



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

**CALIDAD DE DOS BANCOS DE AGREGADOS PARA
CONCRETO, EN EL DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA**

Rudy Estuardo Martínez Patzán
Asesorado por: Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
Ing. Julio Roberto Luna Aroche

Guatemala, mayo de 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CALIDAD DE DOS BANCOS DE AGREGADOS PARA CONCRETO, EN EL
DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

RUDY ESTUARDO MARTÍNEZ PATZÁN

ASESORADO POR: INGA. DILMA YANET MEJICANOS JOL

ING. JULIO ROBERTO LUNA AROCHE

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, MAYO DE 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE LA JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. José Milton De León Bran
VOCAL V	Br. Isaac Sultán Mejía
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

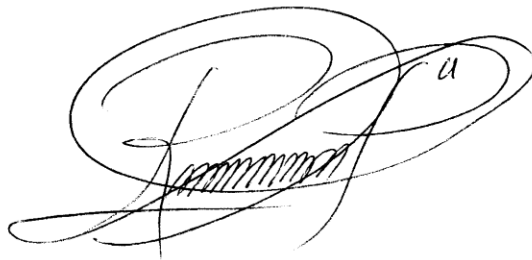
DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Inga. María del Mar Girón
EXAMINADOR	Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero
EXAMINADOR	Ing. Jeovany Miranda Castañón
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

CALIDAD DE DOS BANCOS DE AGREGADOS PARA CONCRETO, EN EL DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA,

tema que me fuera asignado por Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, el 22 de abril de 2008.

A handwritten signature in black ink, featuring a large, stylized initial 'R' and 'M' with a small 'u' at the end, all enclosed within a large, sweeping loop.

Rudy Estuardo Martínez Patzán



Guatemala, 22 de Abril de 2 009

Ingeniero Sydney Alexander Samuels Milson
Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
DIRECTOR

Ingeniero Samuels

Me dirijo a usted para informarle, que he revisado el trabajo de graduación **CALIDAD DE DOS BANCOS DE AGREGADOS PARA CONCRETO EN EL DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA**, elaborado con el estudiante **Rudy Estuardo Martínez Patzán**, quien conto con la asesoría de la suscrita.

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

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
Col. 5947
ASESORA

Dilma Y. Mejicanos Jol
Ingeniera Civil
Col. 5947



CENTRO DE ESTUDIOS SUPERIORES
DE ENERGÍA Y MINAS
- CESEM -
Tel./fax: 24 76 04 23



Guatemala, 22 de abril de 2009.

Ingeniero
Sydney Alexander Samuels Milson
Director, Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
USAC

Estimado Ingeniero Samuels:

Por medio de la presente me dirijo a usted para desearle éxitos en sus labores diarias.

El motivo de la presente es para informarle que he asesorado al estudiante **RUDY ESTUARDO MARTÍNEZ PATZÁN** en su trabajo de graduación que lleva por título **CALIDAD DE DOS BANCOS DE AGREGADOS PARA CONCRETO EN EL DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA.**

Luego de haber propuesto correcciones y el estudiante haberlas realizado, apruebo este trabajo de graduación para que el mismo sea sometido a su consideración y posteriormente a una aprobación final.

Atentamente,

“**ID Y ENSEÑAD A TODOS**”

Ing. Julio Roberto Luna Aroche
DIRECTOR



CENTRO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE ENERGÍA Y MINAS -CESEM-

cc. archivo
zv/



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 04 de mayo de 2 009

Ingeniero
Sydney Alexander Samuels Milson
Director de la Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería

Señor Director:

Tengo el agrado de dirigirme a usted para informarle que he revisado el trabajo de graduación **“Calidad de dos bancos de agregados para concreto en el Departamento de Chiquimula”**, realizado por el estudiante universitario **Rudy Estuardo Martínez Patzán**, quien contó con la asesoría de los profesionales Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol e Ing. Julio Roberto Luna Aroche.

Considero que el trabajo realizado por el estudiante **Martínez Patzán**, cumple con los objetivos para los cuales fue planteado, por lo que recomiendo su aprobación.

Agradezco a usted la atención que se sirva prestar a la presente.

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



FACULTAD DE INGENIERIA
AREA DE MATERIALES Y
CONSTRUCCIONES CIVILES
USAC

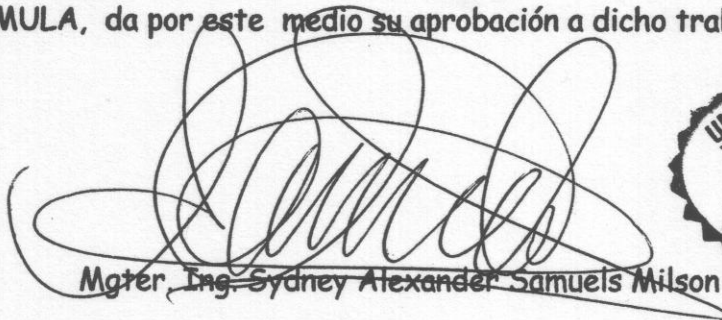
Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
Coordinador Area de Materiales y Construcciones Civiles

Cc archivo



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen de los Asesores Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz, al trabajo de graduación del estudiante Rudy Estuardo Martínez Patzán, titulado CALIDAD DE DOS BANCOS DE AGREGADOS PARA CONCRETO, EN EL DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Mgter. Ing. Sydney Alexander Samuels Milson



Guatemala, mayo 2009

/bbdeb.



171.2009
Ref. DTG.161.2009

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: **CALIDAD DE DOS BANCOS DE AGREGADOS PARA CONCRETO, EN EL DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA**, presentado por el estudiante universitario **Rudy Estuardo Martínez Patzán**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
DECANO



Guatemala, mayo de 2009

/gdech

ACTO QUE DEDICO A

Dios	Por darme la vida e iluminar mi camino.
Mis Padres	Juan de la Cruz Martínez González Rosenda Patzán de Martínez (D.E.P) Con cariño hacia ellos, por su amor y apoyo incondicional.
Mis hermanos	Mynor René Juan Carlos Con mucho afecto hacia dos nobles personas, de quienes he aprendido valiosas lecciones.
Mis abuelos	Eulogio Patzán (D.E.P.) Casimira Suruy de Patzán (D.E.P.) A la memoria de quienes fueron mis segundos padres.
Mis amigos	Ariel, Arturo, Byron, Carla, Carlos, Cristóbal, Danilo, Fabián, Fredy, Gustavo, Ingrid, Joaquín, Julio, Kimberly, Leonel, Lucia, Lucky, Luis Eduardo, Manuel, Noé, Oscar, Pablo, Renato, Rosario, Sócrates. Por su confianza y apoyo a lo largo de mi carrera.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por permitirme alcanzar mis metas. En ti confío Señor.
Mis padres	Sin ustedes no habría alcanzado este importante logro, del cual pueden estar orgullosos, porque también les pertenece.
Mis hermanos	Por sus buenos consejos y apoyo a lo largo de mi carrera.
Mis abuelos	Gracias por sus enseñanzas y ejemplo.
Mi cuñada y mis sobrinos	Ingrid Maribel, María Gabriela y Carlos Javier. Por su cariño y apoyo.
Mis amigos	Por los buenos y malos momentos que compartimos juntos.
Mis asesores	Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol. Ing. Julio Roberto Luna Aroche. Por su amistad, su apoyo y el tiempo dedicado al asesoramiento del presente trabajo.
Centro de Investigaciones de Ingeniería	En especial al personal de la sección de concretos, quienes contribuyeron amablemente en la realización de este trabajo.
Tritura S.A.	Por el apoyo demostrado al proporcionar muestras de agregados para la realización de los ensayos de laboratorio.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
OBJETIVOS	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. LOS AGREGADOS	1
1.1. Definición	1
1.2. Clasificación	2
1.3. Agregados minerales naturales	3
1.3.1 Descripción de las rocas	4
1.3.2 Descripción de los minerales	7
1.4 Agregados de peso ligero	13
1.5 Agregados de peso pesado	15
1.6 Agregado de escoria de alto horno	16
1.7 Agregado de ceniza volante	17
1.8 Agregados de concreto reciclado y desperdicios municipales	18
1.9 Producción de agregados	20
1.10 Características del Agregado	21
1.10.1 Densidad y densidad aparente	23
1.10.2 Absorción y humedad superficial	24
1.10.3 Resistencia a la trituración, resistencia a la abrasión y módulo de elasticidad	26
1.10.4 Sanidad	26
1.10.5 Tamaño y granulometría	28

1.10.6	Forma y textura de la superficie	29
1.10.7	Sustancias nocivas	31
1.11	Petrografía del concreto y sus materias primas	33
2.	LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS BANCOS DE MATERIALES	35
2.1.	Localización	35
2.2.	Descripción geológica de los bancos	42
3.	NORMAS PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE AGREGADOS PÉTREOS	49
3.1	Análisis de las propiedades físicas de los agregados	49
3.1.1.	Descripción general de la norma ASTM C-33-08	50
3.1.1.1.	Agregado fino	50
3.1.1.1.1.	Granulometría	50
3.1.1.1.2.	Sustancias perjudiciales	52
3.1.1.1.3.	Impurezas orgánicas	53
3.1.1.2.	Agregado grueso	55
3.1.1.2.1.	Granulometría	55
3.1.1.2.2.	Sustancias perjudiciales	56
3.1.1.3.	Absorción y contenido de humedad, peso específico y Peso unitario	59
3.1.1.3.1	Absorción y contenido de humedad	59
3.1.1.3.2	Peso específico	62
3.1.1.3.3	Peso unitario	65
3.2.	Análisis de las propiedades mecánicas de los agregados	68
3.2.1.	Ensayo de abrasión en la máquina de Los Ángeles, ASTM C-131-06	69
3.2.1.1.	Resumen del método	70

3.2.1.2.	Muestra de ensayo	70
3.2.1.3.	Procedimiento	71
3.3.	Análisis de las propiedades petrográficas de los agregados	72
3.3.1.	Examen petrográfico de agregados, ASTM C-295-08	72
3.3.1.1.	Usos de los análisis petrográficos	72
3.3.1.2.	Selección de las muestras para el examen	73
3.3.1.3.	Examen de la grava natural	74
3.3.1.4.	Exámenes de la arena natural	75
3.3.1.5.	Examen del núcleo de perforación	75
3.3.1.6.	Examen de la roca expuesta	76
3.3.1.7.	Examen de la roca triturada	76
3.3.1.8.	Examen de la arena manufacturada	77
3.3.1.9.	Cálculos e informe	77
3.4.	Análisis de las propiedades químicas de los agregados	79
3.4.1.	Método químico para medir la reactividad potencial álcali-sílice de los agregados, ASTM C-289-07	80
3.4.1.1.	Aplicación y uso	80
3.4.1.2.	Selección y preparación de la muestra	81
3.4.1.3.	Procedimiento	81
3.4.1.4.	Interpretación de los resultados	82
4.	ENSAYOS DE LABORATORIO	85
4.1.	Tabulación y análisis de resultados	85
4.1.1.	Resultados de la norma ASTM C-33-08	86
4.1.1.1.	Agregado fino	86
4.1.1.2.	Agregado grueso	93
4.1.2.	Resultados de la norma ASTM C-131-06	97
4.1.3.	Resultados de la norma ASTM C-289-07	97
4.1.4.	Resultados de la norma ASTM C-295-08	100

