Banco 1

Se realizaron nueve ensayos para la determinación de las características físicas del agregado fino, así como la granulometría respectiva.

Estos resultados se muestran de la siguiente manera, en la tabla XVI se muestran los porcentajes en peso de partículas que pasan cada tamiz, en la tabla XVII se muestran los valores de las características físicas y en la figura 4 la curva granulométrica.

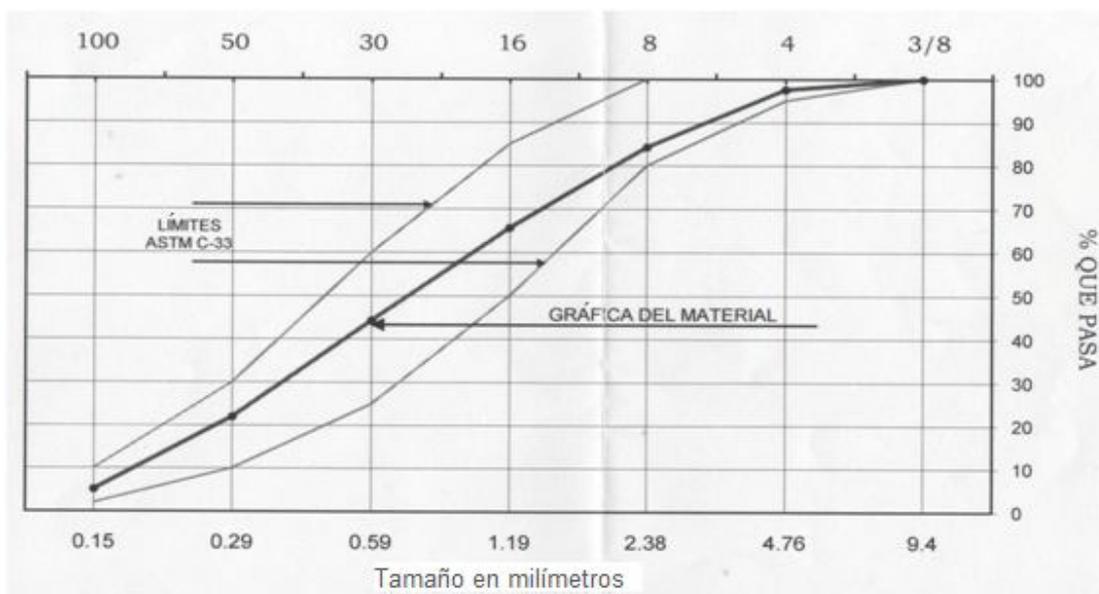
Tabla XVI. **Granulometría agregado fino del Banco 1**

Tamiz	Porcentaje que pasa
3/8 " (9,5 mm)	100,00
Nro. 4 (4,75 mm)	97,58
Nro. 8 (2,36 mm)	84,30
Nro. 16 (1,18 mm)	65,64
Nro. 30 (600 µm)	44,32
Nro. 50 (300 µm)	21,98
Nro. 100 (150 µm)	5,14

Tabla XVII. **Características físicas del agregado fino del Banco 1**

Característica	Valor
Peso específico	2,49
Peso unitario (kg/m ³)	1 537,58
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1 507,09
Porcentaje de vacíos	38,25
Porcentaje de absorción	2,54
Contenido de materia orgánica	2
% Retenido en tamiz 6,35	7,62
% que pasa tamiz 200	3,8
Módulo de finura	2,81

Figura 4. Curva granulométrica del agregado fino del Banco 1



Fuente: informe de análisis del agregado fino del Banco 1, CII.

Según los límites que establece la Norma ASTM C 33, del análisis de los resultados que aparecen en las tablas XVI y XVII, tenemos que:

- El contenido de materia orgánica, según la clasificación colorimétrica, fue 2, por debajo del límite especificado (3).
- El porcentaje que pasó por el tamiz 200 fue 3,8. El límite cuando se trata de arena manufacturada es 7%, y al ser la muestra una combinación de esta con arena natural se debe tomar este valor, por lo tanto se cumple con la especificación.
- El módulo de finura es 2,81, la especificación indica que debe estar entre 2,2 y 3,2. El valor se encuentra dentro del rango.
- Como puede observarse en la figura 4 la curva granulométrica se cumple en todos los tamices. Esto indica que la granulometría está dentro del rango establecido en la especificación.

Con respecto al peso específico se tienen como valores normales los que se encuentren entre 2,4 y 2,9, siendo agregados ligeros los que posean valores menores a 2,4, y valores mayores a 2,9 representan agregados pesados. Y dado que el peso específico es de 2,49, se puede concluir que es un agregado de peso normal, con porosidad y absorción normales como confirman los valores de porcentaje de absorción y porcentaje de vacíos.

Por lo tanto, el agregado fino del banco 1 cumple con todos los límites establecidos en la Norma ASTM C 33 y posee características físicas entre rangos normales, sin efectos que mermen propiedades fundamentales tanto del concreto fresco como del endurecido.

4.1.1.2. Características físicas del agregado grueso del Banco 1

Para las características físicas del agregado grueso se realizaron seis ensayos, así como la granulometría respectiva. Los resultados de dichos ensayos se muestran de la siguiente manera, en la tabla XIX los valores de las características físicas; en la tabla XVIII se encuentran los porcentajes que pasaron por cada tamiz para formar la curva granulométrica, que se puede observar en la figura 5.

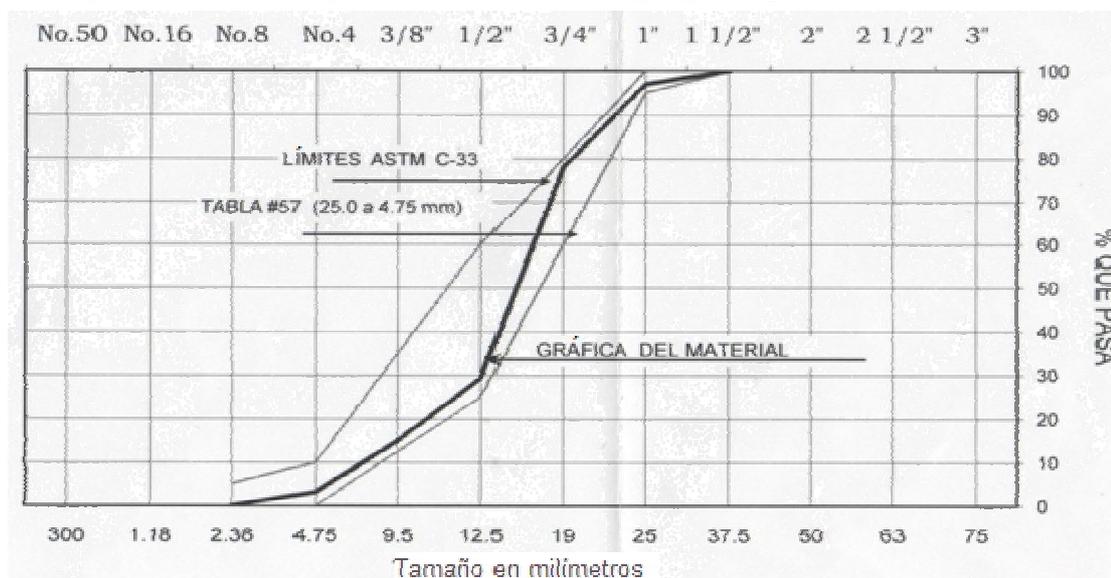
Tabla XVIII. Granulometría del agregado grueso del Banco 1

Tamiz	Porcentaje que pasa
1 1/2"	100,00
1"	96,97
3/4"	78,04
1/2"	29,17
3/8"	14,97
Nro. 4	3,07
Fondo	0,00

Tabla XIX. **Características físicas del agregado grueso del Banco 1**

Característica	Valor
Peso específico	2,55
Peso unitario (kg/m ³)	1 408,90
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1 317,07
Porcentaje de vacíos	44,75
Porcentaje de absorción	1,60
% tamiz 200	1,00

Figura 5. **Curva granulométrica del agregado grueso del Banco 1**



Fuente: informe de análisis del agregado grueso del Banco 1, CII.

Acorde a los límites que establece la Norma ASTM C 33, del análisis de los resultados que aparecen en las tablas XVIII y XIX, tenemos que:

- El porcentaje que pasó por el tamiz 200 fue 1,0. El límite para agregado grueso es de 1%, por lo tanto se cumple con la especificación.
- Como puede observarse en la figura 5 la curva granulométrica se cumple en todos los tamices. Esto indica que la granulometría está dentro del rango establecido en la especificación.

El agregado grueso del Banco 1 cumple con todos los límites establecidos en la Norma ASTM C 33, y a pesar de tener un porcentaje considerable de vacíos (44,75), su resistencia a la abrasión no se compromete.

Por su parte, el peso específico tiene un valor de 2,55, indicando que se tiene un agregado de peso normal. Asimismo se tiene un valor de porcentaje de absorción de 1,60, que revela un nivel bajo de porosidad. Lo anterior es lo que da como resultado una buena resistencia al desgaste, como se confirmará en el ensayo de desgaste por abrasión. Por lo tanto se puede decir que es apto para emplearlo como agregado en el concreto estructural.

4.1.1.3. Características físicas del agregado fino del Banco 2

Se realizaron nueve ensayos para la determinación de las características físicas del agregado fino, así como la granulometría respectiva. Estos resultados se muestran de la siguiente manera, en la tabla XX se muestran los porcentajes en peso de partículas que pasan cada tamiz, en la tabla XXI se muestran los valores de las características físicas y en la figura 6, la curva granulométrica.

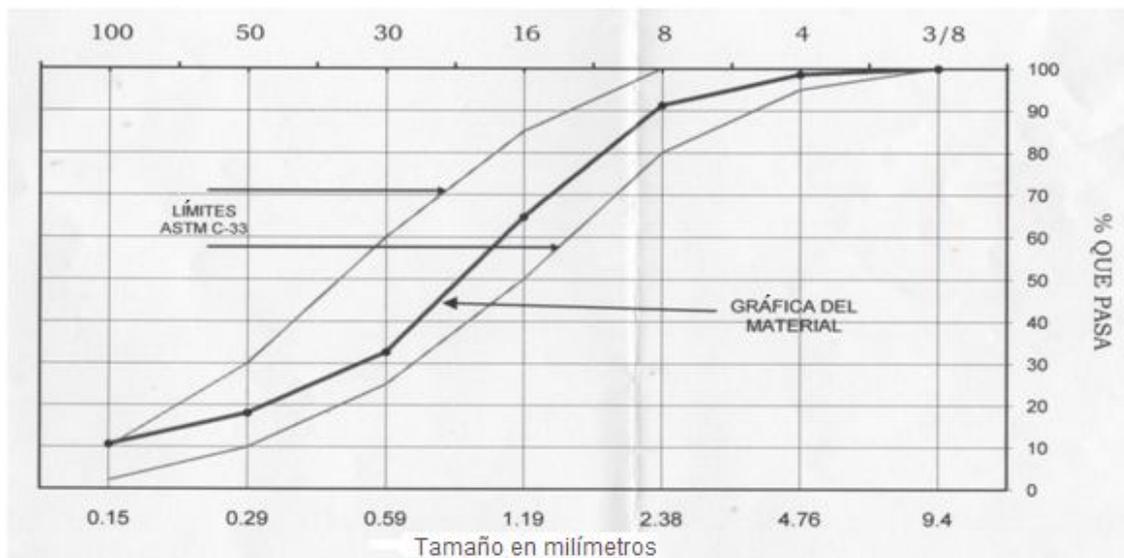
Tabla XX. **Granulometría del agregado fino del Banco 2**

Tamiz	Porcentaje que pasa
3/8" (9,5 mm)	100,00
Nro. 4 (4,75 mm)	98,60
Nro. 8 (2,36 mm)	91,24
Nro. 16 (1,18 mm)	64,80
Nro. 30 (600 µm)	32,68
Nro. 50 (300 µm)	18,14
Nro. 100 (150 µm)	10,66

Tabla XXI. **Características físicas del agregado fino del Banco 2**

Característica	Valor
Peso específico	2,48
Peso unitario (kg/m ³)	1 530,19
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1 455,39
Porcentaje de vacíos	38,18
Porcentaje de absorción	3,63
Contenido de materia orgánica	1,00
% que pasa tamiz 200	12,34
Módulo de finura	2,84

Figura 6. **Curva granulométrica del agregado fino del Banco 2**



Fuente: informe de análisis del agregado fino del Banco 2, CII.

En base a los límites que establece la Norma ASTM C 33, del análisis de los resultados que aparecen en las tablas anteriores tenemos que:

- El contenido de materia orgánica, según la clasificación colorimétrica, fue 1, encontrándose debajo del límite permitido (3).
- El porcentaje que pasó por el tamiz Nro. 200 fue 12,34. El límite cuando se trata de arena manufacturada es 7%, por lo tanto no se cumple con la especificación.

- El módulo de finura es 2,84, la especificación indica que debe estar entre 2,2 y 3,2. El valor se encuentra dentro del rango.
- Como puede observarse en la figura 6, la curva granulométrica se cumple en todos los tamices. Esto indica que la granulometría está dentro del rango establecido en la especificación.

Se cumple con la mayoría de los límites establecidos en la Norma ASTM C 33, pero no se cumple con el límite del porcentaje que pasa el tamiz Nro. 200. Esto indica un porcentaje de material muy fino mayor al recomendado.

Los datos de peso específico, peso unitario y porcentaje de absorción son características físicas propias del material, y dada la proximidad entre los bancos en estudio, estas deberían ser muy parecidas. Para tener una mejor visión de esto se tiene la siguiente tabla comparativa.

Tabla XXII. **Comparación de características físicas entre Banco 1 y 2**

Característica	Banco 2	Banco 1
Peso específico	2,48	2,49
Peso unitario (kg/m ³)	1 530,19	1 537,58
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1 455,39	1 507,09
Porcentaje de vacíos	38,18	38,25
Porcentaje de absorción	3,63	2,54

Como se puede ver todas las características son muy similares, mostrando igualdad en cuanto a peso y porosidad, a excepción del porcentaje de absorción, en el que existe una diferencia considerable. Esto se debe a una presencia considerable de material muy fino, lo que hace que exista una mayor superficie a cubrir.

4.1.1.4. Características físicas del agregado grueso del Banco 2

Para las características físicas del agregado grueso se realizaron seis ensayos, así como la granulometría respectiva. Los resultados de dichos ensayos se muestran de la siguiente manera, en la tabla XXIV los valores de las características físicas; en la tabla XXIII se encuentran los porcentajes que pasaron por cada tamiz, de los cuales se forma la curva granulométrica que se puede observar en la figura 7.