4.1.4.1.	Agregado fino	100
4.1.4.2.	Agregado grueso	106
4.1.4.2.1.	Composición química	106
5.	ELABORACIÓN DE CONCRETO PARA DETERMINAR RESISTENCIAS	107
5.1.	Diferentes diseños de mezcla	110
6.	MÉTODO DE DIVULGACIÓN DE RESULTADOS	115
	CONCLUSIONES	117
	RECOMENDACIONES	119
	BIBLIOGRAFÍA	121
	APÉNDICE	123

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Distribución de los agregados de peso ligero	14
2	Características del agregado determinadas pro su microestructura	22
3	Agregado en varios estados de humedad	25
4	Localización de bancos de materiales del departamento de Chiquimula	36
5	Río y puente San José, Chiquimula, Chiquimula	38
6	Vista aérea del banco de arena 2, aldea Petapilla, Chiquimula, Chiquimula	40
7	Vista aérea del banco de agregado grueso, caserío Paso del Credo, aldea Petapilla, Chiquimula, Chiquimula	42
8	Mapa geológico del departamento de Chiquimula	43
9	Ampliación del mapa geológico del departamento de Chiquimula	46
10	Nomenclatura del mapa geológico del departamento de Chiquimula	47
11	Ilustración de la curva de división entre agregados inocuos y dañinos	83
12	Curva granulométrica de agregado fino, banco de arena 1	87
13	Curva granulométrica de agregado fino, banco de arena 2	91
14	Curva granulométrica de agregado grueso	95
15	Gráfica de resultados de división entre agregados inocuos y dañinos	99
16	Distribución de los diferentes tipos de partículas del banco de arena 1	102
17	Contenido promedio de los componentes del banco de arena 1	102
18	Distribución de los diferentes tipos de partículas del banco de arena 2	104
19	Contenido promedio de los componentes del banco de arena 2	105

20	Fotografía del ingreso al banco de materiales 1	123
21	Fotografías del proceso de extracción del banco de materiales 1	124
22	Fotografía del ingreso al banco de arena 2, del banco de materiales 2	124
23	Fotografías de la extracción y almacenamiento del banco de arena 2	125
24	Fotografía del ingreso al banco de agregado grueso, del banco de materiales 2	125
25	Fotografías de la maquinaria utilizada para la extracción en bruto del agregado grueso	126
26	Fotografía del banco de agregado grueso, del banco de materiales 2	126
27	Fotografías de la planta trituradora de agregado grueso, del banco de materiales 2	127
28	Informe de la norma ASTM C-33-08 del banco de arena 1	128
29	Informe de la norma ASTM C-33-08 de la arena 2, del banco de materiales 2	129
30	Informe de la norma ASTM C-33-08 del agregado grueso, del banco de materiales 2	130
31	Informe de la norma ASTM C-131-06 del agregado grueso, del banco de materiales 2	131
32	Informe de desgaste por sulfato de sodio ASTM C-88-05 del banco de arena 1	132
33	Informe de desgaste por sulfato de sodio ASTM C-88-05 de la arena 2, del banco de materiales 2	133
34	Informe de desgaste por sulfato de sodio ASTM C-88-05 del agregado grueso del banco de materiales 2	134
35	Informe de la norma ASTM C-295-08 de agregado grueso y fino	135
36	Gráfica del informe de la norma ASTM C-295-08 de agregado grueso y fino	136
37	Informe del diseño teórico de mezcla $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	137

38	Informe de resistencia de cilindros de concreto ASTM C-39-05 para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	138
39	Informe del diseño teórico de mezcla $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$	139
40	Informe de resistencia de cilindros de concreto ASTM C-39-05 para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$	140

TABLAS

I	Características de los agregados de rocas sedimentarias	11
II	Características de los agregados de rocas ígneas	12
III	Composición y densidad de agregados del peso pesado	15
IV	Límites para las sustancias nocivas en los agregados para concreto	31
V	Clasificación de la arena por su módulo de finura	52
VI	Límites de sustancias nocivas en agregados finos	52
VII	Límites de sustancias nocivas en agregados gruesos	57
VIII	Peso de muestras de agregados para contenido de humedad	62
IX	Tipo de abrasión según granulometría	71
X	Granulometría de agregado fino, banco de arena 1	87
XI	Características físicas del agregado fino, banco de arena 1	88
XII	Granulometría de agregado fino, banco de arena 2	90
XIII	Características físicas del agregado fino. banco de arena 2	92
XIV	Granulometría de agregado grueso	94
XV	Características físicas del agregado grueso	95
XVI	Resultado de reactividad potencial álcali-sílice	97
XVII	Conteo del tipo de partículas que componen el banco de arena 1	101
XVIII	Porcentaje de partículas que componen el banco de arena 1	101
XIX	Conteo del tipo de partículas que componen el banco de arena 2	103
XX	Porcentaje de partículas que componen el banco de arena 2	104
XXI	Datos de la mezcla para concreto normal $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	111

XXII	Resistencia de cilindros de concreto normal $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	112
XXIII	Datos de la mezcla para concreto normal $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$	113
XXIV	Resistencia de cilindros de concreto normal $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$	113

GLOSARIO

Álcalis	Hidróxidos que se forman cuando elementos alcalinos entran en contacto con el agua. En el Cemento Pórtland estos elementos alcalinos son el sodio y el potasio.
ASTM	Siglas en inglés de la Sociedad Americana para el ensayo e inspección de los Materiales (American Society for Testing and Materials).
Brecha	Masa rocosa consistente, constituida por fragmentos de rocas de diferentes formas y tamaños.
Deletéreo	Que es dañino y perjudicial.
Diaclasa	Superficie de ruptura en una roca, a lo largo de la cual no se ha producido desplazamiento entre los bloques originados.
Gradación	Es una serie de cosas ordenadas gradualmente (tamices).
Homogenización del Concreto	Consiste en el mezclado adecuado de los componentes del concreto, a fin de lograr que estos se encuentren distribuidos de manera uniforme en la mezcla.
IGN	Siglas del Instituto Geográfico Nacional, Guatemala C.A.

Inocuo	Que no es nocivo, que no hace daño.
Intraclastos	Formaciones interiores de algún tipo de roca.
Litología	Parte de la geología que trata de las rocas.
Petrografía	Parte de la petrología que trata del estudio de la composición, estructura y clasificación de las rocas.
Sanidad	Resistencia de los agregados a la meteorización física y química.
Segregación	Es la separación de los materiales constitutivos del concreto, no logrando una homogeneidad de la mezcla.
Sinterizar	Producir piezas de gran resistencia y dureza calentando, sin llegar a la temperatura de fusión, conglomerados de polvo, generalmente metálicos, a los que se ha modelado por presión.
Tenacidad	Es la resistencia de las rocas a fracturarse bajo el impacto.
Vaciado	Es el proceso de transferir el concreto fresco, del dispositivo de conducción a su sitio final de colocación en las formaletas.

RESUMEN

Los agregados para concreto constituyen entre el 60 y 80 por ciento del volumen de la masa endurecida, contribuyendo a mejorar la resistencia del concreto, que en general, mientras más densamente pueda empaquetarse el agregado, mejor será la resistencia a la intemperie y la economía del concreto. Por lo tanto, es necesario el estudio de las propiedades físicas, mecánicas, petrográficas y químicas de estos elementos, para dictaminar si es o no recomendable el empleo de dichos materiales.

Se analizaron muestras de dos bancos de agregados para concreto del departamento de Chiquimula, los cuales están conformados por un banco de agregado fino proveniente de los márgenes del río San José, y un segundo banco de materiales del cual se extrajo una muestra de agregado fino y una muestra de agregado grueso, que proceden de la aldea Petapilla, Chiquimula. A dichas muestras se les sometió a un análisis completo, según la norma ASTM C-33-08, que determina la calidad de las características físicas y mecánicas de los agregados para concreto, ensayos realizados en el Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII). Así también se efectuaron los ensayos de laboratorio de petrografía ASTM C-295-08, realizado en el Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM), y un análisis químico ASTM C-289-07 para determinar la reactividad potencial álcali-sílice efectuado en el área de Química Industrial (CII).

El agregado grueso presenta resultados dentro de las especificaciones de la norma, mientras que los agregados finos presentan una granulometría fuera de los límites, para lo cual se establecen recomendaciones para su corrección, no obstante, sus demás características son satisfactorias, por consiguiente, la utilización de estos agregados pétreos se consideran aceptables y adecuados para su uso en la elaboración de concreto.

OBJETIVOS

- **General:**

Evaluar la calidad de los agregados utilizados en la elaboración de concreto en el Departamento de Chiquimula, haciendo uso de las normas ASTM correspondientes, determinando características físicas, mecánicas, químicas y petrográficas.

- **Específicos:**

1. Aportar información sobre la influencia e importancia de las características de los agregados en las propiedades del concreto.
2. Obtener resultados de los ensayos y concluir sobre la calidad de los materiales.
3. Determinar las características químicas y petrográficas de los materiales, para su buen uso en el diseño de mezclas de concreto, para evitar efectos dañinos por la reactividad potencial de los agregados a largo plazo.
4. Elaborar dos diseños de mezcla de concreto para dos distintas resistencias nominales, llevando consigo un control de calidad de concreto fresco y endurecido, monitoreando su resistencia a diferentes edades.

INTRODUCCIÓN

El incremento de la construcción en Guatemala, y el uso de concreto como principal material para dicho propósito, ha generado gran demanda de los materiales utilizados para su elaboración. Lo que conlleva mantener un control de calidad adecuado para los mismos.

La necesidad de contar con un concreto de calidad hace indispensable conocer la calidad de sus componentes, ya que tanto la resistencia como la durabilidad dependen de las propiedades físicas, mecánicas, petrográficas y químicas de ellos, especialmente de los agregados. Sin embargo, uno de los problemas que generalmente encuentran los ingenieros y los constructores al emplear el concreto, es la poca verificación de las características de los agregados pétreos que utilizan, lo que propicia con cierta frecuencia resultados diferentes a los esperados.

Los agregados para concreto son considerados materiales pétreos inertes, sin embargo sus características tales como la porosidad, la graduación, la absorción de humedad, la forma y la textura de la superficie, la resistencia a la ruptura, el módulo de elasticidad y los tipos de sustancias nocivas presentes, son realmente significativos para las propiedades importantes del concreto. Por esta razón, resulta fundamental la importancia que el agregado tenga buena resistencia, durabilidad, que su superficie esté libre de impurezas, las cuales pueden debilitar la unión con la pasta de cemento; y que no produzca una reacción química negativa entre el agregado pétreo y el cemento.

Debido a lo anterior, los agregados para concreto merecen una mayor atención por su influencia en la resistencia, estabilidad dimensional y durabilidad del concreto endurecido, así también en la importancia para determinar el costo y trabajabilidad de

las mezclas del concreto. Por ello es necesario efectuar los ensayos respectivos para obtener la información precisa sobre los aspectos físicos, mecánicos, petrográficos y químicos de los materiales.