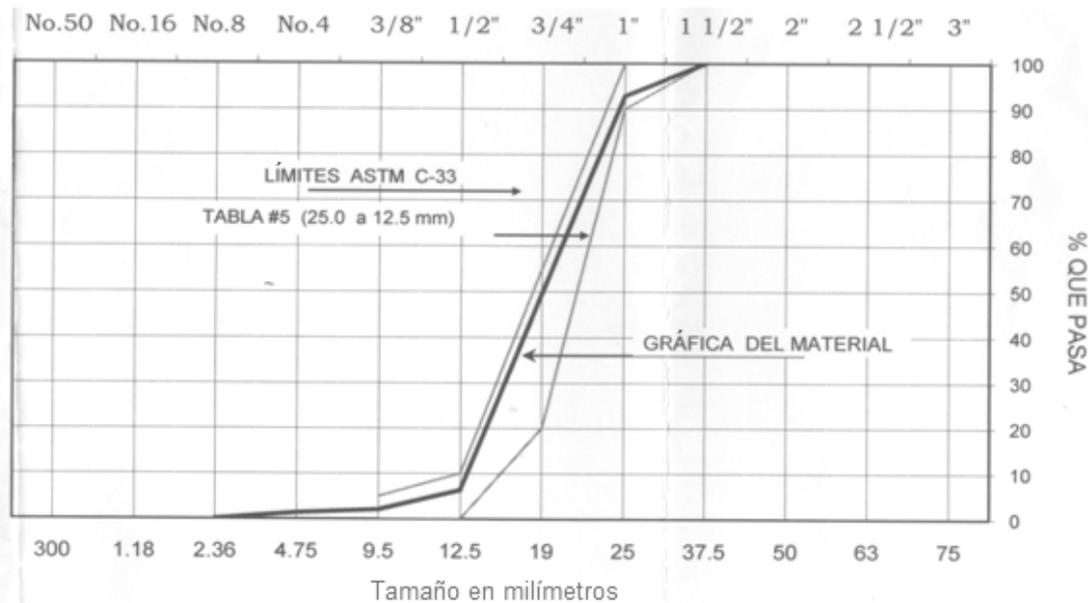
Tabla XXIII. **Granulometría del agregado grueso del Banco 2**

Tamiz	Porcentaje que pasa
1 1/2"	100,00
1"	92,82
3/4"	49,56
1/2"	6,33
3/8"	2,03
Nro. 4	1,31
Nro. 8	0,00

Tabla XXIV. **Características físicas del agregado grueso del Banco 2**

Característica	Valor
Peso específico	2,61
Peso unitario (kg/m ³)	1 419,19
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1 313,38
Porcentaje de vacíos	45,66
Porcentaje de absorción	0,66
% que pasa tamiz 200	2,59

Figura 7. Curva granulométrica del agregado grueso del Banco 2



Fuente: informe de análisis del agregado fino del Banco 1, CII.

De los límites que establece la Norma ASTM C 33 y el análisis de los resultados que aparecen en las tablas anteriores tenemos que:

- El porcentaje que pasó por el tamiz 200 fue 2,59. El límite para agregado grueso es de 1%, por lo tanto no se cumple con la especificación.
- Como puede observarse en la figura 7, la curva granulométrica se cumple en todos los tamices. Esto indica que la granulometría está dentro del rango establecido en la especificación.

El peso específico tiene un valor de 2,61, indicando que se tiene un agregado de peso normal. Asimismo se tiene un valor de porcentaje de absorción de 0,66, que revela un nivel bajo de porosidad. Estas características son muy similares a las del agregado grueso del Banco 1, lo que iguala a ambas muestras en cuanto a peso, porosidad y resistencia al desgaste.

En la misma manera que el agregado fino, con el agregado grueso no se cumple el límite que recomienda la norma en el porcentaje de material que pasa el tamiz Nro. 200. Indicando la presencia de material muy fino mayor a la recomendada.

Al indagar sobre este resultado en ambas muestras de material del Banco 2, según STP 169C² se han realizado numerosos estudios sobre el uso de material fino manufacturado, indicando que porcentajes elevados de partículas que pasan el tamiz Nro. 200 (de hasta 18%) pueden beneficiar la reología y trabajabilidad de la mezcla de concreto, sin comprometer las propiedades del concreto. Pruebas de campo en secciones de pavimento de concreto, utilizando agregados manufacturados con partículas muy finas, han mostrado buen potencial para usos satisfactorios de estos materiales.

Aunque factores como aditivos adecuados, incremento en la demanda de agua, incremento en la edad de contracción y que la constitución mayoritaria de partículas finas provenga de polvo de trituración libres de componentes deletéreos, están siendo evaluados.

Las muestras de material fino y grueso del Banco 2 no contienen componentes deletéreos, como se verá más adelante, y el material muy fino proviene de polvo de trituración.

Por ende, mediante el uso de un aditivo y sistema de control de calidad adecuados, estos materiales arrojarán resultados satisfactorios a la hora de ser utilizados como agregado para concreto estructural.

² *Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete Making Materials*, STP 169C, ASTM, 1994

4.1.1.5. Resultados de la prueba de sanidad o bondad de los agregados por sulfato de sodio

La prueba de bondad del agregado fino de ambas trituradoras se aplicó a cinco diferentes muestras representativas de diferentes tamaños de tamices (Nro. 100, Nro. 50, Nro. 30, Nro. 16 y Nro. 8), con una cantidad de 100 g de material retenido en dichos tamices. Para el agregado grueso se emplearon muestras representativas de los tamices de 3/4", 3/8" y Nro. 4, con una cantidad de material retenido de 1 500 g, 1 000 g y 300 g respectivamente.

Cada muestra se sumergió por un período de 18 horas en una solución de sulfato de sodio, siendo ésta preparada en una relación de 250 g por cada litro. Este procedimiento se realizó 5 veces con lo que se obtuvieron los resultados de desgaste del material.

A esta prueba se le suele denominar prueba de resistencia a la intemperie del agregado, ya que acciona mediante la solución empleada una serie de cambios en el material debidos al congelamiento en forma de cristales de dicha solución, lo que simula la acción del clima a la que se ve sometido el agregado.

Al tener una cantidad determinada de material al inicio de la prueba y compararlo con la cantidad existente al final de la misma se obtiene el porcentaje de desgaste que sufrió el material. Es así como obtenemos los porcentajes de desgaste en promedio del agregado tanto fino como grueso de cada banco, los que se muestran en las tablas XXV y XXVI.

Tabla XXV. **Porcentaje de desgaste por sulfato de sodio en agregado fino**

Muestra	Porcentaje de desgaste promedio
Banco 1	8,34
Banco 2	6,12

Tabla XXVI. **Porcentaje de desgaste por sulfato de sodio en agregado grueso**

Muestra	Porcentaje de desgaste promedio
Banco 1	11,14
Banco 2	6,36

En la sección sobre sanidad de agregados de la Norma ASTM C 33, se especifica que el agregado fino deberá tener una pérdida de peso promedio no mayor del 10% y para el agregado grueso no mayor del 12%, cuando se use sulfato de sodio.

Se puede observar en las tablas anteriores que los valores obtenidos para los dos bancos son menores a los porcentajes máximos permisibles, con lo cual se concluye que la sanidad de los agregados de ambos bancos, tanto fino como grueso, será satisfactoria al verse sometidos a la acción del clima como parte del concreto. Una copia del informe original dado por el CII con los resultados aquí analizados se encuentra en el anexo de este trabajo.

4.1.2. Resultados de pruebas de caracterización química.

Para la caracterización química se realizó el ensayo para la determinación de la reactividad potencial de agregados según la Norma ASTM C 289. El ensayo se hizo en muestras de material pulverizado retenido en el tamiz Nro. 100, tanto de agregado fino como de agregado grueso. Los valores obtenidos en dicha prueba deben ser muy parecidos para ambas muestras, ya que los agregados provienen del mismo banco, cuyo origen se encuentra en la desintegración del mismo tipo de rocas.

Para ambas trituradoras el resultado de la prueba para las muestras de agregado fino y grueso fue inocuo, asegurando que no habrá reacción dañina o de riesgo entre los componentes sílices del agregado y el álcali del cemento.

Los valores y el resultado de dicho ensayo se muestran en una copia del informe original entregado por la sección de Química Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería, en el anexo de este trabajo.

A pesar del resultado satisfactorio de esta prueba, la norma establece en su tercer inciso que la información obtenida con este ensayo no es completamente fiable en todos los casos y debe complementarse con otros métodos (ASTM C 295 y/o ASTM C 227).

4.1.3. Resultados de pruebas de caracterización mecánica.

Las muestras para el ensayo de desgaste por abrasión en la máquina de Los Ángeles se obtienen de la granulometría del agregado grueso. De dicha granulometría se define el tipo de graduación de la prueba, la cual dio como resultado para el agregado del Banco 1, del tipo B, y para el agregado del Banco 2, del tipo A. Con base en la Norma ASTM C 131 descrita en capítulos anteriores se obtuvieron las especificaciones necesarias para realizar el procedimiento adecuado para cada tipo de graduación.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos tras la realización del ensayo.

Tabla XXVII. **Porcentaje de desgaste por abrasión del agregado grueso**

Referencias	Muestra Banco 1	Muestra Banco 2
Graduación	"B"	"A"
Porcentaje de desgaste	20,62	18,74

En la Norma ASTM C 33, en la tabla 3 se especifica un valor máximo permisible de porcentaje de abrasión de 50%. Este valor es igual al especificado en el libro "Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes" (Libro Azul), el cual se basa en la Norma AASHTO T 96, para agregados a ser utilizados en capas de bases y sub-bases de pavimentos. En base a esto y a los valores mostrados en la tabla XXVII se puede ver que el porcentaje de abrasión del agregado grueso de ambas trituradoras se encuentra por debajo del máximo permisible, por tanto el agregado posee la dureza y tenacidad necesarias para trabajar satisfactoriamente en concreto estructural y en bases y sub-bases de pavimentos.

4.1.4. Resultados de pruebas de caracterización petrográfica

Se tomaron muestras representativas de cada tamiz obtenidas de la granulometría del material. Para realizar el ensayo al agregado fino se requirió de la asistencia de un microscopio estereoscópico perteneciente al Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas. Para el agregado grueso fue suficiente un análisis visual de las partículas que conformaban las muestras de cada número de tamiz.

4.1.4.1. Agregado fino del Banco 2

De las muestras representativas de cada tamiz se tomó un número mínimo de 150 partículas con el fin de realizar una clasificación por grupos de similares características minerales.

De esta clasificación surgieron los siguientes tipos de minerales: Brecha Andesítica, Andesita, Brecha Cuarzosa y Cuarzo. A continuación se muestran los resultados de dicha clasificación.

Tabla XXVIII. **Conteo de los tipos de partículas que componen el agregado fino del Banco 2**

Tipo	Número de partículas por tamiz				
	Nro. 4 (4,75 mm)	Nro. 8 (2,36 mm)	Nro. 16 (1,18 mm)	Nro. 30 (600 µm)	Nro. 50 (300 µm)
Brecha Andesítica	102	82	55	70	93
Brecha Cuarzosa	19	24	30	34	18
Andesita	25	53	55	29	18
Cuarzo	4	2	10	18	27
Totales	150	161	150	151	156

Tabla XXIX. **Porcentaje de partículas que componen el agregado fino por tamiz del Banco 2**

Tipo	Porcentaje de partículas por tamiz					Porcentaje promedio
	Nro. 4 (4,75 mm)	Nro. 8 (2,36 mm)	Nro. 16 (1,18 mm)	Nro. 30 (600 µm)	Nro. 50 (300 µm)	
Brecha Andesítica	68,00	50,93	36,67	46,36	59,62	52,31
Brecha Cuarzosa	12,67	14,91	20,00	22,52	11,54	16,33
Andesita	16,67	32,92	36,67	19,21	11,54	23,40
Cuarzo	2,67	1,24	6,67	11,92	17,31	7,96
Totales	100	100	100	100	100	100

Al observar las tablas anteriores se puede notar que las muestras de agregado fino provenientes del Banco 2, obtenidas en el Río Tamazulapa, contienen en su mayoría la roca del tipo Brecha Andesítica. La Brecha Andesítica es una masa rocosa constituida por fracciones de rocas de diferentes tamaños y formas, caracterizadas por tener una masa de mineralogía y textura obliterada acompañada de fragmentos escasamente alterados de Andesitas. Contiene también pequeños fragmentos de Dacita y Riolita, pero como porciones microscópicas incrustadas en los fragmentos de Andesita.

De ahí que el tipo de roca que posee el segundo mayor porcentaje de partículas sea la Andesita. De esta roca podemos decir que es seguro utilizarla como agregado para concreto estructural ya que no causará reacciones químicas dañinas y posee propiedades físicas y mecánicas satisfactorias. Las citadas propiedades se pueden observar en la tabla XXX.

Tabla XXX. **Propiedades físicas y mecánicas de la Andesita**

Propiedad	Valor
Tensión (kgf/cm ²)	60 – 120
Peso específico aparente	2,5 - 2,8
Porosidad (%)	1,7
Ángulo de rozamiento interno (°)	45
Absorción (%)	0,87
Resistencia a la compresión simple (kgf/cm ²)	300 – 4 200
Resistencia al corte (kgf/cm ²)	50 – 130

Fuente: Recalde, Eduardo. Metodología de planificación minera a corto plazo y diseño minero a mediano plazo en cantera pifo. www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6094/6/Recalde%20Eduardo%20Tesis.pdf.

Se puede ver también que los porcentajes de Brecha Cuarzosa y Cuarzo constituyen valores mínimos, haciendo que su tendencia a una reactividad álcali-sílice disminuya y no tenga consecuencias dañinas para el concreto. Así como también las rocas con presencia de cuarzo presentan una resistencia a la compresión que supera los 500 MPa (5 000 kgf/cm²), teniendo su dureza un valor de 7 en la escala de Mohs y un peso específico aparente de 2,65. Por tanto, cuando existe una mayor presencia de cuarzo en una roca la resistencia a la compresión y tracción aumenta. Se puede afirmar entonces, que este componente mineral en el agregado no será un factor de reducción en la resistencia del concreto.

Para una mejor visualización e interpretación de estos componentes minerales en los agregados se presentan las gráficas en las figuras 8 y 9.