Para efectos de este estudio serán utilizadas las siguientes normas, ASTM C-33-08 (Especificación normalizada de agregados para concreto), ASTM C-289-07 (Método químico para medir la reactividad potencial álcali-sílice de los agregados), y ASTM C-295-08 (Guía normalizada para examen petrográfico de agregados para concreto).

La República de Guatemala, cuenta con gran diversidad de bancos de materiales de construcción debido a su geografía y los diferentes afloramientos de rocas distribuidos en diferentes regiones del país. Es por ello que el presente estudio de agregados se enfoca en el departamento de Chiquimula, para el cual, los aspectos fundamentales de la formación, la clasificación y la descripción de las rocas y los minerales y algunos factores que influyen en las características del agregado, se describen en este trabajo de investigación.

Los ensayos se realizaron en el Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII), y en el Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos; luego se realizaron los análisis de resultados y se elaboraron las conclusiones y recomendaciones pertinentes al caso. La información de este trabajo sobre los agregados de dicho departamento será de gran utilidad en futuras construcciones a realizarse en la localidad, o bien, en otras regiones.

1. LOS AGREGADOS

1.1. Definición

Se define como agregados, a los materiales pétreos resultantes de la desintegración natural de rocas o que se obtienen de la trituración de las mismas, o de otros materiales inerte y suficientemente duros.

Los agregados son relativamente económicos y no entran en reacciones químicas complejas con el agua; por lo tanto, ha sido costumbre tratarlos como un relleno inerte en el concreto. Sin embargo, debido al creciente conocimiento del papel que juegan los agregados para determinar varias propiedades importantes del concreto, la idea tradicional del agregado como relleno inerte está siendo seriamente cuestionada.

Las características del agregado que son significativas para la tecnología del concreto incluyen la porosidad, la graduación o distribución de tamaños, la absorción de humedad, la forma y la textura de la superficie, la resistencia a la ruptura, el módulo de elasticidad y los tipos de sustancias nocivas presentes.

Estas características se derivan de la composición mineralógica de la roca original (que es afectada por los procesos de formación geológica), las condiciones de exposición a que la roca ha estado sujeta antes de formar el agregado y el tipo de operación y de equipo que se ha utilizado para producir el agregado.

1.2. Clasificación

Los agregados pueden clasificarse de acuerdo a su tamaño, por su densidad, o por su forma y origen.

Clasificación por tamaño. De acuerdo al volumen de sus partículas se dividen en:

- Agregado fino (Arena): es el material que pasa en un 95 por ciento de sus partículas por el tamiz No. 4 (tamiz según norma Estadounidense), de 4.76 mm (3/16") de abertura entre hilos.
- Agregado grueso (Grava o Piedrín): es el material que queda retenido en el tamiz de 150 mm (6"), cuyas partículas son en un 95 por ciento mayores de 4.75 mm.

Clasificación por su forma y origen. Pueden ser naturales, artificiales y mixtos.

- Naturales (canto rodado): proveniente de cauce de ríos. De forma redondeada. Las gravas y arenas de río son de este tipo. Produce concreto de buena calidad y de mayores ventajas (trabajabilidad o docilidad y economía) por lo que debe preferirse a los otros tipos, siempre que satisfaga las especificaciones de calidad tamaño y bajo costo de explotación. Este material tiene la ventaja de que la composición mineralógica de sus partículas no es uniforme.
- Artificiales (triturado): proveniente de trituración de piedra de cantera. Los piedrines son de este tipo. Se utilizará cuando no sea posible o económico emplear los otros tipos. Si bien, tiene ventajas por su composición mineralógica más uniforme, este material de aristas vivas (cantos angulosos), produce concreto menos trabajable y de mayor consumo de cemento, además de ser de costo de explotación más alto que el canto rodado.

- Mixtos (naturales y artificiales): proveniente de trituración de grava y comúnmente mezclado con grava natural. Es de buena clase. Para su utilización económica, hay que fijar un límite a la parte triturada.

Clasificación por densidad. Los agregados pueden constituirse en ligeros, normales o pesados de acuerdo a su densidad.

- Agregados ligeros: son aquellos cuya densidad oscila entre 500 y 1000 kg/m³, son utilizados en concreto de relleno o en mampostería estructural.
- Agregados normales: son aquellos cuya densidad se encuentra comprendida entre 1300 y 1600 kg/m³, se utilizan en concretos de uso general.
- Agregados pesados: son aquellos cuya densidad está entre 3000 y 7000 kg/m³, se utilizan en hormigones pesados, tales como los utilizados en centrales nucleares o usos especiales.

1.3. Agregados minerales naturales

Los agregados minerales naturales forman la clase más importante de los agregados para producir concreto de Cemento Pórtland. Buena parte del agregado grueso total consumido por la industria del concreto consiste en gravas; la mayor parte del resto es roca triturada. Las rocas de carbonato comprenden aproximadamente dos tercios del agregado triturado; la roca arenisca, el granito, la diorita, el gabro, el basalto y la andesita constituyen el resto. Los agregados minerales naturales provienen de rocas de varios tipos; la mayoría de las rocas están ellas mismas compuestas por varios minerales. Un mineral se define como una sustancia inorgánica que se encuentra en la naturaleza, con una composición química definida y generalmente con una estructura específicamente cristalina. Una revisión elemental de los aspectos de la formación de la roca y de la clasificación de las rocas y los minerales, es esencial para entender no

solamente por qué algunos materiales son más utilizados como agregados que otros, sino también para entender las relaciones microestructura-propiedades en el agregado.

1.3.1 Descripción de las rocas

Las rocas se clasifican de acuerdo con su origen en tres grupos principales: ígneas, sedimentarias y metamórficas; estos grupos se subdividen a su vez de acuerdo con su composición mineral y química, textura o tamaño de granos y estructura de los cristales.

Las rocas ígneas se forman al enfriarse el magma (materia de roca fundida) encima, abajo o cerca de la superficie de la tierra. El grado de cristalinidad y el tamaño del grano de las rocas ígneas por lo tanto, varían según la rapidez a la cual fue enfriado el magma al momento de la formación de la roca. Podrá notarse que el tamaño del grano tiene un efecto significativo en las características de la roca; hay rocas que teniendo la misma composición química, pero diferente tamaño de grano, pueden comportarse en forma diferente bajo las mismas condiciones de exposición.

El magma que haya penetrado a grandes profundidades, se enfría a una velocidad lenta y forma minerales completamente cristalinos con granos gruesos de cinco milímetros de tamaño de grano; las rocas de este tamaño son llamadas intrusivas o plutónicas. Sin embargo, debido a un enfriamiento más rápido, las rocas que se formaron cerca de la superficie de la tierra contienen minerales con cristales menores, son del grupo fino (de 1 a 5 milímetros de tamaño de grano) y pueden contener algo de vidrio; son llamadas superficialmente intrusivas o hipabisales. El magma enfriado rápidamente, como en el caso de las erupciones volcánicas, contiene principalmente materia no cristalina o vidriosa; el vidrio puede ser denso (lava apagada) o celular (pómez) y el tipo de roca es llamado extrusivo o volcánico.

A su vez, un magma puede ser sobresaturado, saturado o subsaturado con respecto a la cantidad de sílice presente para la formación mineral. Del magma sobresaturado, la sílice libre o no combinada cristaliza como cuarzo después de la formación de minerales tales como feldespatos, mica y hornblenda. En el magma saturado o subsaturado, el contenido de sílice es insuficiente para formar cuarzo. Esto conduce a una clasificación de rocas ígneas basada en el SiO_2 presente; las rocas que contienen más de 65 por ciento de SiO_2 , de 55 a 65 por ciento de SiO_2 y menos de 55 por ciento de SiO_2 , son llamadas ácidas, intermedias y básicas, respectivamente. Las clasificaciones de las rocas ígneas con base en su estructura de cristales y contenido de sílice son útiles, puesto que parece que es la combinación del carácter ácido y la textura de grano fino o vidriosa de la roca lo que determina si un agregado será vulnerable al ataque de álcalis en el concreto de Cemento Pórtland.

Las rocas sedimentarias son rocas estratificadas que generalmente fueron depositadas por acción del agua, pero que a veces fueron, acumuladas por acción del viento y en ciertas regiones por acción glacial. Las rocas silíceas sedimentarias se derivan de las rocas ígneas existentes. Y dependiendo de la forma de depósito y de consolidación, conviene subdividir las en tres grupos:

- Mecánicamente depositadas ya sea en estado no consolidado o físicamente consolidado.
- Depositadas mecánicamente y consolidadas generalmente con cementos químicos, y
- Depositadas químicamente y consolidadas.

Grava, arena, limo y arcilla son los miembros más importantes del grupo de sedimentos no consolidados. Aunque la diferenciación entre estos cuatro elementos se hace con base en el tamaño de sus partículas, se aprecia en general una diferencia en la composición mineral. La grava y las arenas gruesas generalmente consisten en

fragmentos de roca; la arena fina y el limo consisten predominantemente en granos minerales, y las arcillas son exclusivamente granos minerales.

La roca arenisca, la cuarcita y la roca parda corresponden a la segunda categoría. La roca arenisca y la cuarcita están formadas por partículas de roca del tamaño del grano de arena; si la roca se rompe alrededor de los granos de arena se le llama roca arenisca; si los granos son principalmente de cuarzo y la roca se rompe a través de los granos, es llamada cuarcita. La cuarcita puede ser sedimentaria o metamórfica. Los materiales cementantes intersticiales de roca arenisca pueden ser ópalo (gel de sílice), calcita, dolomita, arcilla o hidróxido de hierro. La roca parda es una clase especial de roca arenisca que contiene fragmentos angulares y fragmentos de roca del tamaño de granos de arena en una matriz abundante de lutita, arcilla o pizarra.

El horsteno y el pedernal corresponden al tercer grupo de rocas sedimentaria de sílice. El horsteno es generalmente de grano fino y puede variar de poroso a denso. Los horstenos negros densos o grises, que son realmente duros, son llamados pedernales. En relación con la composición mineralógica, el horsteno está formado por cuarzo pobremente cristalino, calcedonia y ópalo; a menudo los tres se encuentran presentes.

La piedra caliza es la más abundante de las rocas de carbonato. Va del rango de la roca caliza pura, que consiste en el mineral calcita, a la dolomita pura, que consiste en el mineral dolomita. Generalmente, las dos contienen minerales de carbonato en varias proporciones y cantidades significativas de impurezas no carbonatadas, como son la arcilla y la arena.

Hay que hacer notar que, comparados con las rocas ígneas, los agregados producidos con sedimentos estratificados pueden variar ampliamente en sus características, tales como la forma, la textura, la porosidad, la resistencia y la pureza. Esto es debido a que las condiciones bajo las cuales fueron consolidadas varían

grandemente. Las rocas tienden a ser porosas y débiles cuando se forman bajo presiones relativamente bajas. Son densas y resistentes si se forman bajo alta presión. Algunas rocas caliza y areniscas pueden tener menos de 100 MPa de resistencia a la trituración y son por lo tanto inadecuadas para su uso en concreto de alta resistencia. Igualmente, comparadas con las rocas ígneas, las rocas sedimentarias frecuentemente contienen impurezas que a veces obstaculizan su uso como agregado. Por ejemplo, la roca caliza, la dolomita y la roca arenisca pueden contener ópalo o minerales arcillosos que afectan adversamente el comportamiento del agregado bajo ciertas condiciones de exposición.

Las rocas metamórficas son rocas ígneas o sedimentarias que han cambiado su textura original, su estructura cristalina o su composición, como respuesta a condiciones físicas y químicas bajo la superficie de la tierra. Los tipos comunes de roca que pertenecen a este grupo son el mármol, el esquisto, las filita y el gneis. Las rocas son densas pero frecuentemente foliadas. Algunas filitas son reactivos con los álcalis del Cemento Pórtland.

La corteza terrestre consiste en un 95 por ciento de rocas ígneas y 5 por ciento de rocas sedimentarias. Este 5 por ciento de rocas sedimentarias está compuesto por aproximadamente 4 por ciento de pizarra esquistosa, 0.75 por ciento de roca arenisca y 0.25 por ciento de roca caliza. Mientras que las rocas ígneas afloran en solamente 25 por ciento del área terrestre, las rocas sedimentarias cubren el 75 por ciento restante. Esta es la razón de que los agregados de mineral natural usados en el concreto: arena, grava y rocas de carbonato trituradas, se deriven de rocas sedimentarias. Aunque algunos depósitos sedimentarios llegan a tener 13 kilómetros de espesor, en las áreas continentales el espesor promedio es de 2,300 metros.

1.3.2. Descripción de los minerales

La norma ASTM C 294, contiene la nomenclatura descriptiva que proporciona una base para entender los términos utilizados para designar a los componentes del agregado.

Con base en esta norma, a continuación se presenta una breve descripción de los minerales constitutivos que comúnmente aparecen en las rocas naturales.

Minerales de sílice. El cuarzo es un mineral duro muy común, compuesto de SiO_2 cristalino. La dureza del cuarzo así como la del feldespato se deben al marco de la estructura Si^+O , que es muy resistente. El cuarzo se encuentra en rocas ígneas de tipo ácido > 65 por ciento de SiO_2 , tales como el granito y la riolita. Debido a su resistencia al intemperismo es un constituyente importante de muchos depósitos de arena de grava y de areniscas, la tridimita y la cristobalita también son materiales de sílice cristalinos, pero son metaestables a temperatura y presiones ordinarias y se les encuentra raramente en la naturaleza con excepción de las rocas volcánicas. Los minerales no cristalinos son denominados como vidrio.

Minerales de silicatos. Los feldespatos, los ferromagnesios, los micáceos y los minerales de arcilla corresponden a esta categoría. Los minerales del grupo del feldespato son minerales más abundantes que forman las rocas en la corteza terrestre y son importantes componentes de las rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas.

Casi tan duro como el cuarzo, los distintos elementos del grupo se diferencian por su composición química y sus propiedades cristalográficas.

La ortoclasa, la sanidina y la microclina son silicatos de aluminio y de potasio, que son frecuentemente llamados feldespatos de potasio. La plagioclasa o feldespatos de cal-sosa incluyen silicatos de aluminio y de sodio (albita), silicatos de aluminio y de calcio (anordita), o ambos. Los feldespatos alcalinos que contienen potasio o sodio aparecen generalmente en rocas ígneas de alto contenido de sílice, tales como los granitos y las riolitas, mientras que las que tienen más alto contenido de calcio, se encuentran en las rocas ígneas de bajo contenido de sílice, tales como la diorita, el gabro y el basalto.

Los minerales de ferromagnesio, que aparecen en muchas rocas ígneas y metamórficas, consisten en silicatos de hierro o de magnesio, o en ambos. Los minerales con contenido de estructura cristalina de anfibolita y de piroxeno son conocidos como hornblenda y augita respectivamente. La olivina es un mineral común de esta clase, que se encuentra en las rocas ígneas de contenido relativamente bajo de sílice. La muscovita, la biotita, la clorita y la vermiculita, que forman el grupo de minerales micáceos, también contienen silicatos de hierro y de magnesio, pero su composición estructural laminar interna es responsable de la tendencia a separarse en hojas finas. Las micas son abundantes y aparecen en los tres grupos principales de rocas.

El grupo de los minerales de arcilla comprende los minerales con estructura laminar menor de 2 μm (0.002 mm) de tamaño. Los minerales de arcilla, que consisten principalmente en aluminio hidratado, magnesio y silicatos de hierro, son los principales componentes de las lutitas y las arcillas. Son suaves y se desintegran al mojarse; algunas arcillas (conocidas como montmorillonitas en Estados Unidos y como esmectitas en el Reino Unido), sufren grandes expansiones al mojarse.

Las arcillas y las pizarras no son por lo tanto directamente utilizadas como agregados del concreto. Sin embargo, los minerales arcillosos pueden estar presentes como contaminantes en un agregado mineral natural.

Minerales de carbonato. El mineral de carbonato más común es la calcita o el carbonato de calcio, CaCO_3 . El otro mineral más común es la dolomita, que tiene proporciones equimoleculares de carbonato de calcio y carbonato de magnesio (que corresponde a 54.27 y 45.73 por ciento en peso de CaCO_3 y MgCO_3 respectivamente). Ambos minerales de carbonato son más suaves que el cuarzo y que el feldespato.

Minerales de sulfatos y sulfuros. Los sulfuros de hierro como la pirita, la marcasita y la pirrotita, se hallan frecuentemente en agregados naturales. La marcasita, que se encuentra principalmente en las rocas sedimentarias, se oxida rápidamente para formar ácido sulfúrico e hidróxidos de hierro. La formación de ácidos es indeseable, especialmente desde el punto de vista de la corrosión potencial del acero en concretos presforzados y reforzados. La marcasita y ciertas formas de pirita y pirrotita se piensa que pueden ser las responsables de los cambios expansivos de volumen en el concreto, causándole grietas y botaduras.

El yeso (sulfato de calcio hidratado) y la anhidrita (sulfato de calcio anhidro) son los minerales de sulfatos más abundantes que pueden estar presentes como impurezas en las rocas de carbonato y en las pizarras. Algunas veces se encuentran como recubrimientos en arena y en grava; tanto el yeso como la anhidrita, cuando se hallan presentes en el agregado incrementan las posibilidades de un ataque de sulfatos en el concreto.

Debido a que la mayor cantidad de agregados del concreto se deriva de rocas sedimentarias e ígneas, se presentan las descripciones de los tipos de roca en cada clase, los principales minerales presentes y características de los agregados en las tablas I y II, respectivamente.

Tabla I. Características de los agregados de rocas sedimentarias.

Tipo de roca	Nombre común	Principales minerales presentes	Características del agregado
Rocas silíceas			
Depositadas mecánicamente en forma no consolidada o en estado físicamente consolidado.	Boleos (>75 mm) Grava (4.75 - 75 mm) Arena (0.075 - 4.75 mm) Limo (0.002 - 0.75 mm) Arcilla (> 0.002 mm) Lutita (arcilla consolidada)	Todos los tipos de roca: y minerales pueden estar presentes en boleos, grava y arena. El limo consiste predominantemente en granos y minerales de sílice. Las arcillas están compuestas principalmente de un grupo de minerales de arcilla.	Puesto que los boleos naturales, la grava y la arena se derivan de procesos geológicos de desgaste por el tiempo, consisten en rocas duras y minerales que tienen una forma redondeada y una superficie tersa. Cuando no están contaminados con arcilla y limo, pueden ser agregados resistentes y durables para el concreto. Las lutitas pueden aparecer duras, pero tienen fragmentos planos y se desintegran en agua.
Depositadas mecánicamente y consolidadas generalmente con cementos químicos.	Arenisca	Fragmentos del tamaño de la arena que consisten principalmente en cuarzo y feldespato, generalmente cementados con ópalo, calcita, dolomita, arcilla o hidróxido de hierro.	Generalmente las areniscas producen agregados de calidad satisfactoria. Como en las rocas de carbonato, la porosidad, la capacidad de absorción de humedad, la resistencia y la durabilidad de las rocas areniscas pueden variar ampliamente y afectar por lo tanto las propiedades del agregado.
	Piedra Parda	La piedra parda es arenisca gris que contiene fragmentos angulares y roca del tamaño de la arena en una abundante matriz de lutita, arcilla o pizarra.	
Depositadas químicamente consolidadas.	Horsteno, pedernal	El horsteno consiste en cuarzo poco cristalino, calcedonia u ópalo; a menudo, estos tres minerales están presentes. Pedernal es el nombre dado a las variedades densas de horsteno.	Los horstenos densos hacen buenos agregados. Los horstenos predominantemente opalinos o calcedónicos son capaces de reaccionar con los álcalis en la pasta de Cemento Pórtland.
Rocas de carbonato	Caliza Dolomita Calcita Dolomítica Dolomita calcítica Caliza arenisca (o dolomita) Caliza arcillosa (o dolomita)	Calcita predominantemente Dolomita predominantemente Calcita 50-90%; el resto es dolomita Dolomita 50-90%; el resto es calcita Rocas de carbonato conteniendo 10-50% de arena. Rocas de carbonato conteniendo 10-50% de arcilla.	Las rocas de carbonato son más suaves que las rocas silíceas sedimentarias. Sin embargo, producen generalmente agregados de calidad satisfactoria. Como en la arenisca, la porosidad, la capacidad de absorción, de humedad, la resistencia y la durabilidad de las rocas de carbonato pueden variar ampliamente y afectar las propiedades del agregado. Cuando son rocas estratificadas, tienden a producir fragmentos planos o alargados.

Tabla II. Características de los agregados de rocas ígneas.

Tipo de roca	Nombre común	Principales minerales presentes	Características del agregado
Intrusiva y plutónica	Granito Sienita Diorita Gabro Diabasa o dolerita Roca pardusca	Cuarzo, feldespato (O,P) ¹ mica. Feldespato (O,P) hornblenda, biotita. Feldespato (P), hornblenda, biotita. Hornblenda, augita, feldespato (P). Los mismos minerales de gabro, pero de grano medio a fino. Gabro, diabasa y basalto.	Las rocas de este grupo generalmente hacen agregados excelentes debido a que: 1) Tienen granos de medio a grueso, son resistentes y producen fragmentos equidimensionales al triturarse. 2) Tienen muy baja porosidad y absorción de humedad. 3) No reaccionan con los álcalis en el concreto de Cemento Pórtland.
Intrusiva superficial o hipabisal	Grupo de felsita: riolita, traquita, andesita Basalto	La composición mineral de las rocas del grupo felsita, riolita, traquita y andesita, es equivalente del granito, sienita y diorita respectivamente. Con respecto a la composición mineralógica, el basalto es la intrusiva superficial o extrusivo equivalente de gabro y diabasa.	Las rocas de este grupo tienen grano fino y duro y hacen un buen agregado excepto que las rocas de felsita, cuando son micro cristalinicas o contienen vidrio natural, son reactivadas con los álcalis del concreto de Cemento Pórtland. Sin embargo, en el caso del basalto, aun cuando contiene vidrio natural, el vidrio es generalmente básico y por lo tanto no reacciona con los álcalis en el concreto de Cemento Pórtland.
Extrusiva o volcánica	Obsidiana Vidrio volcánico Perlita Pómez Escoria Toba	Un vidrio denso, oscuro, natural con alto contenido de sílice. Vidrio natural que contiene hasta 10% de agua. Vidrio con alto contenido de sílice con textura de cebolla y lustre perlado: contiene de 2 a 5% de agua. Vidrio poroso con huecos alargados. Vidrio poroso con huecos esféricos. Vidrio poroso formado por la consolidación de la ceniza volcánica	La obsidiana y el vidrio volcánico son densos y duros, pero no se encuentran comúnmente. La perlita es usada generalmente para hacer concretos aislantes después de que su estructura es alterada a una estructura vesicular como la pómez, por tratamiento en caliente. La pómez, la escoria y las tobas son porosas y débiles, útiles para producir concreto de peso ligero y aislante.