Figura 8. **Distribución de los diferentes tipos de partículas de roca según número de tamiz del agregado fino del Banco 2**

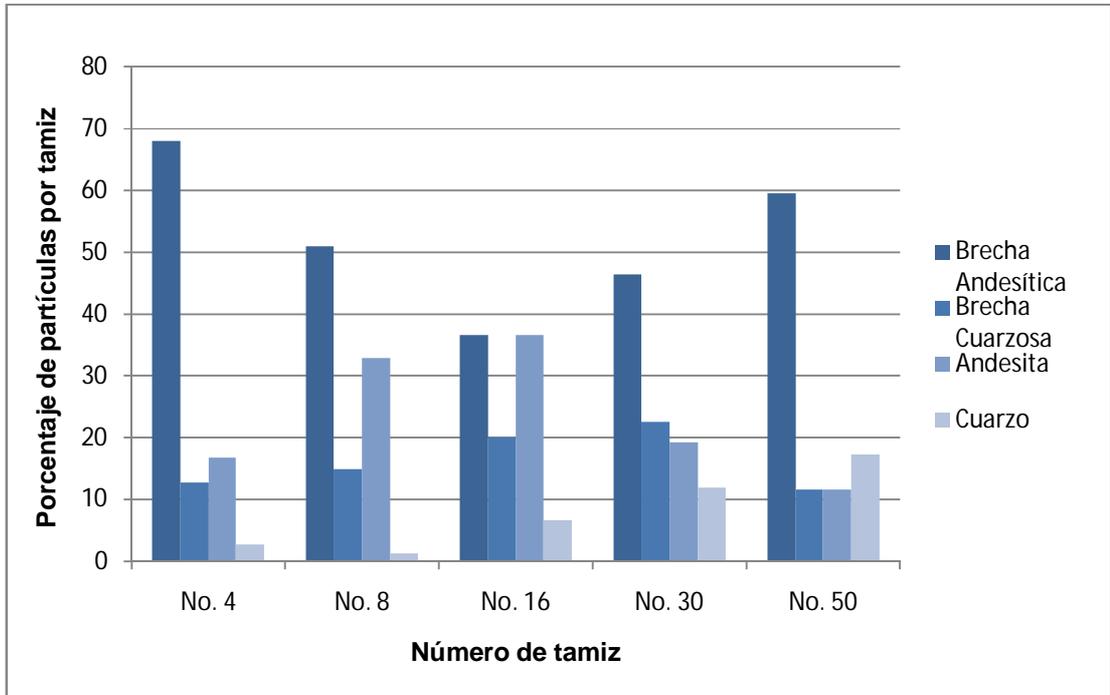
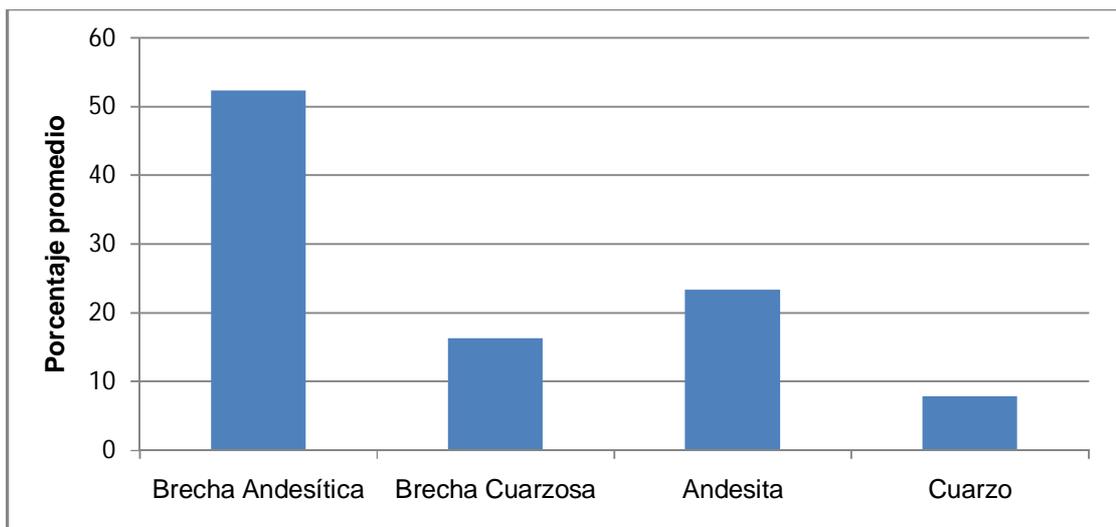


Figura 9. **Contenido promedio de los tipos de roca en el agregado fino del Banco 2**



Por tanto es correcto concluir que las muestras de agregado fino provenientes del Banco 2 contienen en su mayoría partículas de rocas estables que no serán la causa de daños a la estructura del concreto.

4.1.4.2. Agregado grueso del Banco 2

El análisis del agregado grueso se hizo mediante una observación macroscópica y se encontró el mismo tipo de clasificación de rocas que para el agregado fino, rocas del tipo Brecha Andesítica, Andesita, Brecha Cuarzosa y Cuarzo. Con un mayor porcentaje de partículas de Brecha Andesítica. Y como se analizó en el apartado del agregado fino, el interés se centra en el tipo de roca Andesita, de la cual, tras el respectivo análisis y estudio, se obtuvieron las siguientes características:

- Tipo de roca: ígnea volcánica
- Composición mineral: plagioclasa, piroxeno y/u hornablenda
- Color: negro azabache, gris, gris-verdoso, rojizo-café
- Textura: porfídica con fenocristales de plagioclasa
- Estructura: densa y micro cristalina

Esta roca es apta para emplearse como agregado para concreto estructural, ya que como vimos en el análisis del agregado fino sus propiedades físicas poseen valores satisfactorios y su composición mineral está libre de agentes propicios a causar reacciones químicas adversas.

4.1.4.3. Agregado fino del Banco 1

Al igual que el agregado fino del Banco 2 se tomaron muestras representativas de cada tamiz con un número mínimo de 150 partículas, a fin de realizar una clasificación por grupos de similares características minerales. De esta clasificación surgieron los siguientes tipos de minerales: Brecha Andesítica, Andesita, Brecha Cuarzosa y Cuarzo. La similitud entre las trituradoras se debe a que ambas muestras se obtienen de ríos que se encuentran en la misma región y relativamente cercanos entre sí, por lo que los tipos de rocas tienen un mismo origen. A continuación se muestran los resultados de dicha clasificación.

Tabla XXXI. **Conteo de los tipos de partículas que componen el agregado fino del Banco 1**

Tipo	Número de partículas por tamiz				
	Nro. 4 (4,75 mm)	Nro. 8 (2,36 mm)	Nro. 16 (1,18 mm)	Nro. 30 (600 µm)	Nro. 50 (300 µm)
Brecha Andesítica	90	72	91	80	75
Brecha Cuarzosa	18	31	19	21	23
Andesita	30	33	36	34	28
Cuarzo	9	21	15	17	25
Totales	147	157	161	152	151

Tabla XXXII. **Porcentaje de partículas que componen el agregado fino por tamiz del Banco 1**

Tipo	Porcentaje de partículas por tamiz					Porcentaje promedio
	Nro. 4 (4,75 mm)	Nro. 8 (2,36 mm)	Nro. 16 (1,18 mm)	Nro. 30 (600 µm)	Nro. 50 (300 µm)	
Brecha Andesítica	61,22	45,86	56,52	52,63	49,67	53,18
Brecha Cuarzosa	12,24	19,75	11,80	13,82	15,23	14,57
Andesita	20,41	21,02	22,36	22,37	18,54	20,94
Cuarzo	6,12	13,38	9,32	11,18	16,56	11,31
Totales	100	100	100	100	100	100,00

Al observar las tablas anteriores se puede notar que, al igual que en el Banco 2, las muestras de agregado fino provenientes del Banco 1, contienen en su mayoría la roca del tipo Brecha Andesítica, siguiéndole la Andesita. Se nota también un ligero aumento en la cantidad de Cuarzo, pero no es lo suficientemente grande como para tener consecuencias de riesgo.

Por lo que, el agregado fino del Banco 1, al igual que el Banco 2, no contiene en su mayoría partículas de rocas que puedan ser la causa de daños a la estructura del concreto.

Para tener una mejor visión e interpretación de estos resultados se presentan las figuras 10 y 11, que muestran tanto el porcentaje de partículas de cada tipo de roca por tamiz, como el porcentaje promedio de cada tipo de roca.

Figura 10. **Distribución de los diferentes tipos de partículas de roca según número de tamiz del agregado fino del Banco 1**

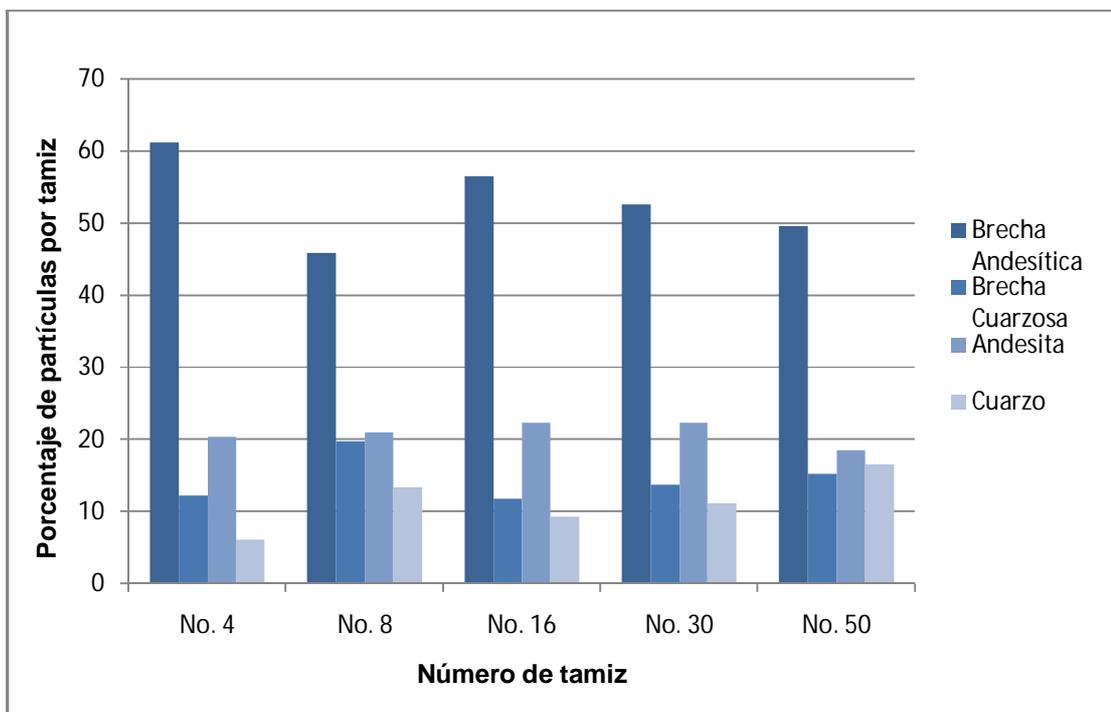
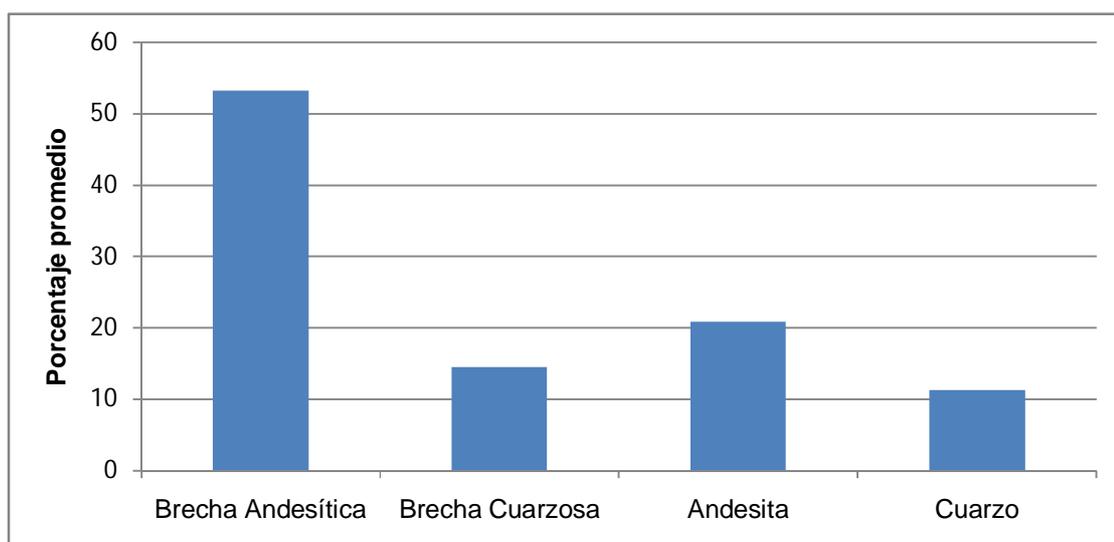


Figura 11. **Contenido promedio de los tipos de roca en el agregado fino del Banco 1**



4.1.4.4. Agregado grueso del Banco 1

Al igual que el análisis del agregado grueso del Banco 2, el análisis se hizo mediante una observación macroscópica y se encontró el mismo tipo de clasificación de rocas que para el agregado fino, rocas del tipo Brecha Andesítica, Andesita, Brecha Cuarzosa y Cuarzo. Con un mayor porcentaje de partículas de Brecha Andesítica. Y al igual que el Banco 2, el interés se centra en el tipo de roca Andesita, con las características vistas en el apartado del análisis del Banco 2.

Por lo tanto, se concluye que ambos bancos poseen material (grueso y fino) adecuado para ser empleado como agregado para concreto estructural, y los agentes o propiedades que puedan ser nocivos para el mismo se presentan en cantidades lo suficientemente pequeñas para ser inocuos.

5. DISEÑO DE MEZCLA PARA CONCRETO ESTRUCTURAL

Con el fin de observar el comportamiento de los agregados, ya como componentes del concreto estructural, se realizaron mezclas para dos diferentes resistencias, de 20,68 MPa (210 kgf/cm²) y de 34,47 MPa (352 kgf/cm²).

Proporcionar o diseñar una mezcla de concreto, consiste en determinar las cantidades relativas de materiales necesarios en la mezcla, a fin de obtener un concreto adecuado para un uso determinado.

Estas mezclas se utilizaron luego para crear cilindros de 6" de diámetro y 12" de alto, para ser ensayados a compresión en base a la Norma ASTM C 39, a fin de conocer la resistencia de la mezcla de concreto a 3, 7 y 28 días después de realizada. Se utilizó un cemento Portland con puzolanas, el cual cumple con los requisitos establecidos en la Norma ASTM C 1157 y corresponde a una categoría de resistencia de 4 000 psi (27,58 MPa).

5.1. Diseño de mezcla con agregados del Banco 1

5.1.1. Diseño de concreto con resistencia de 20,68 MPa (210 kgf/cm²)

Para el diseño de la mezcla con resistencia de 20,68 MPa, al igual que para el diseño con resistencia de 34,47 MPa, se utilizaron las características físicas (Peso unitario y análisis granulométrico) de los agregados, obtenidas en el ensayo de caracterización física.