Las abreviaturas O y P presentan ortoclasa y feldespato de plagioclasa, respectivamente.

1.4. Agregados de peso ligero

Los agregados que pesan menos de $1,120 \text{ kg/m}^3$, se consideran generalmente de peso ligero y encuentran su aplicación en la producción de varios tipos de concreto de peso ligero. El peso ligero se debe a su microestructura celular o altamente porosa.

Los agregados naturales de peso ligero son elaborados procesando rocas ígneas volcánicas tales como la roca pómez, la escoria o la turba. Los agregados sintéticos de peso ligero pueden manufacturarse por tratamiento térmico de una variedad de materiales, por ejemplo, lutita, arcilla, pizarra, diatomita, perlita, vermiculita, escoria de alto horno y ceniza volante.

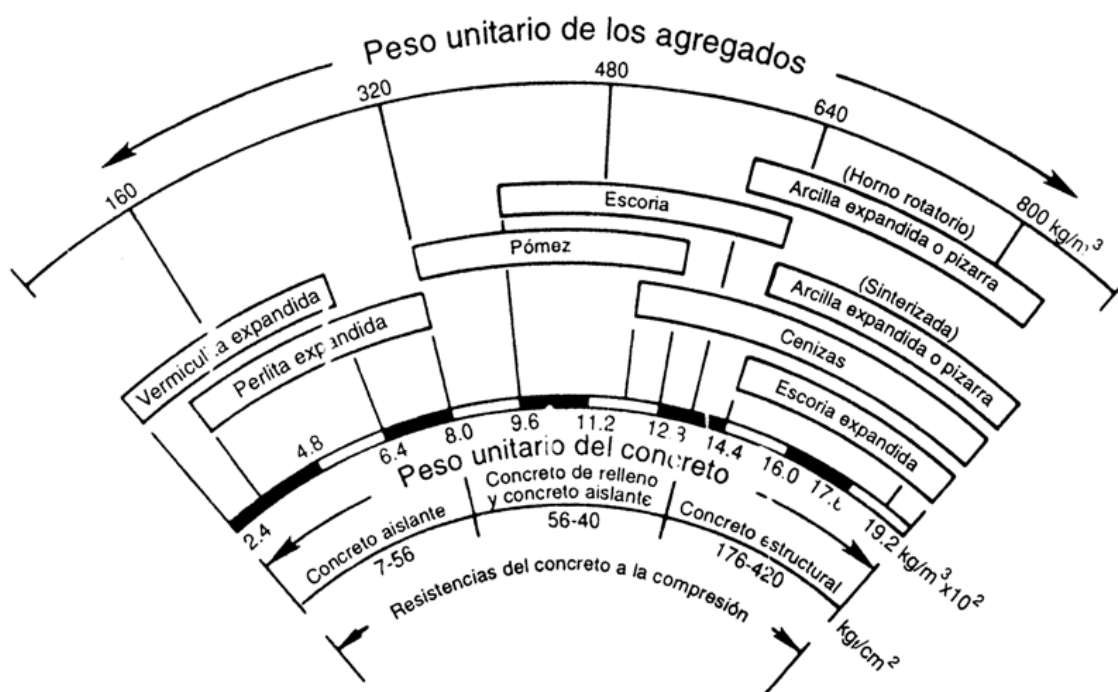
Los agregados muy porosos, que son los más ligeros del género, son en general débiles y por lo tanto, los más adecuados para producir concretos aislantes no estructurales. Al otro extremo del espectro se encuentran aquellos agregados de peso ligero que son relativamente menos porosos; cuando la estructura del poro consta de poros finos uniformemente distribuidos, el agregado es generalmente resistente y capaz de utilizarse en concreto estructural.

El concreto ligero tiene mejor resistencia al fuego y mejores propiedades aislantes acústicas y térmicas que el concreto normal, proporciona economía en los elementos estructurales para cimentación, por la disminución de cargas muertas. El concreto estructural con agregados ligeros cuesta de treinta a cincuenta por ciento más que el preparado con agregados normales, presenta mayor porosidad y mayor contracción por secado. La resistencia a la intemperie es, más o menos, la misma para ambos tipos de concreto. El concreto ligero también puede hacerse con agentes espumantes, como polvo de aluminio, los cuales generan un gas mientras el concreto está plástico todavía y puede dilatarse.

Los agregados de peso ligero tienen especificaciones por separado para su uso en concreto estructural bajo la norma ASTM C-330. Asimismo para concreto aislante norma ASTM C-332 y concreto para la producción de unidades de mampostería norma ASTM 331. Estas especificaciones contienen los requisitos para el graduado, el tipo de sustancias indeseables y los pesos unitarios de los agregados, así como para el peso unitario, resistencia y retracción por secado del concreto que contiene el agregado.

Existe toda una distribución de agregados de peso ligero que pesan de 80 a 900 kg/m^3 , los cuales se encuentran representados en la siguiente gráfica (figura 1).

Figura 1. Distribución de los agregados de peso ligero.



Fuente: Kumar Mehta y Paulo Monteiro. Concreto: estructura, propiedades y materiales. Pág. 170.

1.5 Agregados de peso pesado

En comparación con el concreto de agregado de peso normal, que en general tiene un peso volumétrico de 2,400 kg/m³, los concretos de peso pesado pesan de 2,890 a 6,100 kg/m³, cuando se utilizan municiones de acero como agregado fino y partículas de acero como agregado grueso. Encuentran aplicación en blindajes de protección contra la radiación nuclear. Los agregados gruesos se utilizan en los concretos para blindaje, porque la absorción de rayos gamma es proporcional a la densidad. La norma ASTM C-632 y ASTM C-637, cubren las Especificaciones Estándar y la Nomenclatura Descriptiva, respectivamente, de los agregados para concreto de escudos contra radiación.

Los agregados de peso pesado (es decir, aquéllos que tienen una densidad más alta que los agregados de peso normal), se utilizan para la producción de concreto de peso pesado. Las rocas naturales adecuadas para la producción de agregados de peso pesado contienen predominantemente dos minerales de bario, varios minerales de hierro y un mineral de titanio. Un producto sintético llamado ferrofósforo también puede ser utilizado como agregado de peso pesado.

Tabla III. Composición y densidad de agregados de peso pesado.

Tipo de Agregado	Composición química del mineral principal	Densidad relativa del mineral puro	Peso volumétrico kg/m ³
Witerita	Ba C O ₃	4,29	2,320
Barita	Ba C O ₄	4,50	2,560
Magnetita	Fe ₃ O ₄	5,17	2,720
Lepidocrocita	Fe ₂ O ₃	4,9 - 5,3	3,040
Geotita Limonita Ilmenita	Minerales de hierro hidratado contenido 8 - 12 % de agua	3,4 - 4,0	2,240
Ferrofósforo	Fe ₂ Ti O ₃	4,72	2,560
Agregado de acero	Fe ₃ P, Fe ₂ P, Fe P Fe	5,7 - 6,5 7,80	3,680 4,480

Los minerales de hierro hidratado y los minerales de boro y las fritas se incluyen a veces en los agregados para hacer concretos de peso pesado, ya que el boro y el hidrógeno son muy efectivos en la atenuación (captura) de neutrones. Los productos del punzonado del acero, los cortes de varilla de hierro y la granalla de hierro, también han sido investigados para utilizarse como agregados de peso pesado, pero en general la tendencia del agregado a segregarse en el concreto, se incrementa con la densidad del agregado.

1.6 Agregado de escoria de alto horno

El enfriado lento de la escoria de alto horno en ollas, en fosas o en moldes de hierro, produce un material que puede ser triturado o graduado para obtener partículas densas y fuertes, adecuadas para usarse como agregados. Las propiedades del agregado pueden variar con la composición y la velocidad del enfriado de la escoria; las escorias ácidas generalmente producen un agregado más denso y las escorias básicas tienden a producir estructuras vesiculares o en forma de panal con una densidad relativa aparente más baja (2 a 2.8).

En general, el peso volumétrico de las escorias enfriadas lentamente, que va de 1,120 a 1,360 kg/m³, se halla más o menos entre el agregado de peso natural y el agregado estructural de peso ligero. Los agregados son ampliamente utilizados para elaborar productos de concreto precolado, tales como bloques para mampostería, canales y postes de bardas.

La presencia excesiva de sulfuro de hierro en la escoria, puede causar problemas de color y durabilidad en los productos de concreto. En ciertas condiciones el sulfuro puede convertirse en sulfato, lo que no es conveniente desde el punto de vista del ataque del sulfato al concreto.

Hay que hacer notar que las escorias de alto horno también han sido utilizadas para la producción de agregados de peso ligero, cumpliendo con los requisitos de la norma ASTM C-330 o C-331. Para este objeto, la escoria fundida es tratada con cantidades limitadas de agua o de vapor y el producto es llamado escoria expandida o escoria espumada.

1.7 Agregado de ceniza volante

La ceniza volante consiste esencialmente en pequeñas partículas esféricas de vidrio de aluminosilicato, que se produce por la combustión de carbón pulverizado en plantas de energía térmica y constituyen en si las partículas no combustibles removidas de las chimeneas de gases. Puesto que grandes cantidades de la ceniza quedan inutilizadas en muchas partes industrializadas del mundo, se ha intentado utilizar la ceniza para producir agregados de peso ligero. Las variaciones en fineza y en contenido de carbono de la ceniza volante son un gran problema para controlar la calidad del agregado de ceniza volante.

Las cenizas volantes utilizadas en el concreto deben tener conformidad con la norma ASTM C-618. La cantidad de ceniza volante en el concreto puede variar entre el 5 y el 65 por ciento en peso de los materiales cementantes, según la fuente y la composición de la ceniza volante y del desempeño requerido al concreto. Las características de la ceniza volante pueden variar significativamente según la fuente del carbón mineral que se quema. Las cenizas de Clase F son normalmente producida de la quema de la antracita o de carbones bituminosos y generalmente poseen un contenido bajo de calcio. Las cenizas de Clase C son producidas cuando se queman carbones sub-bituminosos y poseen típicamente propiedades puzolánicas.

La presencia de cementantes en el concreto, como la ceniza volante, puede modificar el tamaño de los poros y minimizar significativamente el efecto adverso que

se produce en la zona de la transición, es decir, se optimiza el empaquetamiento de partículas de la matriz cementante, mejorando como consecuencia el enlace con el agregado y las propiedades mecánicas del concreto.

Se producen concretos de alta resistencia mecánica a la compresión con concretos fluidos con alto contenido de ceniza volante y con contenidos bajos de Cemento Pórtland de 100 y 150 kg/m³ de concreto, siendo imprescindible el uso de aditivo superfluidificante para la dosificación.

Las bajas relaciones agua/cementante, que se obtiene como consecuencia de la adición de ceniza volante, permiten reducir la retracción por secado y la resistencia a la abrasión en concretos fluidos con alto contenido de ceniza volante.

Existe otro tipo de agregado, el humo de sílice que es un material puzolánico de alta reactividad y es un subproducto de la producción de metal silíceo o ferrosilíceo, y se recolecta de la chimenea de gases de los hornos de arco eléctrico. El humo de sílice es un polvo extremadamente fino, con partículas alrededor de 100 veces más pequeñas que un grano promedio de cemento. El humo de sílice está disponible como un polvo densificado o en forma de material acuoso. Generalmente se utiliza entre el 5 y el 12 por ciento en peso de los materiales cementantes para las estructuras de concreto que necesitan alta resistencia o una permeabilidad significativamente reducida al agua. Debido a su extrema finura, deberán garantizarse procedimientos especiales para la manipulación, el vaciado y el curado del concreto con este material, cumpliendo con la norma ASTM C-1240 para tal efecto.

1.8 Agregados de concreto reciclado y desperdicios municipales

El cascajo de edificios demolidos de concreto produce fragmentos en los que el agregado es contaminado con pasta de cemento hidratado, yeso y cantidades

menores de otras sustancias. Las partículas que corresponden al agregado fino contienen en su mayoría pasta de cemento hidratada y yeso, y son inadecuadas para producir nuevas mezclas de concreto. Sin embargo, las partículas que corresponden al agregado grueso, aunque estén cubiertas con pasta de cemento, han sido utilizadas con éxito. En comparación con el concreto que contiene un agregado natural, el concreto de agregado reciclado tendría al menos dos tercios de la resistencia a la compresión y del módulo de elasticidad del primero, y una trabajabilidad y durabilidad satisfactorias.

Un obstáculo mayor en el caso de utilizar cascajo como agregado para concreto es el costo de triturar, graduar, controlar el polvo y separar los componentes indeseables. El concreto reciclado o concreto de desperdicio que se ha triturado puede ser una fuente económicamente factible de agregado, allí donde los buenos agregados sean escasos y cuando el costo de la disposición de desperdicios se incluye en el análisis económico.

En lo referente a los desperdicios municipales de residuos de incineradores como fuentes posibles de agregados para concreto. El vidrio, el papel, los metales y los materiales orgánicos son importantes componentes de los desperdicios municipales. La presencia de vidrio triturado en el agregado tiende a producir mezclas de concreto no trabajables y, debido a su alto contenido de álcalis, afecta la durabilidad a largo plazo y la resistencia. Los metales tales como el aluminio reaccionan con las soluciones alcalinas y causan una expansión excesiva. El papel y los desperdicios orgánicos, con o sin incineración, causan problemas de fraguado y de endurecimiento en el concreto de Cemento Pórtland. Por lo tanto, los desperdicios municipales no se consideran adecuados para producir agregados que se utilicen en el concreto estructural.

1.9 Producción de agregados

Los depósitos de agregados del suelo son una buena fuente de arena natural y grava, pero debe tomarse en cuenta que los depósitos del suelo usualmente contienen diversas cantidades de limo y arcilla, que afectan adversamente las propiedades tanto del concreto fresco como del concreto endurecido, estos materiales deben separarse por medio de lavado o por tamizado en seco.

La selección del procedimiento de lavado o de tamizado en el caso del limo y de la arcilla, influirá notablemente en la cantidad de sustancias nocivas del agregado; por ejemplo, los recubrimientos de arcilla no pueden ser removidos tan adecuadamente por medio del tamizado en seco como lo son por medio de lavado.

Generalmente para la producción de agregados es necesario equipo de triturado, debido a que puede extraerse grava de gran tamaño, que luego puede ser triturada y mezclada adecuadamente con material no triturado de igual tamaño. Por lo cual la selección del equipo puede determinar la forma de las partículas. Por ejemplo los trituradores de mandíbula y los trituradores de impacto, logran producir partículas planas a partir de rocas sedimentarias laminadas.

Las plantas modernas de agregados, que producen arena y grava o roca triturada, tienen el equipo necesario para realizar las operaciones que comprenden el triturado, limpiado, separación de tamaños y combinación de dos o más fracciones para cumplir con las especificaciones del cliente, el cual relaciona directamente el graduado adecuado de los agregados con el costo del concreto.

Por aparte, los agregados sintéticos de peso ligero tales como las arcillas expandidas, las lutitas y la pizarra, se producen por tratamiento caliente de los materiales adecuados. Trituradas y dimensionadas o molidas y granuladas, las materias

primas se exponen a temperaturas generalmente del orden de 1000 a 1100 °C, en tal forma que una parte del material se funde produciendo un fundido viscoso. Los gases desarrollados como resultado de la descomposición química de algunos de los elementos constituyentes de las materias primas, son atrapados por la sustancia viscosa, expandiendo así la masa sinterizada. En general, las materias carbonáceas o los minerales de carbono son las fuentes de estos gases; los álcalis y otras impurezas en la arcilla o en la pizarra, son los responsables de la fusión a baja temperatura.

El tratamiento por calor generalmente se lleva a cabo en un horno rotatorio de gas o de petróleo, similar a aquéllos utilizados para elaborar el Cemento Pórtland. Muchas plantas saturan al vacío el producto con humedad, antes de entregarlo al cliente, para facilitar un mejor control en la consistencia del concreto fresco.

Los agregados de peso ligero, deben de triturarse, molerse y mezclarse en las plantas de producción, con el fin de obtener una distribución uniforme de los poros finos, lo cual es necesario para producir materiales con alta resistencia a la trituración.

1.10 Características del agregado

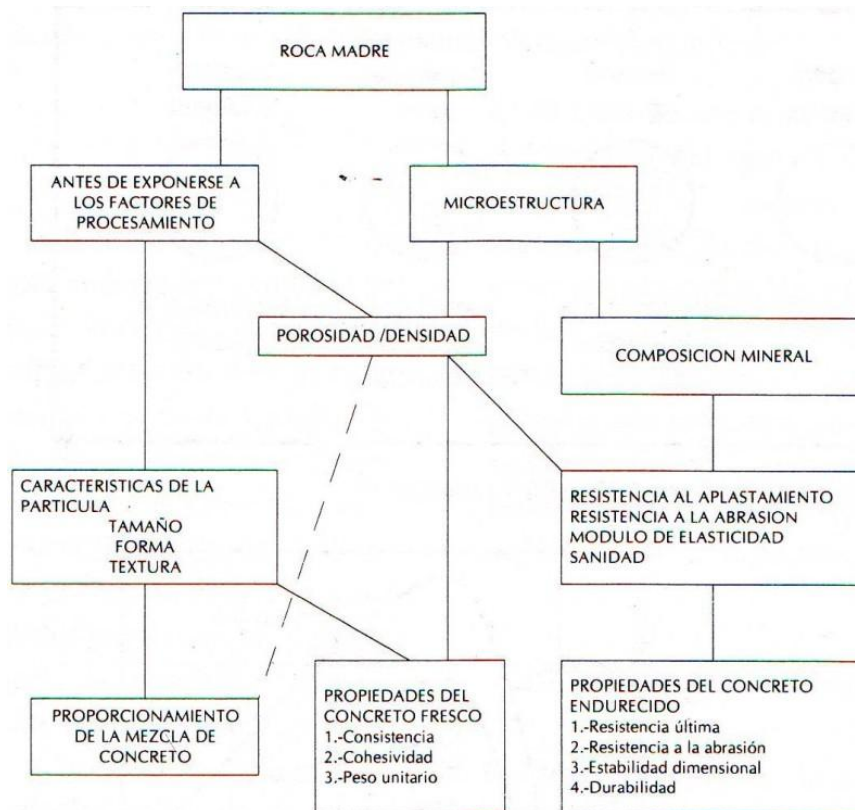
Existe una gran variabilidad en las características de los agregados pétreos que componen el concreto. Siendo éstas de carácter físico y químico que producen diferentes efectos, tanto en la trabajabilidad del concreto como en su comportamiento en estado endurecido, el cual regirá su vida de servicio.

Por lo tanto se requiere conocer características del agregado, tal como la densidad, granulometría y estado de humedad que son requeridas para la proporción de las mezclas de concreto, al igual que la porosidad, densidad, granulometría, forma y textura de la superficie para determinar propiedades de mezclas de concreto fresco. La composición

mineral del agregado, al igual que la porosidad afecta la resistencia a la trituración, su dureza, su módulo de elasticidad y su sanidad, que influyen a su vez en propiedades del concreto endurecido que contenga dicho agregado.

Las características del agregado se derivan de la microestructura del material, originada por las condiciones previas de exposición y de los factores del procesado, por lo que las propiedades del agregado se analizan en dos partes basándose en los aspectos que afectan: la proporción de la mezcla y el comportamiento del concreto fresco y endurecido, tal como lo muestra el diagrama de la figura 2.

Figura 2. Características del agregado determinadas por su microestructura.



Fuente: Kumar Mehta y Paulo Monteiro. Concreto: estructura, propiedades y materiales. Pág. 175.

Aunque es más apropiado dividir las propiedades en los siguientes grupos que se basan en factores de microestructura y de procesamiento.

- Características que dependen de la porosidad: densidad, absorción de humedad, resistencia, dureza, módulo de elasticidad y sanidad.
- Características que dependen de la previa exposición de los factores de procesamiento: dimensión de partículas, forma y textura.
- Características que dependen de la composición química y mineralógica: resistencia, dureza, módulo de elasticidad y sustancias nocivas presentes.

1.10.1. Densidad y densidad aparente

La densidad o bien peso específico relativo es la relación entre el peso de un volumen dado de un material y el peso de un volumen igual de agua destilada a una temperatura determinada (tomando 20°C como temperatura normal). En los agregados se toma el peso específico de partículas saturadas de superficie seca.

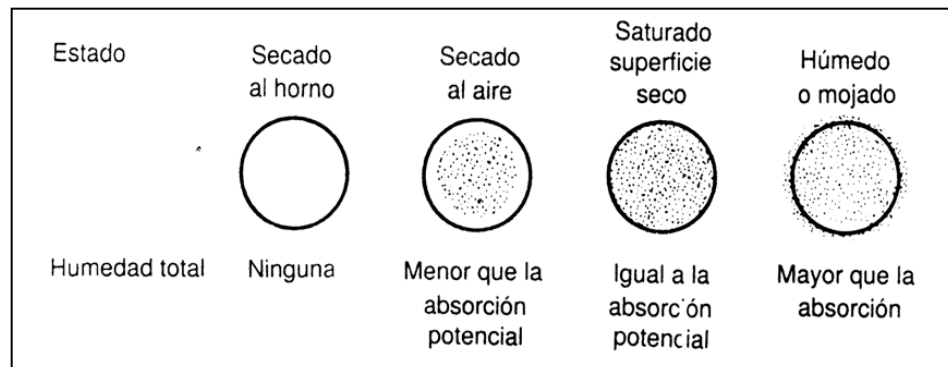
Los agregados naturales son porosos y sus valores de porosidad de hasta 2 por ciento son comunes para las rocas ígneas intrusivas; hasta 5 por ciento para rocas sedimentarias densas y de 10 a 40 por ciento para piedras areniscas y piedras calizas muy porosas. Para el diseño mezcla, es necesario conocer el espacio ocupado por las partículas del agregado, inclusive de los poros existentes dentro de las partículas, y no es necesario determinar la verdadera densidad de un agregado. Por lo tanto, la determinación de la densidad aparente relativa, que se define como la densidad del material, incluyendo los poros impermeables, es suficiente. La densidad aparente relativa para las rocas utilizadas más comúnmente, está entre 2.6 y 2.7; siendo los valores comunes para granito, roca arenisca y roca caliza densa, son 2.69, 2.65 y 2.60 respectivamente.