Con la ayuda de estos datos se realizó el diseño bajo las siguientes especificaciones:

Resistencia nominal	210
Resistencia promedio requerida	246
Relación Agua/Cemento	0,57
Asentamiento	8 – 10 cm

La resistencia promedio requerida y la relación agua/cemento se obtuvieron en base a principios y consideraciones técnicas del comité 211 y 214 del ACI (Instituto Americano del Concreto), ver tablas en anexo. El asentamiento en la práctica resultó ser de 8 cm, medidos mediante la prueba de consistencia del concreto fresco, utilizando el cono de Abrams.

Figura 12. **Medida del asentamiento por medio del cono de Abrams**



Con los datos anteriores se obtuvieron las proporciones mostradas en la tabla XXXIII.

Tabla XXXIII. **Proporciones en peso y volumen a utilizar en mezcla de concreto de 20,68 MPa del Banco 1**

Concreto Normal $f'_c = 210 \text{ kgf/cm}^2$			
Materiales	Proporción en peso	Proporción volumétrica para 1 saco de cemento	Proporción en volumen (kg/m³)
Cemento	1	1 saco	350,88
Arena	2,32	65,42	813,61
Piedrín / Grava	2,95	95,19	1 035,51
Agua / Cemento	0,57	24,23	200*

*A la hora de realizar la mezcla se hizo una modificación en la cantidad de agua, de 200 L/m³ a 238,10 L/m³, debido a una falta de humedad en los agregados.

Una copia del informe original entregado por el Centro de Investigaciones se encuentra en el anexo del presente trabajo.

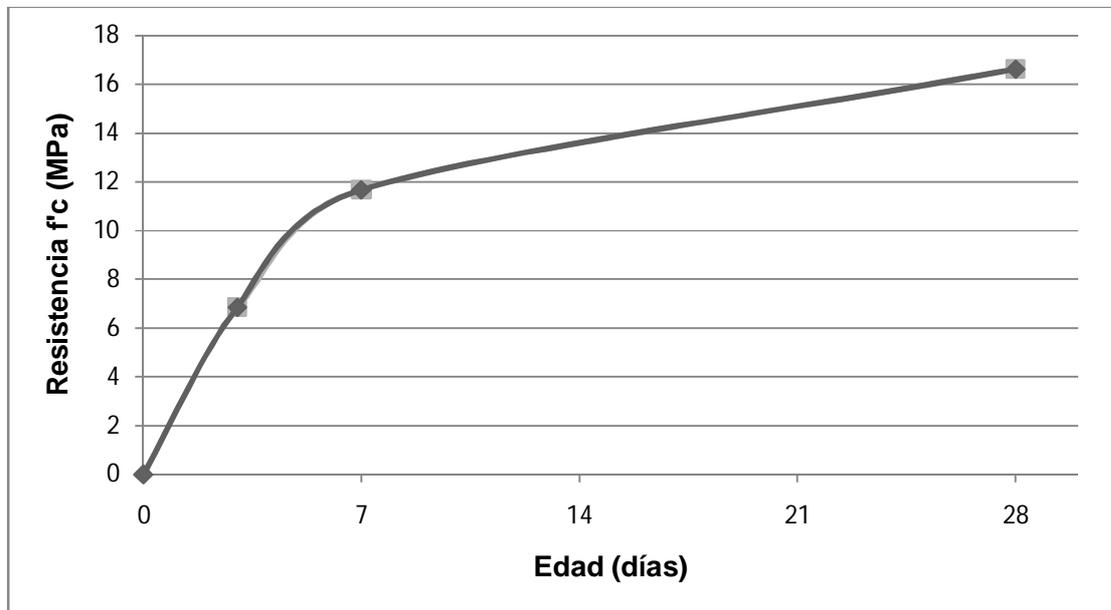
Con base en estas proporciones, se realizó una mezcla de concreto con el volumen necesario para crear 6 cilindros de prueba (6" por 12"). Se ensayó a 3, 7 y 28 días dos cilindros con lo que se obtuvo la carga última soportada. Al dividir este dato por el área de la sección transversal promedio del espécimen se obtuvo el esfuerzo de compresión. Se concretaron los siguientes resultados:

Tabla XXXIV. **Resistencia f'_c promedio por edad para concreto de 20,68 MPa del Banco 1**

Edad (días)	Esfuerzo a compresión Mpa (kgf/cm²)	Porcentaje del esfuerzo teórico (20,68 MPa)
3	6,86 (69,99)	33
7	11,68 (119,10)	54
28	16,63 (169,59)	80

Para tener una mejor visión de estos resultados se presenta la gráfica esfuerzo – edad en la figura 13.

Figura 13. **Gráfica esfuerzo – edad de concreto de 20,68 MPa del Banco 1**



5.1.2. **Diseño de concreto con resistencia de 34,47 MPa (352 kgf/cm²)**

Para el diseño de la mezcla con resistencia de 34,47 MPa se utilizaron las siguientes especificaciones:

Resistencia nominal	352 kgf/cm ²
Resistencia promedio requerida	387 kgf/cm ²
Relación Agua/Cemento	0,47
Asentamiento	8 – 10 cm

La resistencia promedio requerida y la relación agua/cemento se obtuvieron en base a principios y consideraciones técnicas del comité 211 y 214 del ACI (Instituto Americano del Concreto), ver tablas en anexo.

El asentamiento en la práctica resultó ser de 5,5 cm, medidos con el cono de Abrams. Este asentamiento depende de la cantidad de agua de la mezcla, el valor obtenido indica que hubo un cambio en dicha cantidad.

Con esta información se obtuvieron las proporciones mostradas en la tabla siguiente:

Tabla XXXV. **Proporciones en peso y volumen a utilizar en mezcla de concreto de 34,47 MPa del Banco 1**

Concreto Normal $f'_c = 352 \text{ kgf/cm}^2$			
Materiales	Proporción en peso	Proporción volumétrica para 1 saco de cemento	Proporción en volumen (kg/m³)
Cemento	1	1 saco	425,53
Arena	1,83	51,61	780,77
Piedrín / Grava	2,34	75,51	993,7
Agua / Cemento	0,47	19,98	200*

*A la hora de realizar la mezcla se hizo una modificación en la cantidad de agua, de 200 L/m³ a 222,62 L/m³, debido a una falta de humedad en los agregados.

Una copia del informe original entregado por el Centro de Investigaciones se encuentra en el anexo de este trabajo.

Al igual que para la mezcla con resistencia de 20,68 MPa se ensayó a 3, 7 y 28 días 6 cilindros de prueba (6" por 12") con lo que se obtuvo la carga última soportada que al dividirla por el área de la sección transversal promedio del espécimen se obtuvo el esfuerzo de compresión.

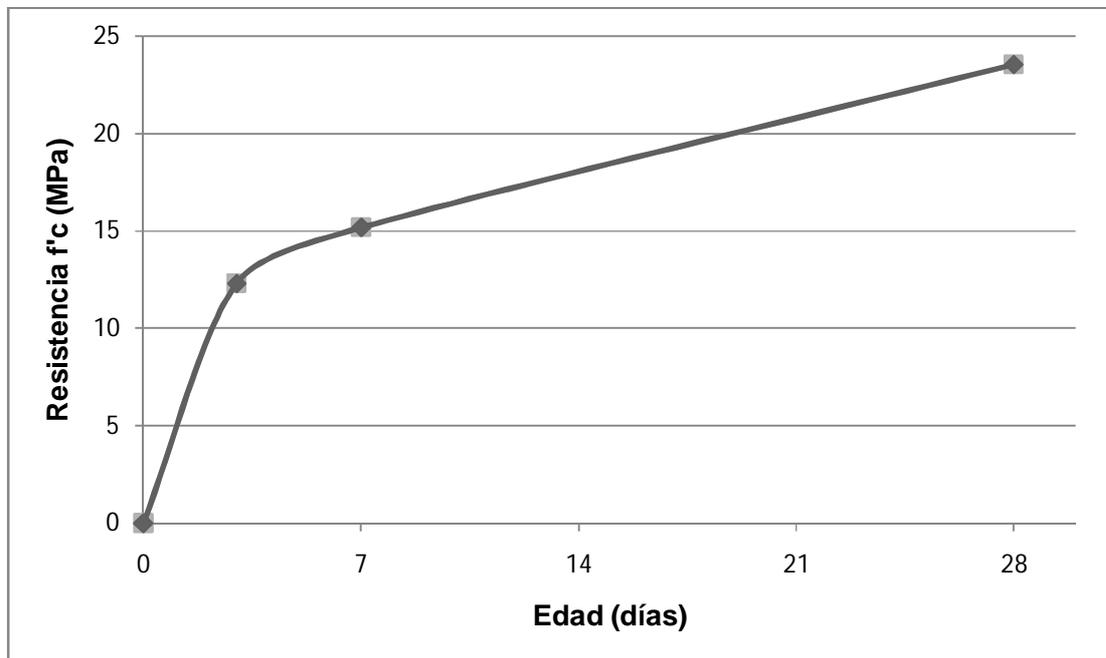
Se concretaron los siguientes resultados:

Tabla XXXVI. **Resistencia f'c promedio por edad para concreto de 34,47 MPa del Banco 1**

Edad (días)	Esfuerzo a compresión MPa (kgf/cm ²)	Porcentaje del esfuerzo teórico (34,47 MPa)
3	12,31 (125,49)	36
7	15,17 (154,69)	44
28	23,53 (239,96)	68

Para tener una mejor visión de estos resultados se presenta la gráfica esfuerzo – edad en la figura 14.

Figura 14. **Gráfica esfuerzo - edad de concreto de 34,47 MPa del Banco 1**



5.2. Diseño de mezcla con agregados del Banco 2

5.2.1. Diseño de concreto con resistencia de 20,68 MPa (210 kgf/cm²)

Al igual que en el Banco 1, para el diseño de la mezcla con resistencia de 20,68 MPa y resistencia de 34,47 MPa se utilizaron las características físicas (Peso Unitario y análisis granulométrico) de los agregados, obtenidas en el ensayo de caracterización física para el Banco 2. Con la ayuda de estos datos se realizó el diseño bajo las siguientes especificaciones:

Resistencia nominal	210 kgf/cm ²
Resistencia promedio requerida	246 kgf/cm ²
Relación Agua/Cemento	0,57
Asentamiento	8 – 10 cm

La resistencia promedio requerida y la relación agua/cemento se obtuvieron en base a principios y consideraciones técnicas del comité 211 y 214 del ACI (Instituto Americano del Concreto), ver tablas en anexo.

El asentamiento en la práctica resultó ser de 7 cm, medidos con el cono de Abrams, indicando un cambio en la cantidad de agua de la mezcla.

Con estos datos se obtuvieron las proporciones mostradas en la tabla siguiente:

Tabla XXXVII. **Proporciones en peso y volumen a utilizar en mezcla de concreto de 20,68 MPa del Banco 2**

Concreto Normal $f'_c = 210 \text{ kgf/cm}^2$			
Materiales	Proporción en peso	Proporción volumétrica para 1 saco de cemento	Proporción en volumen (kg/m^3)
Cemento	1	1 saco	342,11
Arena	2,29	66,87	782,41
Piedrín / Grava	3,16	102,26	1 080,48
Agua / Cemento	0,57	24,23	195*

*A la hora de realizar la mezcla se hizo una modificación en la cantidad de agua, de 195 L/m³ a 214,29 L/m³, debido a una falta de humedad en los agregados.

Una copia del informe original entregado por el Centro de Investigaciones se encuentra en el anexo de este trabajo.

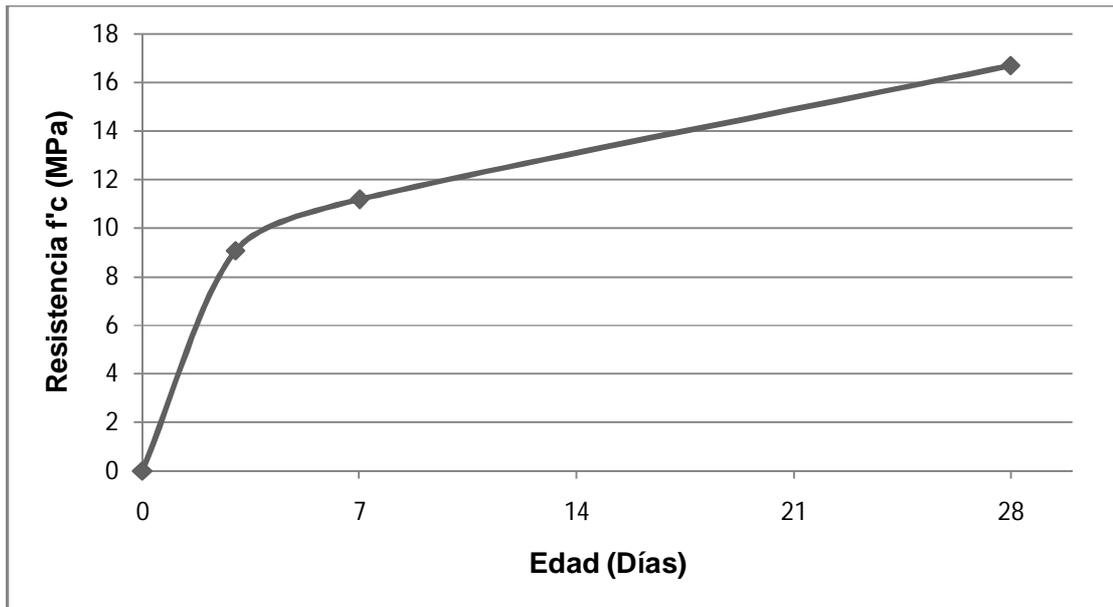
Al ensayar los cilindros y calcular el esfuerzo a compresión, se tienen los siguientes resultados:

Tabla XXXVIII. **Resistencia f'_c promedio por edad para concreto de 20,68 MPa del Banco 2**

Edad (días)	Esfuerzo a compresión MPa (kgf/cm^2)	Porcentaje del esfuerzo teórico (20,68 MPa)
3	9,06 (92,39)	44
7	11,19 (114,08)	54
28	16,69 (170,24)	81

Para tener una mejor visión de estos resultados se presenta la gráfica esfuerzo – edad en la siguiente figura.

Figura 15. **Gráfica esfuerzo - edad de concreto de 20,68 MPa del Banco 2**



5.2.2. **Diseño de concreto con resistencia de 34,47 MPa (352 kgf/cm²)**

Se realizó el diseño en base a las siguientes especificaciones:

Resistencia nominal	352 kgf/cm ²
Resistencia promedio requerida	387 kgf/cm ²
Relación Agua/Cemento	0,43
Asentamiento	8 – 10 cm

La resistencia promedio requerida y la relación agua/cemento se obtuvieron en base a principios y consideraciones técnicas del comité 211 y 214 del ACI (Instituto Americano del Concreto), ver tablas en anexo. El asentamiento en la práctica resultó ser de 6,5 cm, medidos con el cono de Abrams, indicando un cambio en la cantidad de agua de la mezcla.

Con estos datos se obtuvieron las siguientes proporciones:

Tabla XXXIX. **Proporciones en peso y volumen a utilizar en mezcla de concreto de 34,47 MPa del Banco 2**

Concreto Normal $f'_c = 352 \text{ kgf/cm}^2$			
Materiales	Proporción en peso	Proporción volumétrico para 1 saco de cemento	Proporción en volumen (kg/m^3)
Cemento	1	1 saco	453,49
Arena	1,62	47,31	737,63
Piedrín / Grava	2,24	72,48	1 015,88
Agua / Cemento	0,43	18,28	195*

*A la hora de realizar la mezcla se hizo una modificación en la cantidad de agua, de 195 L/m³ a 214,29 L/m³, debido a una falta de humedad en los agregados.

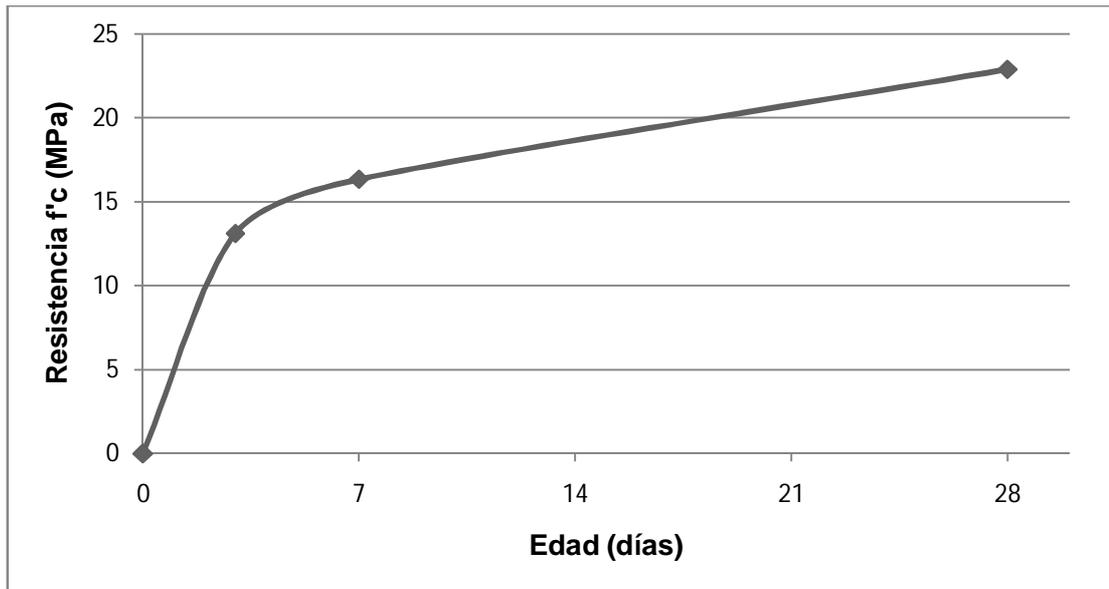
Al ensayar los cilindros y calcular el esfuerzo a compresión, se tuvieron los siguientes resultados:

Tabla XL. **Resistencia f'_c promedio por edad para concreto de 34,47 MPa del Banco 2**

Edad (días)	Esfuerzo a compresión MPa (kgf/cm^2)	Porcentaje del esfuerzo teórico (34,47 MPa)
3	13,11 (133,70)	38
7	16,34 (166,68)	47
28	22,89 (233,43)	66

Para tener una mejor visión de estos resultados se presenta la gráfica esfuerzo – edad en la siguiente figura.

Figura 16. **Gráfica esfuerzo - edad de concreto de 34,47 MPa del Banco 2**



5.3. Análisis e interpretación de resultados

5.3.1. Comparación entre bancos en estudio

Se puede notar que los resultados de la resistencia a la compresión del concreto hecho con los agregados de cada banco tienden a acercarse al valor para el cual fueron diseñados, sin embargo, a los 28 días no se consigue alcanzar dicho valor.

Para un concreto de resistencia de 20,68 MPa (210 kgf/cm²) se consiguió en promedio un 80% de este valor, y para un concreto de resistencia de 34,47 MPa (352 kgf/cm³) se alcanzó en promedio un 67% de este valor. Además se obtuvo una mayor aproximación para un concreto de resistencia de 20,68 MPa.

Lo anterior puede indicar un mejor desempeño de los agregados para concretos de resistencia normal, mientras que para concretos de alta resistencia (34,47 MPa) este desempeño se ve mermado.

Se debe considerar que los diseños teóricos para la mezcla de concreto se realizaron en base a las propiedades evaluadas en muestras obtenidas en el mes de julio y los diseños prácticos se realizaron en el mes de octubre con muestras obtenidas ese mismo mes en los bancos en estudio. Resultando en que el material con que se efectuaron las mezclas de concreto y en el que se basó el diseño teórico seguramente sufriera una variación de características, más que todo en el grado de contaminación de las muestras debido, en su mayoría, a los eventos de la feria titular del municipio comprendida entre el 12 y 15 de agosto. Actividades que dejaron una elevada concentración de desechos en los ríos y lugares próximos donde se extrae el material.

A esto se suma una falta de control de calidad en la extracción y producción del material, así como también los cambios de humedad en el material y correcciones de la misma en los diseños de mezcla prácticos, dando como resultado valores imprecisos en relación al diseño teórico, lo que llevó a que la resistencia se viera comprometida en los ensayos a compresión.

Por lo tanto, ante situaciones de este tipo el agregado deberá ser apropiadamente lavado para remover impurezas y ensayado para determinar sus propiedades antes de su uso para concreto, así como utilizar aditivos que ayuden a lograr la resistencia deseada.

CONCLUSIONES

1. Las muestras de agregado fino y grueso del Banco 1 (Trituradora Morán), obtenidas en el río Ostúa, y del Banco 2 (Trituradora El Capullo), obtenidas en río Tamazulapa, cumplen con los límites establecidos por la Norma ASTM C 33, en virtud de manifestar características físicas, químicas, mecánicas y petrográficas satisfactorias.
2. Los agregados de ambos bancos poseen características físicas que los identifican como materiales de peso específico normal, una propiedad que resulta ser de vital importancia, ya que si se emplea un material con un buen peso específico o densidad ($\geq 2,4$) el concreto resultante podría ser mayor o igualmente denso, lo cual tendrá una influencia directa sobre la resistencia a la compresión del mismo. Así también, este volumen ocupado por el agregado según su peso indica una porosidad y permeabilidad bajas, y a pesar de que es conocido que a mayor porosidad mayor fuerza de adhesión, esta característica se ve compensada por la procedencia del material de procesos de trituración.
3. Se encontró variabilidad en las características de las muestras utilizadas para los ensayos y las muestras utilizadas para el diseño de mezclas de concreto, así como una disminución en la resistencia a la compresión del concreto producto de estas mezclas, debido a que el material proviene de dos períodos de tiempo y condición diferentes. Siendo el principal factor de cambio el aumento de impurezas orgánicas provocado por los eventos de la feria titular del municipio, que dejan a su paso una ola de desechos en los lugares de extracción del material.

4. La presencia de un porcentaje considerable de materia orgánica en los agregados puede provocar problemas en la fabricación de concreto, ya que puede inhibir la adecuada hidratación del cemento y por lo tanto causar un retraso en el endurecimiento del mismo. Los agregados contaminados pueden ser causa de reducción de la resistencia a la compresión del concreto; y además, pueden contener sustancias nocivas que afecten químicamente al material de diversas formas.

5. Se obtiene el registro de los resultados de dos de los principales bancos del municipio de Asunción Mita, departamento de Jutiapa, para determinar así el uso adecuado en concreto estructural, certificando la calidad del mismo en base a la seguridad y credibilidad de los resultados.

RECOMENDACIONES

1. Que las instancias competentes realicen de manera correcta un registro y publicación de los resultados obtenidos en el presente estudio, ya que los mismos servirán de apoyo de alto valor, tanto al productor como al consumidor, en los distintos procesos de venta y adquisición de agregados para concreto estructural.
2. Consolidar la unificación de criterios orientados al control de calidad de los agregados para concreto estructural, mediante la comparación de los estudios en diferentes regiones del país.
3. Valorizar los resultados obtenidos en el presente estudio, tomando en consideración el área de distribución de los materiales investigados, la cual comprende todo el departamento de Jutiapa y en un porcentaje mínimo los municipios vecinos de Ipala del departamento de Chiquimula y Monjas del departamento de Jalapa.
4. Que las personas en proceso de investigación y producción de bancos potenciales para la extracción de agregados para concreto, se apoyen en los ensayos de laboratorio como los empleados en este estudio para garantizar resultados satisfactorios, tanto en procesos de explotación como de productos finales.

5. Que los entes responsables, realicen las gestiones pertinentes para que se contemple en los proyectos de obra civil la utilización de aditivos y sistemas de control de calidad apropiados, a fin de mejorar la condición del concreto.

6. Considerar tratamientos y ensayos adecuados, a fin de estabilizar el uso de agregados de estos bancos luego de cualquier evento social, cultural o religioso que potencie la acumulación de residuos en los lugares de extracción.

BIBLIOGRAFÍA

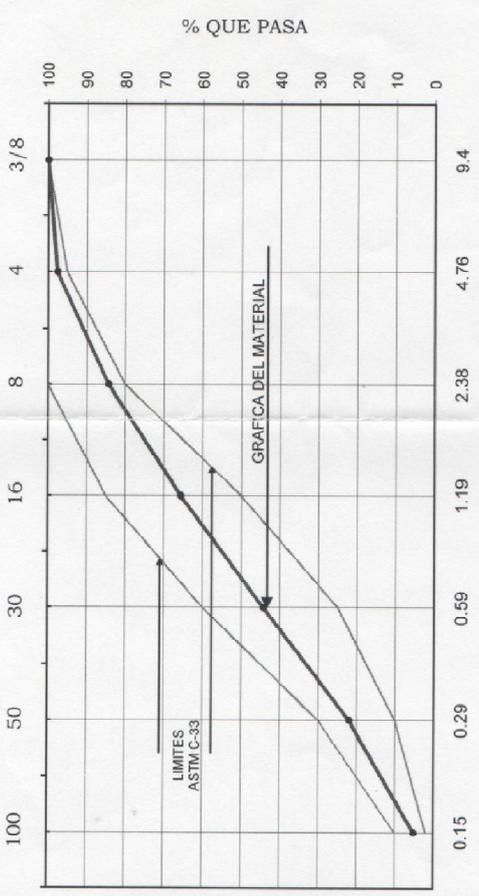
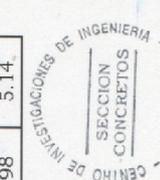
1. ASTM. *Libro anual de especificaciones ASTM*. Sección 4, Volumen 04.02. Estados Unidos: ASTM, 2003, 804 pp.
2. CHAN, José; SOLIS, Rómel; IVÁN, Eric. "Influencia de los agregados pétreos en las características del concreto". *Revista académica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán* [en línea]. Mayo-agosto 2003, vol. 7, nro. 2, p. 39-46.
<<http://www.revista.ingenieria.uady.mx/volumen7/influencia.pdf>>
[Consulta: 25 de agosto de 2010].
3. CONSTAIN, César. "Tecnología del concreto premezclado". *Construcción y Tecnología*. [en línea]. Noviembre 1999.
<<http://www.imcyc.com/revista/1999/nov99/tecno1.htm>> [Consulta: 20 de septiembre de 2010].
4. DÍAZ, Faustino. *Análisis experimental de la contracción por secado de mezclas de concreto hidráulico* [en línea].
<http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/diaz_m_f/capitulo2.pdf> [Consulta: 25 de agosto de 2010].
5. GRIEM, Wolfgang; GRIEM-KLEE, Susanne. *Apuntes Geología General* [en línea]. <<http://www.geovirtual2.cl/geologiageneral/ggcap04d.htm>>
[Consulta: 16 de octubre de 2010].

6. LYE, Keith. *Los Minerales y Rocas*. 2ª Edición. España: Fontalba, 1980. 125 pp.
7. MENESES, José. *Agregados ígneos para el concreto* [en línea]. <<http://www.scribd.com/doc/20609980/Agregados-igneos-para-el-concreto>> [Consulta: 25 de agosto de 2010].
8. MORALES, Evelyn. “Manual de apoyo docente para desarrollar ensayos de laboratorio, relacionados con materiales de construcción”. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil, 2006. 136 pp.
9. NRMCA. “¿Qué, por qué y cómo? Corrosión del acero en el concreto”. *National Ready Mixed Concrete Association* [en línea]. <http://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP_25_ES.pdf> [Consulta: 25 de agosto de 2010].
10. SALGUERO, Raúl. “Examen de calidad de agregados para concreto de dos bancos en la ciudad de Quetzaltenango”. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil, 2004. 69 pp.

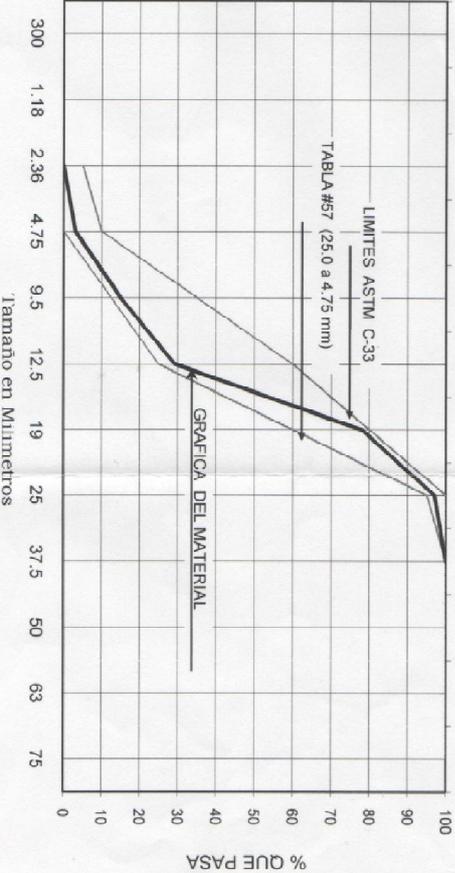
ANEXOS

A continuación se presentan copias de los informes originales entregados por el Centro de Investigaciones de Ingeniería. Detallándose los siguientes: análisis completo de agregado grueso y fino de ambos bancos con base en la Norma ASTM C 33, resultados de desgaste por abrasión según Norma ASTM C 131, resultados de desgaste de agregado grueso y fino, de ambos bancos, por sulfato de sodio según Norma ASTM C 88, informe de la reactividad álcali-sílice para agregado grueso y fino, de ambos bancos, según Norma ASTM C 289, diseño de mezcla de 20,68 y 34,47 MPa en ambos bancos y ensayo a compresión de cilindros de concreto de ambos bancos, con resistencia 20,68 y 34,47 MPa, según Norma ASTM C 39. Así como también se muestran las tablas necesarias para la elaboración de diseños de mezcla de concreto propuestos por el Comité 211 y 214 del Instituto Americano del Concreto (ACI, por sus siglas en inglés).