Para la proporción de una mezcla, además de la densidad aparente relativa o peso específico relativo, se necesitan generalmente los datos del peso unitario o también llamado peso volumétrico, que se define como el peso de los fragmentos del agregado que llenarían una unidad de volumen. El fenómeno del peso unitario aparece debido a que no es posible empaquetar fragmentos juntos de agregado de manera que no queden espacios vacíos. El término volumétrico se utiliza puesto que el volumen es ocupado tanto por los agregados como por los huecos. El peso volumétrico o peso unitario aproximado de los agregados comúnmente utilizados en concretos de peso normal, va de 1300 a 1750 kg/m³.

1.10.2. Absorción y humedad superficial

La capacidad de absorción se define como la cantidad total de humedad requerida para llevar a un agregado de la condición de secado al horno a la condición de saturada superficialmente seca, que es cuando todos los poros permeables del agregado están llenos y no hay partícula de agua en la superficie; cuando el agregado está saturado y hay también una humedad libre en la superficie, el agregado está en una condición mojada o húmeda. En el caso de agregado secado al horno, toda el agua evaporable ha sido extraída calentando a 100° C.

Figura 3. Agregado en varios estados de humedad. La gráfica ilustra cómo el concepto de condición saturada superficialmente seca (SSS), es útil para determinar la absorción potencial de la humedad libre en el agregado.



Fuente: **Kumar Mehta y Paulo Monteiro. Concreto: estructura, propiedades y materiales. Pág. 176.**

La absorción efectiva es definida como la cantidad de humedad requerida para llevar a un agregado de la condición de secado al aire a la condición saturada superficialmente seca.

La cantidad de agua que excede del agua requerida para la condición saturada superficialmente seca, es llamada la humedad superficial. Los datos de la capacidad de absorción, de la absorción efectiva y de la humedad superficial son necesarios invariablemente para corregir la cantidad de agua y las proporciones del agregado en mezclas de concreto hechas con los materiales almacenados.

La capacidad de absorción de un agregado, que es fácilmente determinada, puede utilizarse como una medida de la porosidad y de la resistencia. Normalmente, los valores de la corrección de la humedad para rocas ígneas intrusivas y rocas densas sedimentarias son muy bajos, pero pueden ser realmente altos en el caso de rocas porosas sedimentarias, agregados de peso ligero y arenas húmedas.

Las arenas húmedas pueden sufrir de un fenómeno conocido como abundamiento. Dependiendo de la cantidad de humedad y la graduación del agregado, puede ocurrir un considerable incremento en el volumen de la masa de la arena debido a que la tensión superficial en la humedad mantiene apartadas a las partículas. Puesto que la mayoría de las arenas se entregan en la obra en condición húmeda, pueden ocurrir amplias variaciones en las cantidades de las cargas si la proporción se hace por volumen. Por esta razón se ha vuelto una práctica normal el proporcionar la mezcla de concreto por peso en la mayoría de países.

1.10.3. Resistencia a la trituración, resistencia a la abrasión y módulo de elasticidad

La resistencia a la trituración, la resistencia a la abrasión y el módulo de elasticidad del agregado son propiedades interrelacionadas, en las que influye grandemente la porosidad. Los agregados de fuentes naturales que se utilizan comúnmente para elaborar concretos de peso normal, son generalmente densos y resistentes, por lo tanto raramente son un factor limitante a la resistencia y a las propiedades elásticas del concreto endurecido.

Los valores típicos de resistencia a la trituración y módulo dinámico de elasticidad para la mayoría de los granitos, basaltos, rocas parduscas, pedernales, cuarcita, roca arenisca y rocas calizas densas, están en el rango de 210 a 310 MPa y 70 a 90 GPa, respectivamente. Con respecto a las rocas sedimentarias, la porosidad varía en un amplio rango y lo mismo sucede con la resistencia a la trituración y características afines.

1.10.4. Sanidad

El agregado es considerado in sano cuando los cambios de su volumen causados por el clima, como los ciclos alternados de mojado y secado, o de congelamiento y

descongelamiento, resultan en el deterioro del concreto. La falta de sanidad se muestra generalmente en las rocas que tienen una estructura característica de poros. Los concretos que contienen algunos horstenos, pizarras, rocas calizas y rocas areniscas, han sido hallados susceptibles de daño por congelación y por cristalización de sales dentro de los agregados. Aunque se utiliza a menudo la alta absorción de humedad como un índice de falta de sanidad, muchos agregados como la roca pómez y las arcillas expandidas, pueden absorber grandes cantidades de agua y permanecer sanas.

La falta de sanidad está relacionada por lo tanto con la distribución del tamaño de los poros, más que con la porosidad total del agregado. La distribución del tamaño de poros, que permite a las partículas del agregado saturarse al mojarse (o descongelarse en el caso de congelación), pero evita el fácil drenado al secarse (o congelarse), es capaz de causar altas presiones hidráulicas dentro del agregado. La sanidad del agregado al desgaste por la acción ambiental es determinada por el Método C88 de la norma ASTM, que describe un procedimiento estándar para determinar directamente la resistencia del agregado a la desintegración al exponerlo a cinco ciclos de humedecimiento y secado; se utiliza solución saturada de sodio o de sulfato de magnesio para el ciclo de humedecimiento.

En el caso de un congelamiento, además de la distribución del tamaño del poro y del grado de saturación, existe un tamaño crítico del agregado debajo del cual no ocurrirán los altos esfuerzos internos capaces de agrietar la partícula. Para la mayor parte de los agregados, este tamaño crítico es mayor que el tamaño normal de los agregados gruesos utilizados en la práctica; sin embargo, para algunas rocas pobremente consolidadas (como la roca arenisca, la roca caliza, los horstenos y las pizarras), se considera que este tamaño está dentro del rango de 12 a 25 mm.

1.10.5. Tamaño y granulometría

La granulometría es la distribución de las partículas de materiales granulares de varios tamaños, que generalmente se expresa en términos de porcentajes acumulados mayores o menores que cada una de las series de tamaños o de aberturas de mallas, o los porcentajes entre ciertos rangos de aberturas de mallas.

La influencia en la trabajabilidad y en el costo son algunas razones importantes para especificar los límites de granulometría y el tamaño máximo del agregado. Por ejemplo, las arenas muy gruesas producen mezclas de concreto ásperas y difícilmente trabajables, y las arenas muy finas incrementan los requisitos de agua (por lo tanto, incrementan también el requerimiento del cemento para una relación dada de agua/cemento) y resultan antieconómicas; los agregados que no tienen una gran deficiencia o exceso de cualquier tamaño en particular, producen las mezclas para concreto más trabajables y económicas.

El tamaño máximo del agregado es diseñado convencionalmente por el tamaño del tamiz en la que queda retenido el 15 por ciento o más de las partículas. En general, cuanto más grande es el tamaño máximo del agregado, más pequeña será el área de la superficie por unidad de volumen que ha de ser cubierta por la pasta de cemento de una relación dada de agua/cemento.

Puesto que el precio del cemento es aproximadamente 10 veces (o aún más) mayor que el precio del agregado, cualquier maniobra que ahorre cemento sin reducir la resistencia y la trabajabilidad del concreto puede resultar en un significativo beneficio económico. Además del costo económico, hay otros factores que rigen la selección del tamaño máximo del agregado para una mezcla de concreto, tal como lo estipula el código del ACI, el cual dicta ciertas especificaciones para tales fines.

En la práctica, un factor empírico llamado módulo de finura se utiliza a menudo como un índice de la fineza de un agregado, un indicador del grosor o la finura globales del agregado. El módulo de finura es calculado por medio de datos de un análisis de tamizado, sumando los porcentajes acumulados del agregado retenido en cada una de los tamices de la serie especificada y dividiendo la suma entre 100. Los tamices utilizados para determinar el módulo de finura son: No. 100 (150 μm), No. 50 (300 μm), No. 30 (600 μm), No. 16 (1.18 mm), No. 8 (2.36 mm), No. 4 (4.75 mm). Cuanto más alto es el módulo de finura, más grueso será el agregado.

1.10.6. Forma y textura de la superficie

La forma y la textura de la superficie de las partículas del agregado, influyen en las propiedades de las mezclas de concreto fresco más que en el concreto endurecido; comparadas con las partículas tersas y redondeadas, las de textura áspera, angulares y alargadas requieren más pasta de cemento para producir mezclas de concreto trabajables, incrementando así los costos.

La forma se refiere a características geométricas tales como redonda, angular, alargada o en hojuelas. Las partículas formadas por abrasión tienden a redondearse perdiendo sus bordes y esquinas. Las arenas desgastadas por el viento, así como la, arena y la grava de la orilla del mar o de los ríos, tiene una forma generalmente bien redondeada. Las rocas intrusivas trituradas poseen bordes y esquinas bien definidos, son llamadas angulares y generalmente producen partículas equidimensionales.

Las rocas calizas laminadas, las piedras areniscas y la pizarra tienden a producir fragmentos alargados y en forma de hojuelas, especialmente cuando se utilizan trituradoras de quijadas para el procesamiento. Aquellas partículas en las que el espesor es pequeño en relación con sus otras dos dimensiones son llamadas planas o de hojuelas, mientras que las que tienen una longitud considerablemente mayor que las otras dos

dimensiones son llamadas alargadas.

Los agregados deberán estar relativamente libres de partículas planas y alargadas. Las partículas alargadas y en forma de navaja deberán evitarse o limitarse a un máximo de 15 por ciento por peso del agregado total. Este requisito es importante no sólo para el agregado grueso sino también para las arenas manufacturadas (hechas con piedra triturada) que contengan granos alargados y producen un concreto muy áspero.

La clasificación de textura de la superficie que se define como el grado en que la superficie del agregado es tersa o áspera, se basa en un juicio visual. La textura de la superficie del agregado depende de la dureza, tamaño del grano y de la porosidad de la roca madre, y de su subsecuente exposición a las fuerzas abrasivas.

La obsidiana, el pedernal y las escorias densas muestran una textura tersa, vidriosa. La arena, las gravas y el horsteno son tersas en su estado natural. Las rocas trituradas tales como el granito, el basalto y la roca caliza muestran una textura rugosa. La roca pómez, la escoria expandida y la ceniza volante sinterizada, muestran una textura de panal con poros visibles.