Análisis físico de agregado fino del Banco 1

 UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA	AGREGADO FINO PARA CONCRETO	INFORME No. S.C. - 430	PROYECTO: Trabajo de Graduación: "Estudio y Analisis Físico, Químico, Mecánico y Petrográfico de Agregados para Concreto Estructural"	LAB.: Concretos																		
INTERESADO: Sergio Estuardo Villalta García Carné: 2005-16315	MUESTRA: Agregado Fino	FECHA: 26/07/2010	O.T. No. 27254																			
CARACTERISTICAS FISICAS: <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Peso Especifico</td><td style="text-align: right;">2.49</td></tr> <tr><td>Peso Unitario (kg/m³)</td><td style="text-align: right;">1537.58</td></tr> <tr><td>Peso Unitario Suelto (kg/m³)</td><td style="text-align: right;">1507.09</td></tr> <tr><td>Porcentaje de Vacios</td><td style="text-align: right;">38.25</td></tr> <tr><td>Porcentaje de Absorción</td><td style="text-align: right;">2.54</td></tr> <tr><td>Contenido de Materia Orgánica</td><td style="text-align: right;">2</td></tr> <tr><td>% Retenido en Tamiz 6.35</td><td style="text-align: right;">7.62</td></tr> <tr><td>% que pasa Tamiz 200</td><td style="text-align: right;">3.80</td></tr> <tr><td>Modulo de Finura</td><td style="text-align: right;">2.81</td></tr> </table>					Peso Especifico	2.49	Peso Unitario (kg/m ³)	1537.58	Peso Unitario Suelto (kg/m ³)	1507.09	Porcentaje de Vacios	38.25	Porcentaje de Absorción	2.54	Contenido de Materia Orgánica	2	% Retenido en Tamiz 6.35	7.62	% que pasa Tamiz 200	3.80	Modulo de Finura	2.81
Peso Especifico	2.49																					
Peso Unitario (kg/m ³)	1537.58																					
Peso Unitario Suelto (kg/m ³)	1507.09																					
Porcentaje de Vacios	38.25																					
Porcentaje de Absorción	2.54																					
Contenido de Materia Orgánica	2																					
% Retenido en Tamiz 6.35	7.62																					
% que pasa Tamiz 200	3.80																					
Modulo de Finura	2.81																					
																						
OBSERVACIONES: <ol style="list-style-type: none"> Muestra proporcionada por el interesado. Contenido de materia orgánica máximo permisible No. 3. Procedencia: Municipio de Asunción Mita, Guatemala. 																						
Vo.Bo. Inga. Telma Maricela Cano Morales Directora CII/USAC		Inga. Diana Xanet Mejicanos Jol Jefa Sección de Concretos																				
																						

Análisis físico de agregado grueso del Banco 1

AGREGADO GRUESO PARA CONCRETO		 UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA																	
INTERESADO: Sergio Estuardo Villalta Garcia Carné: 2005-16315		INFORME No. S.C. - 431	PROYECTO: Trabajo de graduación: "Estudio y Analisis Fisico, Quimico, Mecanico y Petrografico de Agregados para Concreto Estructural"																
MUESTRA: Agregado Grueso		FECHA: 26/07/2010	O.T. No. 27254																
LAB.: Concretos																			
CARACTERISTICAS FISICAS:																			
Peso Especifico	2.55																		
Peso Unitario (kg/m ³)	1408.90																		
Peso Unitario Suelto (kg/m ³)	1317.07																		
Porcentaje de Vacios	44.75																		
Porcentaje de Absorción	1.60																		
% tamiz 200	1.00																		
% Desgaste por Sulfato de Sodio	-----																		
% Desgaste por Abrasión	-----																		
% Partículas Planas y alargadas	-----																		
OBSERVACIONES:																			
a) Muestra proporcionada por el Interesado																			
b) Procedencia del agregado: Municipio de Asuncion Mita, Jutiapa.																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">Tamiz No.</td> <td style="text-align: center;">1 1/2"</td> <td style="text-align: center;">1"</td> <td style="text-align: center;">3/4"</td> <td style="text-align: center;">1/2"</td> <td style="text-align: center;">3/8"</td> <td style="text-align: center;">No.4</td> <td style="text-align: center;">No.8</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">% Que pasa</td> <td style="text-align: center;">100.00</td> <td style="text-align: center;">96.97</td> <td style="text-align: center;">78.04</td> <td style="text-align: center;">29.17</td> <td style="text-align: center;">14.97</td> <td style="text-align: center;">3.07</td> <td style="text-align: center;">0.00</td> </tr> </table>				Tamiz No.	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.8	% Que pasa	100.00	96.97	78.04	29.17	14.97	3.07	0.00
Tamiz No.	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.8												
% Que pasa	100.00	96.97	78.04	29.17	14.97	3.07	0.00												
																			
<p>Vo.Bo.</p> <p style="text-align: right;">Inga. Telma Maricela Carro Morales Directora CII/USAC</p> <p style="text-align: right;">Inga. Dilma Yanel-Mejicanos Jol Jefa Sección Agregados y Concretos</p>																			

Análisis físico de agregado fino del Banco 2

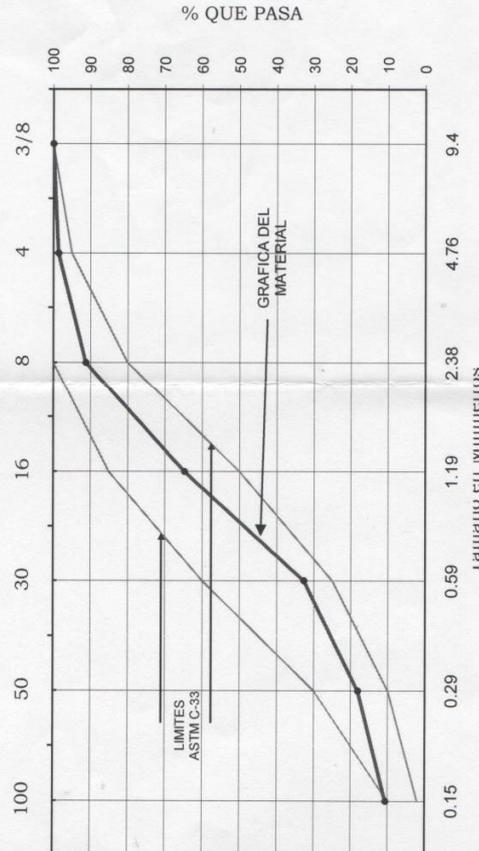
 UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA	AGREGADO FINO PARA CONCRETO	INFORME No. S.C. - 447	PROYECTO: Trabajo de Graduación "Estudio y Analisis Físico, Químico, Mecánico y Petrográfico de agregados para concreto estructural, municipio de Asunción Mita, Jutiapa"
INTERESADO: Sergio Estuardo Villalta García Carné 200516315	MUESTRA: El Capullo (Banco II)	FECHA: 02/08/2010	O.T. No. 27255
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS:		LAB.: Concretos	
Peso Específico	2.48		
Peso Unitario (kg/m ³)	1530.19		
Peso Unitario Suelto (kg/m ³)	1455.39		
Porcentaje de Vacíos	38.18		
Porcentaje de Absorción	3.63		
Contenido de Materia Orgánica	1		
% Retenido en Tamiz 6.35	0.00		
% que pasa Tamiz 200	12.34		
Modulo de Finura	2.84		

OBSERVACIONES:

a) Muestra proporcionada por el interesado.

b) Contenido de materia orgánica máximo permisible No. 3.

c) Muestra proveniente del Rto Tamazulapa.



Tamiz No.	9.40	2.38	1.19	0.59	0.29	0.15
% Que pasa	100.00	98.60	91.24	64.80	32.68	18.14
						0.29
						0.15

Vo.Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora CII/USAC


 Inga Dilys Yanet Mejicanos
 Jefa Sección Agregados y Concretos

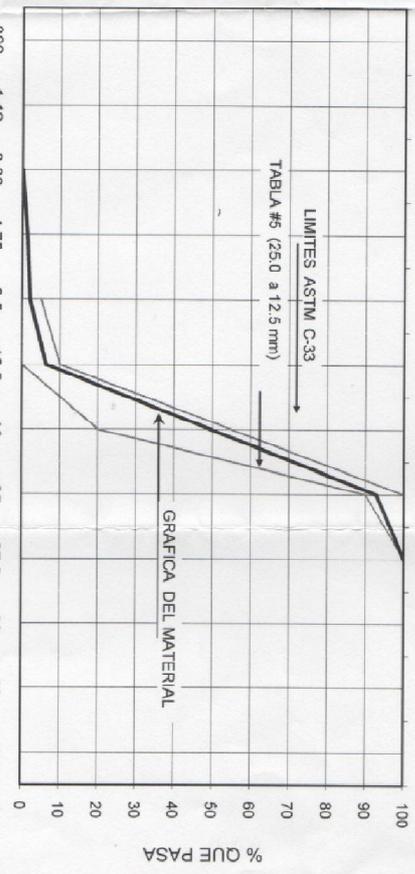




Análisis físico de agregado grueso del Banco 2

AGREGADO GRUESO PARA CONCRETO	 UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA		
INTERESADO:	INFORME No.	PROYECTO:	
Sergio Estuardo Vilalta Garcia Carné 200516315	S.C. - 448	Trabajo de Graduación "Estudio y Analisis Físico, Químico, Mecánico y Petrográfico de agregados para concreto estructural, municipio de Asunción Mita, Jutiapa"	
MUESTRA:	FECHA:	O.T. No.	LAB.
El Capullo (Banco II)	02/08/2010	27255	Concretos
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS:			
Peso Especifico	2.61		
Peso Unitario (kg/m ³)	1419.19		
Peso Unitario Suelto (kg/m ³)	1313.38		
Porcentaje de Vacíos	45.66		
Porcentaje de Absorción	0.66		
% Tamiz 200	2.59		
% Desgaste por Sulfato de Sodio	-----		
% Desgaste por Abrasión	-----		
% Partículas Planas y alargadas	-----		
% Partículas Livianas	-----		

Tamiz No.	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.8
% Que pasa	100.00	92.82	49.56	6.33	2.03	1.31	0.00



Tamaño en Milímetros

OBSERVACIONES:

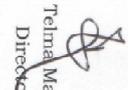
a) Muestra proporcionada por el Interesado

b) Muestra proveniente del Rio Tamazulapa.

Vo.Bo.

Inga. Teina Matricula Cano Morales

Dirección CH/USAC




Inga. Dilia Janet Mejicanos J61

Jefa Sección Agregados y Concretos




ms

Informe de desgaste por abrasión en la máquina de Los Ángeles



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



Nº 14984

INFORME No. S.C. - 433

O.T. No. 27258

INTERESADO: Sergio Estuardo Villalta García, Carne 200516315

ASUNTO: ENSAYO DE DESGASTE POR ABRASION EN MAQUINA DE LOS ANGELES PARA AGREGADO GRUESO

PROYECTO: Trabajo de Graduación "Estudio y Análisis Físico Químico, Mecánico y Petrográfico de agregado para concreto Estructural"

PROCEDENCIA: Banco 1: Río Ostua
Banco 2: Río Tamazulapa

FECHA: 26 de Julio de 2010

REFERENCIAS	MUESTRA No. 1	MUESTRA No. 2
1. Norma de Ensayo	ASTM C-131	ASTM C-131
2. Graduación	"B"	"A"
3. % Desgaste	20.62	18.74

OBSERVACIONES:

- a) Muestra proporcionada por el interesado.
- b) Muestra No. 1: Trituradora Moran obtenido en el Río Ostua.
- c) Muestra No. 2: Trituradora El Capullo obtenido en el Río Tamazulapa.

ATENTAMENTE,

Dilma Yanet Mejicanos Jol
Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
Jefa Sección de Concretos

Vo.Bo.

Telma Maricela Cano Morales
Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora CII/USAC



EMG

FACULTAD DE INGENIERIA -USAC
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo 2476-3992. Planta 2443-9500 Ext. 1502. FAX: 2476-3993
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Informe de sanidad en agregado fino del Banco 1



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



Nº 21616

INFORME No. SC - 518

O.T. No. 27256

INTERESADO: Sergio Estuardo Villalta García - Carné 200516315
ASUNTO: Ensayo de bondad en agregado fino
 Material: Agregado Fino
 Proyecto: Trabajo de Graduación "Estudio y Análisis Físico, Químico, Mecánico y Petrográfico de Agregados para Concreto Estructural"
 Procedencia: Municipio de Asunción Mita, Jutiapa
 Solución utilizada: Sulfato de Sodio
FECHA: 21 de Octubre de 2010

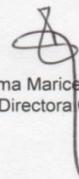
PASA	TAMAÑOS		Graduación por fracción	Antes de ensayo	Después de ensayo	% de Desgaste	Desgaste ref. a Graduación
	RETENIDOS						
No. 100 (149 mm)							
No. 50 (297 mm)	No. 100 (149 mm)		21.98	100.00	96.10	3.90	0.86
No. 30 (595 mm)	No. 50 (297 mm)		22.34	100.00	91.10	8.90	1.99
No. 16 (1.19 mm)	No. 30 (595 mm)		21.32	100.00	89.50	10.50	2.24
No. 8 (2.38 mm)	No. 16 (1.19 mm)		18.66	100.00	91.60	8.40	1.57
No. 4 (4.76 mm)	No. 8 (2.38 mm)		13.28	100.00	90.00	10.00	1.33
3/8" (9.52 mm)	No. 4 (4.76 mm)		2.42	-----	-----	10.00	0.24
TOTALES			100.00	500.00	-----	-----	8.22

OBSERVACIONES:

- a) Muestra proporcionada por el interesado
- b) Muestra proveniente de: Trituradora Moran, obtenido de Río Ostua

ATENTAMENTE,


 Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
 Jefa Sección de Concretos



 Inga. Telma Maricela Cand Morales
 Directora CII/USAC


EMG

Informe de sanidad en agregado grueso del Banco 1



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



Nº 21614

INFORME No. SC - 519

O.T. No. 27256

INTERESADO: Sergio Estuardo Villalta García - Carné 200516315
ASUNTO: Ensayo de bondad en agregado fino
 Material: Agregado Grueso
 Proyecto: Trabajo de Graduación "Estudio y Análisis Físico, Químico, Mecánico y Petrográfico de Agregados para Concreto Estructural"
 Procedencia: Municipio de Asunción Mita, Jutiapa
 Solución utilizada: Sulfato de Sodio
FECHA: 21 de Octubre de 2010

TAMAÑOS		Graduación por fracción	Antes de ensayo	Después de ensayo	% de Desgaste	Desgaste ref. a Graduación
PASA	RETENIDOS					
2 1/2" (63.5 mm)	1 1/2" (38.1 mm)	-----	-----	-----	-----	-----
1 1/2" (38.1 mm)	3/4" (19.05 mm)	21.96	-----	-----	10.42	2.29
3/4" (19.05 mm)	3/8" (9.52 mm)	63.06	1000.00	895.80	10.42	6.57
3/8" (9.52 mm)	No. 4 (4.76 mm)	11.90	300.00	262.30	12.57	1.50
	Fondo	3.07	-----	-----	12.57	0.39
TOTALES		100.00	1300.00	-----	-----	10.74

OBSERVACIONES:

- a) Muestra proporcionada por el interesado
- b) Muestra proveniente de: Trituradora Moran, obtenido de Río Ostua

ATENTAMENTE,


Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
 Jefa Sección de Concretos

Vo.Bo.


Inga. Telma Maricela Cano Morales
 Directora CII/USAC



EMG

Informe de sanidad en agregado fino del Banco 2



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



Nº 21615

INFORME No. SC - 521

O.T. No. 27257

INTERESADO: Sergio Estuardo Villalta Garcia, Carné: 200-16315
ASUNTO: Ensayo de bondad en agregado fino
 Material: Agregado Fino
 Proyecto: Trabajo de Graduación "Estudio y Analisis Físico, Químico y Petrográfico de Agregados para Concreto Estructural"
 Procedencia: Banco 2: Trituradora El Capullo Obtenidos en el Rio Tamazulapa.
 Solución utilizada: Sulfato de Sodio
FECHA: 21 de octubre de 2010

PASA	TAMAÑOS RETENIDOS	Graduación por fracción	Antes de ensayo	Después de ensayo	% de Desgaste	Desgaste ref. a Graduación
No. 100 (149 mm)						
No. 50 (297 mm)	No. 100 (149 mm)	18.14	100.00	97.00	3.00	0.54
No. 30 (595 mm)	No. 50 (297 mm)	14.54	100.00	95.50	4.50	0.65
No. 16 (1.19 mm)	No. 30 (595 mm)	32.12	100.00	94.50	5.50	1.77
No. 8 (2.38 mm)	No. 16 (1.19 mm)	26.44	100.00	93.50	6.50	1.72
No. 4 (4.76 mm)	No. 8 (2.38 mm)	7.36	100.00	88.90	11.10	0.82
3/8" (9.52 mm)	No. 4 (4.76 mm)	1.40	-----	-----	11.10	0.16
TOTALES		100.00	500.00	-----	-----	5.66

OBSERVACIONES:

a) Muestra proporcionada por el interesado

ATENTAMENTE,



Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora CII/USAC

Dilma Yanet Mejicanos Jol
Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
Jefa Sección de Concretos



E.R.

Informe de sanidad en agregado grueso del Banco 2



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



Nº 21612

INFORME No. SC - 520

O.T. No. **27257**

INTERESADO: Sergio Estuardo Villalta Garcia, Carnè: 2005-16315
ASUNTO: Ensayo de bondad en agregado grueso ASTM C 88-83
Material: Agregado Grueso

Proyecto: Trabajo de Graduacion "Estudio y Analisis Fisico, Quimico, Mecanico y Petrografico de Agregados para Concreto Estructural

Procedencia: Banco 2: Trituradora El Capullo Obtenidos en el Rio Tamazulapa.

Solución utilizada: Sulfato de Sodio

FECHA: 21 de octubre de 2010

TAMAÑOS		Graduación por fracción	Antes de ensayo	Después de ensayo	% de Desgaste	Desgaste ref. a Graduación
PASA	RETENIDOS					
2 1/2" (63.5 mm)	1 1/2" (38.1 mm)	-----	-----	-----	-----	-----
1 1/2" (38.1 mm)	3/4" (19.05 mm)	50.44	1500.00	1479.00	1.40	0.71
3/4" (19.05 mm)	3/8" (9.52 mm)	47.52	1000.00	920.00	8.00	3.80
3/8" (9.52 mm)	No. 4 (4.76 mm)	0.72	300.00	271.00	9.67	0.07
	Fondo	1.31	-----	-----	9.67	0.13
TOTALES		100.00	2800.00	-----	-----	4.70

OBSERVACIONES:

a) Muestra proporcionada por el interesado

ATENTAMENTE,


 Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
 Jefa Sección de Concretos



Vo.Bo.


 Inga. Telma Maricela Caño Morales
 Directora CII/USAC



E.R.

Informe de reactividad potencial de los agregados



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 004814

O.T. No. 27259
Informe Lab. No. 030-10

Interesado: Sergio Estuardo Villalta García
Muestra: 2 Muestra de Agregado (Trituradora Moran y Trituradora el Capullo)
Proyecto: Trabajo de Graduación
Fecha: Guatemala, 18 de octubre de 2010

Determinación de la Reactividad Potencial de agregados según norma ASTM C-289

Muestra Trituradora Moran	Reducción Alcalina (mmol/L)	Sílice Disuelta (mmol/L)	RESULTADO
Agregado Fino	694 ± 12.23	118.12 ± 9.67	INOCUO
Agregado Grueso	780.48 ± 3.05	129.41 ± 3.27	INOCUO

*Muestra proporcionada por el interesado.

Muestra Triturada El Capullo	Reducción Alcalina (mmol/L)	Sílice Disuelta (mmol/L)	RESULTADO
Agregado Fino	698.33 ± 6.11	203.31 ± 12.12	INOCUO
Agregado Grueso	585.9 ± 18.34	187.48 ± 7.23	INOCUO



Ing. César Alfonso García Guerra
Jefe
Sección Química Industrial-CII-



Vo. Bo. Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora

Centro de Investigaciones de Ingeniería CII/USAC

FACULTAD DE INGENIERIA -USAC
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo 2476-3992. Planta 2443-9500 Ext. 1502. FAX: 2476-3993
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Resultado gráfico de la reactividad potencial de los agregados

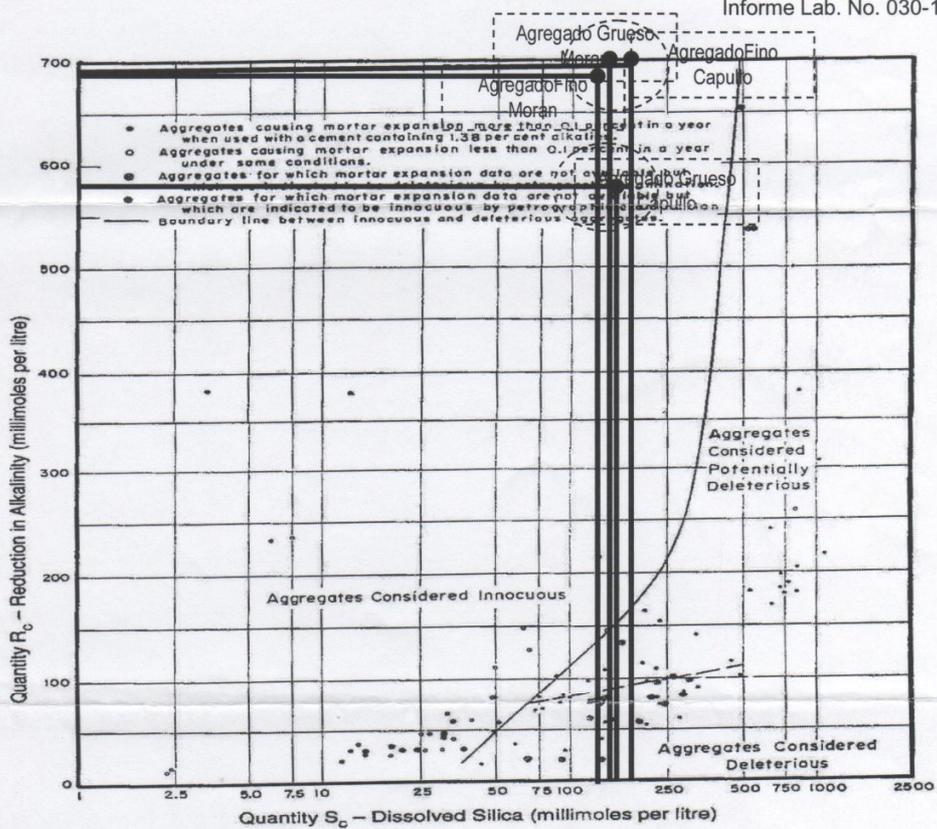


CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 004815

O.T. No. 27259
Informe Lab. No. 030-10



<p>A. AGREGADO CONSIDERADO INOCUO:</p> <p>B. AGREGADO CONSIDERADO DELETEREO:</p> <p>C. AGREGADO CONSIDERADO POTENCIALMENTE DELETEREO</p>	<p>RESULTADO DE LA MUESTRA</p> <table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">A</td> <td style="width: 20px; height: 10px; background-color: black;"></td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">B</td> <td style="width: 20px; height: 10px;"></td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">C</td> <td style="width: 20px; height: 10px;"></td> </tr> </table>	A		B		C	
A							
B							
C							

Diseño teórico de mezcla de concreto de 20,68 MPa del Banco 1



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 14987

O.T. No.27261

INFORME No. S.C.434

INTERESADO: Sergio Estuardo Villalta García, carné 200516315
PROYECTO: Trabajo de graduación: "Estudio y análisis físico, químico, mecánico y petrográfico de agregado para concreto estructural"
DIRECCION: Municipio de Asunción Mita Jutiapa
ASUNTO: Diseño Teórico de Mezcla de Concreto.
FECHA: 27 de Julio de 2 010

1. GENERALIDADES

1.1 El interesado proporciono el material y solicito a este Centro de Investigaciones, el análisis completo para agregado fino y grueso, proveniente del banco 1, proveniente de la trituradora Moran obtenidos del río Ostua, para realizar un diseño teórico de mezcla para concreto de 3 000 psi (210 kg/cm²), con Cemento UGC de Cementos Progreso.

2. CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS

2.1 Análisis granulométrico de agregado fino. INFORME No. S.C. - 430
2.2 Análisis granulométrico de agregado grueso. INFORME No. S.C. - 431

3. DISEÑO DE MEZCLA

3.1 Resistencia Nominal 210 kg/cm²
3.2 Resistencia Promedio Requerida 246 kg/cm²
3.3 Relación Agua/Cemento 0,57
3.4 Asentamiento: 8-10 cm
3.5 Datos de la Mezcla:

CONCRETO NORMAL $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$			
MATERIALES	PROPORCION EN PESO	PROPORCION EN VOLUMEN (LITROS)	PROPORCION EN VOLUMEN (kg/m ³)
CEMENTO	1	1 SACO	350,88
ARENA	2,32	65,42	813,61
PIEDRIN / GRAVA	2,95	95,19	1035,51
AGUA LIBRE	0,57	24,23	200,00

4. RECOMENDACIONES

4.1 Evaluar en obra el diseño propuesto y obtener 6 cilindros de 6" de diámetro y 12" de altura, para su control de resistencia, con el ensayo a compresión, el cual se realiza en el CII/USAC.
4.2 El diseño de mezcla esta propuesto para agregados en condición seco-saturados, debido a las condiciones de obra, se deberá corregir por humedad.
4.3 Llevar un sistema de control de calidad según lo establece el A.C.I.
4.4 Utilizar aditivo, que mejore las condiciones del diseño de mezcla.

Atentamente,

Vo.Bo.
Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora CII/USAC



[Signature]
Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
Jefa Sección de Concretos



FACULTAD DE INGENIERIA -USAC
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo 2476-3992. Planta 2443-9500 Ext. 1502. FAX: 2476-3993
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Diseño teórico de mezcla de concreto de 34,47 MPa del Banco 1



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 14989

O.T. No.27261

INFORME No. S.C.435

INTERESADO: Sergio Estuardo Villalta Gardá, carré 200516315
PROYECTO: Trabajo de graduación: "Estudio y análisis físico, químico, mecánico y petrográfico de agregado para concreto estructural"
DIRECCION: Municipio de Asunción Mita Jutiapa
ASUNTO: Diseño Teórico de Mezcla de Concreto.
FECHA: 27 de Julio de 2 010

1. GENERALIDADES

1.1 El interesado proporciono el material y solicito a este Centro de Investigaciones, el análisis completo para agregado fino y grueso, proveniente del banco 1, proveniente de la trituradora Moran obtenidos del río Ostua, para realizar un diseño teórico de mezcla para concreto de 5 000 psi (352 kg/cm²), con Cemento UGC de Cementos Progreso.

2. CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS

2.1 Análisis granulométrico de agregado fino. INFORME No. S.C. - 430
2.2 Análisis granulométrico de agregado grueso. INFORME No. S.C. - 431

3. DISEÑO DE MEZCLA

3.1 Resistencia Nominal 352 kg/cm²
3.2 Resistencia Promedio Requerida 387 kg/cm²
3.3 Relación Agua/Cemento 0,47
3.4 Asentamiento: 8-10 cm
3.5 Datos de la Mezcla:

CONCRETO NORMAL $f'_c = 352 \text{ kg/cm}^2$					
MATERIALES	PROPORCION EN PESO	EN	PROPORCION EN VOLUMEN (LITROS)	EN	PROPORCION EN VOLUMEN (kg/m ³)
CEMENTO	1		1 SACO		425,53
ARENA	1,83		51,61		780,77
PIEDRIN / GRAVA	2,34		75,51		993,70
AGUA LIBRE	0,47		19,98		200,00

4. RECOMENDACIONES

4.1 Evaluar en obra el diseño propuesto y obtener 6 cilindros de 6" de diámetro y 12" de altura, para su control de resistencia, con el ensayo a compresión, el cual se realiza en el CII/USAC.
4.2 El diseño de mezcla esta propuesto para agregados en condición seco-saturados, debido a las condiciones de obra, se debe corregir por humedad.
4.3 Llevar un sistema de control de calidad según lo establece el A.C.I.
4.4 Utilizar aditivo, que mejore las condiciones del diseño de mezcla.

Atentamente,

Vo.Bo.
Inga. Telma Mariela Cano Morales
Directora CII/USAC



Inga. Dina Yanet Mejicanos
Jefa Sección de Concretos

FACULTAD DE INGENIERIA -USAC
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo 2476-3992. Planta 2443-9500 Ext. 1502. FAX: 2476-3993
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Diseño teórico de mezcla de concreto de 20,68 MPa del Banco 2



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



Nº 21513

O.T. No.27264

INFORME No. S.C.450

INTERESADO: Sergio Estuardo Villalta García, carné 200516315
 PROYECTO: Trabajo de graduación: "Estudio y análisis físico, químico, mecánico y petrográfico de agregado para concreto estructural"
 DIRECCION: Municipio de Asunción Mita Jutiapa
 ASUNTO: Diseño Teórico de Mezcla de Concreto.
 FECHA: 2 de Agosto de 2 010

1. GENERALIDADES

1.1 El interesado proporciono el material y solicito a este Centro de Investigaciones, el análisis completo para agregado fino y grueso, proveniente del banco 2, proveniente del río Tamazulapa, para realizar un diseño teórico de mezcla para concreto de 3 000 psi (210 kg/cm²), con Cemento UGC de Cementos Progreso.

2. CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS

2.1 Análisis granulométrico de agregado fino. INFORME No. S.C. – 447
 2.2 Análisis granulométrico de agregado grueso. INFORME No. S.C. – 448

3. DISEÑO DE MEZCLA

3.1 Resistencia Nominal 210 kg/cm²
 3.2 Resistencia Promedio Requerida 246 kg/cm²
 3.3 Relación Agua/Cemento 0,57
 3.4 Asentamiento: 8-10 cm
 3.5 Datos de la Mezcla:

CONCRETO NORMAL $f'_c = 352 \text{ kg/cm}^2$				
MATERIALES	PROPORCION EN PESO	PROPORCION EN VOLUMEN (LITROS)	EN	PROPORCION EN VOLUMEN (kg/m ³)
CEMENTO	1	1 SACO		342,11
ARENA	2,29	66,87		782,41
PIEDRIN / GRAVA	3,16	102,26		1080,48
AGUA LIBRE	0,57	24,23		195,00

4. RECOMENDACIONES

4.1 Evaluar en obra el diseño propuesto y obtener 6 cilindros de 6" de diámetro y 12" de altura, para su control de resistencia, con el ensayo a compresión, el cual se realiza en el CII/USAC.
 4.2 El diseño de mezcla esta propuesto para agregados en condición seco-saturados, debido a las condiciones de obra, se deberá corregir por humedad.
 4.3 Llevar un sistema de control de calidad según lo establece el A.C.I.
 4.4 Utilizar aditivo, que mejore las condiciones del diseño de mezcla.

Atentamente,

Vo.Bo.
 Inga. Telma Mariciela Cano Morales
 Directora CII/USAC



Dilma Yánet Méjicanos JOL
 Inga. Dilma Yánet Méjicanos JOL
 Jefa Sección de Concretos



FACULTAD DE INGENIERIA —USAC—
 Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
 Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Diseño teórico de mezcla de concreto de 34,47 MPa del Banco 2



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



Nº 21514

O.T. No.27264

INFORME No. S.C.451

INTERESADO: Sergio Estuardo Villalta García, carné 200516315
 PROYECTO: Trabajo de graduación: "Estudio y análisis físico, químico, mecánico y petrográfico de agregado para concreto estructural"
 DIRECCION: Municipio de Asunción Mita Jutiapa
 ASUNTO: Diseño Teórico de Mezcla de Concreto.
 FECHA: 2 de Agosto de 2 010

1. GENERALIDADES

1.1 El interesado proporciona el material y solicita a este Centro de Investigaciones, el análisis completo para agregado fino y grueso, proveniente del banco 2, proveniente río Tamazulapa, para realizar un diseño teórico de mezcla para concreto de 5 000 psi (352 kg/cm²), con Cemento UGC de Cementos Progreso.

2. CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS

2.1 Análisis granulométrico de agregado fino. INFORME No. S.C. – 447
 2.2 Análisis granulométrico de agregado grueso. INFORME No. S.C. – 448

3. DISEÑO DE MEZCLA

3.1 Resistencia Nominal 352 kg/cm²
 3.2 Resistencia Promedio Requerida 387 kg/cm²
 3.3 Relación Agua/Cemento 0,43
 3.4 Asentamiento: 8-10 cm
 3.5 Datos de la Mezcla:

CONCRETO NORMAL $f'_c = 352 \text{ kg/cm}^2$				
MATERIALES	PROPORCION EN PESO	PROPORCION EN VOLUMEN (LITROS)	EN	PROPORCION EN VOLUMEN (kg/m ³)
CEMENTO	1	1 SACO		453,49
ARENA	1,62	47,31		735,63
PIEDRIN / GRAVA	2,24	72,48		1015,88
AGUA LIBRE	0,43	18,28		195,00

4. RECOMENDACIONES

4.1 Evaluar en obra el diseño propuesto y obtener 6 cilindros de 6" de diámetro y 12" de altura, para su control de resistencia, con el ensayo a compresión, el cual se realiza en el CII/USAC.
 4.2 El diseño de mezcla esta propuesto para agregados en condición seco-saturados, debido a las condiciones de obra, se deberá corregir por humedad.
 4.3 Llevar un sistema de control de calidad según lo establece el A.C.I.
 4.4 Utilizar aditivo, que mejore las condiciones del diseño de mezcla.

Atentamente,

Vo.Bo.
 Inga. Telma Mariela Cano Morales
 Directora CII/USAC



[Signature]
 Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
 Jefa Sección de Concretos



FACULTAD DE INGENIERIA —USAC—
 Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
 Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Resistencia a la compresión de cilindros de concreto de 20,68 MPa del Banco 1



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



Nº 21668

RESISTENCIA DE CILINDROS DE CONCRETO NORMA ASTM C-39

INFORME No. S.C. - 557

O.T. No. 27261

HOJA 1/1

INTERESADO: Sergio Estuardo Villalta García, Carné: 2005-16315

ASUNTO: ENSAYO A COMPRESION

PROYECTO: Trabajo de Graduación: "Estudio y Analisis Fisico, Quimico, Mecanico y Petrografico de agregado para concreto estructural"

DIRECCION: Municipio de Asuncion Mita Jutiapa.

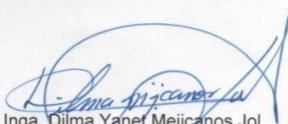
FECHA: 8 de Noviembre de 2010

No. CILINDRO OBRA	No. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE HECHURA	EDAD EN DIAS	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA FUNDICION	PESO EN kg	DIAMETRO EN cm	CARGA en Libras	RESISTENCIA kg/cm ²	RESISTENCIA lbs/plg ²
1	14-11	08/10/2010	3	Control de calidad mezcla de concreto	12.600	15.130	24,135	60.89	866.06
2	15-11	08/10/2010	3	Control de calidad mezcla de concreto	12.543	15.140	31,392	79.09	1124.98
3	16-11	08/10/2010	7	Control de calidad mezcla de concreto	12.760	15.063	49,499	125.99	1791.97
4	17-11	08/10/2010	7	Control de calidad mezcla de concreto	12.700	15.157	44,631	112.20	1595.90
5	18-11	08/10/2010	28	Control de calidad mezcla de concreto	12.660	15.093	67,589	171.35	2437.16
6	19-11	08/10/2010	28	Control de calidad mezcla de concreto	12.780	15.087	66,143	167.83	2387.12

OBSERVACIONES :

- a) Agregado del Banco 1 procedente de Trituradora Moran Obtenido del Rio Ostua.
- b) El interesado proporciono el material para la mezcla.
- c) El asentamiento obtenido en la mezcla fue de 8 cm.
- d) Diseño teórico de acuerdo al informe S.C.-434
- e) Modificación de agua: Cantidad Original 200 lts/m³ a 238.10 lts/m³.

Atentamente,


 Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
 Jefa Sección de Concretos

Vo.Bo.


 Inga. Telma Marcela Cano Morales
 Directora CII/USAC



Resistencia a la compresión de cilindros de concreto de 34,47 MPa del Banco 1



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



Nº 21669

RESISTENCIA DE CILINDROS DE CONCRETO NORMA ASTM C-39

INFORME No. S.C. - 558

O.T. No. 27261

HOJA 1/1

INTERESADO: Sergio Estuardo Villalta García, Carné: 2005-16315

ASUNTO: ENSAYO A COMPRESION

PROYECTO: Trabajo de Graduación: "Estudio y Analisis Fisico, Quimico, Mecanico y Petrografico de agregado para concreto estructural"

DIRECCION: Municipio de Asuncion Mita Jutiapa.

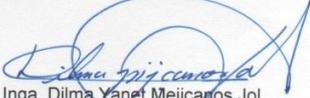
FECHA: 8 de Noviembre de 2010

No. CILINDRO OBRA	No. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE HECHURA	EDAD EN DIAS	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA FUNDICION	PESO EN kg	DIAMETRO EN cm	CARGA en Libras	RESISTENCIA kg/cm ²	RESISTENCIA lb/pig ²
1	20-11	08/10/2010	3	Control de calidad mezcla de concreto	12.523	15.053	48,506	123.63	1758.36
2	21-11	08/10/2010	3	Control de calidad mezcla de concreto	12.596	15.207	50,988	127.34	1811.25
3	22-11	08/10/2010	7	Control de calidad mezcla de concreto	12.610	15.113	64,697	163.59	2326.70
4	23-11	08/10/2010	7	Control de calidad mezcla de concreto	12.620	15.150	57,936	145.78	2073.48
5	24-11	08/10/2010	28	Control de calidad mezcla de concreto	12.590	15.130	95,019	239.72	3409.65
6	25-11	08/10/2010	28	Control de calidad mezcla de concreto	12.630	15.037	94,037	240.20	3416.44

OBSERVACIONES :

- a) Agregado del Banco 1 procedente de Trituradora Moran Obtenido del Rio Ostua.
- b) El interesado proporciono el material para la mezcla.
- c) El asentamiento obtenido en la mezcla fue de 5.5 cm.
- d) Diseño teórico de acuerdo al informe S.C.-435
- e) Modificación de agua: Cantidad Original 200 lts/m³ a 222.62 lts/m³.

Atentamente,


 Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
 Jefa Sección de Concretos

Vo.Bo.


 Inga. Telma Maricela Cano Morales
 Directora CII/USAC



Resistencia a la compresión de cilindros de concreto de 20,68 MPa del Banco 2



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



Nº 21728

RESISTENCIA DE CILINDROS DE CONCRETO NORMA ASTM C-39

INFORME No. S.C. - 569

O.T. No. 27264

HOJA 1/1

INTERESADO: Sergio Estuardo Villalta García, Carné: 2005-16315

ASUNTO: ENSAYO A COMPRESION

PROYECTO: Trabajo de Graduación: "Estudio y Analisis Físico, Químico, Mecánico y Petrográfico de agregado para concreto estructural"

DIRECCION: Municipio de Asuncion Mita Jutiapa.

FECHA: 11 de Noviembre de 2010

Nº. CILINDRO OBRA	Nº. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE HECHURA	EDAD EN DIAS	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA FUNDICION	PESO EN kg	DIAMETRO EN cm	CARGA en Libras	RESISTENCIA kg/cm ²	RESISTENCIA lb/plg ²
1	48-11	08/10/2010	3	Control de calidad mezcla de concreto	12.575	14.987	35,848	92.18	1311.09
2	49-11	08/10/2010	3	Control de calidad mezcla de concreto	12.459	15.057	36,343	92.59	1316.86
3	50-11	08/10/2010	7	Control de calidad mezcla de concreto	12.840	15.127	44,631	112.65	1602.24
4	51-11	08/10/2010	7	Control de calidad mezcla de concreto	12.740	15.100	45,600	115.50	1642.81
5	52-11	08/10/2010	28	Control de calidad mezcla de concreto	12.840	15.103	68,071	172.34	2451.29
6	53-11	08/10/2010	28	Control de calidad mezcla de concreto	12.720	15.073	66,143	168.13	2391.35

OBSERVACIONES :

- a) Agregado del Banco 2 procedente de Trituradora El Capullo obtenido en el rio Tamazulapa
- b) El interesado proporciono el material para la mezcla.
- c) El asentamiento obtenido en la mezcla fue de 7 cm.
- d) Diseño teórico de acuerdo al informe S.C.-450
- e) Modificación de agua: Cantidad Original 195 lts/m³ a 214.29 lts/m³.

Atentamente,

Vo.Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora CII/USAC



Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
 Jefa Sección de Concretos



ym

Resistencia a la compresión de cilindros de concreto de 34,47 MPa del Banco 2



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



Nº 21722

RESISTENCIA DE CILINDROS DE CONCRETO

NORMA ASTM C-39

INFORME No. S.C. - 570

O.T. No. 27264

HOJA 1/1

INTERESADO: Sergio Estuardo Villalta García, Carné: 2005-16315

ASUNTO: ENSAYO A COMPRESION

PROYECTO: Trabajo de Graduación: "Estudio y Analisis Fisico, Quimico, Mecanico y Petrografico de agregado para concreto estructural"

DIRECCION: Municipio de Asuncion Mita Jutiapa.

FECHA: 11 de Noviembre de 2010

Nº. CILINDRO OBRA	Nº. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE HECHURA	EDAD EN DÍAS	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA FUNDICION	PESO EN kg	DIAMETRO EN cm	CARGA en Libras	RESISTENCIA kg/cm ²	RESISTENCIA lb/plg ²
1	42-11	08/10/2010	3	Control de calidad mezcla de concreto	12.585	15.077	51,484	130.81	1860.54
2	43-11	08/10/2010	3	Control de calidad mezcla de concreto	12.598	15.037	53,469	136.58	1942.57
3	44-11	08/10/2010	7	Control de calidad mezcla de concreto	12.740	15.113	68,071	172.12	2448.04
4	45-11	08/10/2010	7	Control de calidad mezcla de concreto	12.730	15.167	64,216	161.23	2293.19
5	46-11	08/10/2010	28	Control de calidad mezcla de concreto	12.820	15.137	96,493	243.23	3459.50
6	47-11	08/10/2010	28	Control de calidad mezcla de concreto	12.630	15.130	88,634	223.62	3180.53

OBSERVACIONES :

- a) Agregado del Banco 2 procedente de Trituradora El Capullo obtenido en el rio Tamazulapa
- b) El interesado proporciono el material para la mezcla.
- c) El asentamiento obtenido en la mezcla fue de 6.5 cm.
- d) Diseño teórico de acuerdo al informe S.C. -451
- e) Modificación de agua: Cantidad Original 195 lts/m³ a 214.29 lts/m³.

Atentamente,

Vo.Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora CII/USAC



Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jofre
Jefa Sección de Concretos



Asentamiento según tipo de estructura

Tipo de estructura	Asentamiento
Cimientos, muros reforzados, vigas, paredes reforzadas y columnas, etc...	10
Pavimentos y losas	8
Concreto masivo	5

Cantidad de agua según asentamiento y tamaño máximo del agregado grueso

Asentamiento (cm)	Cantidad de agua (lt/m ³)				
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"
3 a 5	205	200	185	180	175
8 a 10	225	215	200	195	180
15 a 18	240	250	210	205	200

Relación agua/cemento

Resistencia (kgf/cm ²)	Relación A/C
352	0,47
316	0,5
281	0,54
246	0,57
210	0,6
176	0,64

Porcentaje de arena

Tamaño máximo agregado grueso	Porcentaje de arena sobre agregado total
3/8"	48
1/2"	46
3/4"	44
1"	42
1 1/2"	40