Al menos durante sus edades tempranas, la resistencia de concreto, particularmente la resistencia a la flexión, puede ser afectada por la textura del agregado; una textura más áspera parece ayudar a la formación de una adherencia física más fuerte entre la pasta de cemento y el agregado. A edades posteriores, en que hay una adherencia química más fuerte entre la pasta y el agregado, este efecto puede no ser tan importante.

1.10.7. Sustancias nocivas

Las sustancias nocivas son aquellas que están presentes como constituyentes menores, ya sea del agregado fino o del agregado grueso, pero que son capaces de afectar adversamente la trabajabilidad, el fraguado, endurecimiento y características de durabilidad del concreto. En la siguiente tabla se detalla un listado de sustancias nocivas, una descripción de sus efectos en el concreto y límites de la especificación ASTM C-33 de las cantidades máximas permisibles de dichas sustancias en el agregado.

Tabla IV. Límites para las sustancias nocivas en los agregados para concreto.

Substancia	Efectos dañinos posibles en el concreto	Máximo permitido (% en peso)	
		Agregado fino	Agregado grueso ^a
Material más fino que el tamiz 75 µm (No. 200) Concreto sujeto a la abrasión Todos los otros concretos	Afecta la trabajabilidad: aumenta el requerimiento de agua	3 ^b 5 ^b	1
Grumos de arcilla y partículas desmenuzables	Afecta la trabajabilidad y la resistencia a la abrasión	3	5
Carbón y lignito Donde la apariencia de la superficie del concreto es importante Todos los otros concretos	Afecta la trabajabilidad; cusa manchas	0,5 1	0,5
Horsteno (menos de 2,4 de densidad relativa)	Afecta la durabilidad		5

^a Los límites de la norma ASTM C-33 para sustancias nocivas en agregado grueso varían con las condiciones de exposición y el tipo de la estructura de concreto. Los valores mostrados en esta tabla son para estructuras exteriores expuestas en condiciones climáticas moderadas.

^b En el caso de arena fabricada, si el material más fino que el tamiz de 75 μm consiste en polvo de la fractura, libre esencialmente de arcilla o pizarra, estos límites pueden aumentarse a 5 y 7 % respectivamente.

Además de los materiales que afectan al concreto, existen otras sustancias que pueden ser de efectos nocivos, produciendo reacciones químicas en el concreto. Para ello en ambos agregados fino y grueso, la norma ASTM C-33-08 requiere que el agregado para uso en el concreto que va a estar sujeto a la humedad, amplia exposición a una atmósfera húmeda o en contacto con la humedad del suelo, no deberá contener ningún material que sea nocivamente reactivo con los álcalis del cemento, en una cantidad suficiente para causar una expansión excesiva, y si tales materiales están presentes en cantidades perjudiciales, el agregado podrá ser usado con un cemento que contenga menos de 0.6 por ciento de álcalis o agregándole un material que se haya probado que evita la expansión dañina debida a la reacción álcali-agregado.

Los sulfuros de hierro, especialmente la marcasita, presentes en ciertos agregados, han sido hallados como los causantes de reacciones expansivas. En el ambiente saturado de cal del concreto de Cemento Pórtland, los sulfuros reactivos de hierro pueden oxidarse y formar sulfato ferroso, que causa ataque de los sulfatos al concreto y corrosión del acero embebido. Los agregados contaminados con yeso o con otros sulfatos solubles tales como el sulfato de magnesio, el sulfato de sodio o el sulfato de potasio, también originan ataque por sulfatos.

Se debe agregar que los problemas en el fraguado y en el endurecimiento del concreto también pueden ser causados por impurezas orgánicas en el agregado, tales como material de vegetales descompuestos que puedan estar presentes en la forma de limo orgánico o humus.

1.11 Petrografía del concreto y sus materias primas

La petrografía tiene por objeto el estudio de la composición, estructura, situación, relaciones mutuas, formación y alteración de las rocas. Mientras se trata únicamente de fijar la posición geológica de las rocas, la Petrografía no presenta ninguna particularidad, pero, en cambio, la ofrece, si se trata de determinar la composición mineralógica.

Son pocas las rocas en que los minerales se presentan de tamaño suficientemente grande para poder ser determinados por los métodos ordinarios mineralógicos; en la mayor parte de los casos, son tan pequeños, que a simple vista apenas si pueden reconocerse o no se distinguen, hasta el extremo de que no hay modo de conocer su forma cristalina (que, por otra parte, rara vez se presenta en los principales minerales petrográficos). Además, los componentes de las rocas ordinariamente están tan firmemente e íntimamente unidos, que no pueden ser aislados de ellas si no es valiéndose de medios auxiliares; debido a esto ha sido necesario crear métodos apropiados para identificar fácilmente los minerales en esta forma de asociación petrográfica.

El microscopio petrográfico ha sido utilizado desde mediados del siglo XIX por los geólogos para entender e interpretar la génesis y mineralogía de las rocas. En épocas más recientes, la aplicación de técnicas de microscopía en el estudio de la apariencia y propiedades del concreto, que desde el punto de vista petrográfico no es más que una roca artificial hecha por el hombre, ha permitido desarrollar una nueva disciplina que hoy en día se conoce como petrografía del concreto.

Dentro de los objetivos fundamentales de un estudio petrográfico se puede mencionar:

- Determinar la naturaleza de los materiales constitutivos del concreto y la manera en que cada componente aporta a las propiedades físicas del mismo.

- Conocer el efecto de la mineralogía y estructura cristalina de los agregados en la resistencia del concreto. De la naturaleza del contacto entre los agregados y la pasta de cemento depende en gran medida el comportamiento y desempeño del concreto en una estructura.

Los agregados comprenden cerca de tres cuartas partes del volumen de una mezcla de concreto, de manera que su mineralogía, tamaño máximo, gradación, forma y textura superficial tienen influencia sobre las propiedades del concreto. Por lo que, se debe concentrar la atención durante la descripción de los agregados, en aquellos que tienen un efecto potencial en las propiedades del concreto. Se debe identificar los constituyentes indeseables o potencialmente nocivos, incluyendo intraclastos de arcilla, mica libre, yeso, pirita y materiales reactivos a los álcalis.

2. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS BANCOS DE MATERIALES

2.1. Localización

Los bancos de materiales bajo estudio, se encuentran ubicados en el departamento de Chiquimula, en el oriente de la República de Guatemala. Dichos bancos de materiales se encuentran específicamente en el municipio de Chiquimula, no muy distante de la cabecera departamental.

El departamento de Chiquimula colinda al norte con el departamento de Zacapa; al este con la República de Honduras; al sur con la República de El Salvador y el departamento de Jutiapa; al oeste con los departamentos de Jalapa y Zacapa. Su extensión territorial es de 2,376 kilómetros cuadrados, contando con once municipios. La cabecera departamental se encuentra a una altitud de 424 metros sobre el nivel del mar.

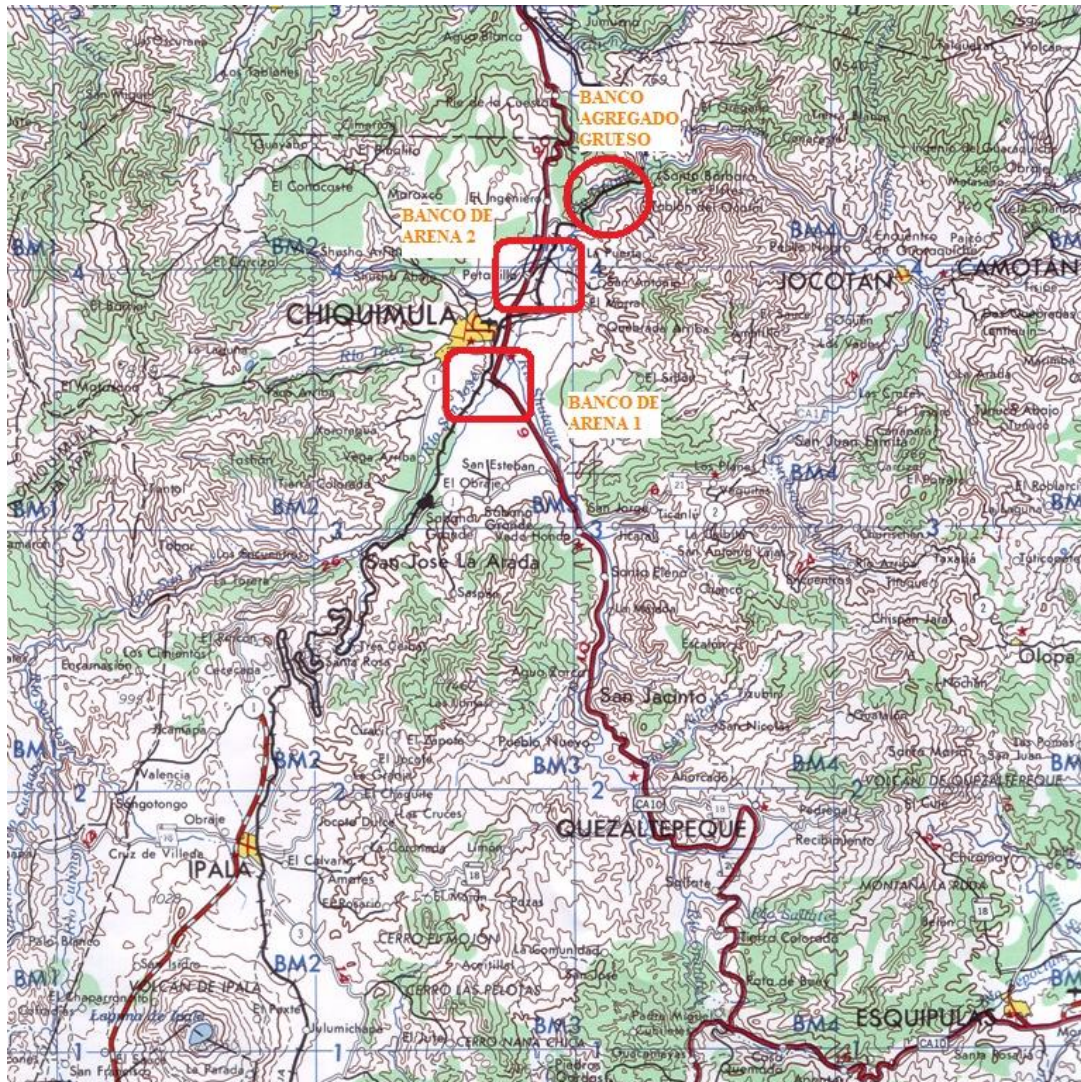
La distancia de la ciudad capital a Chiquimula es de 175 kilómetros. Las principales carreteras que atraviesan el departamento de Chiquimula son, la ruta nacional 18 que procedente de la ciudad capital conduce a Esquipulas; la ruta nacional 21 que pasa por San Juan Ermita, Jocotán, Camotán y conduce a la frontera con Honduras; la ruta nacional 20 que proviene del departamento de Zacapa, pasa por Concepción las Minas y conduce a la frontera con El Salvador y que en parte se conoce como la carretera CA-12; la carretera CA-10 que pasa por Esquipulas y va a la frontera con Honduras; así como otras de importancia relativa menor.

Para el presente estudio se dispuso el análisis de dos bancos de materiales uno de

agregado fino y un segundo banco, con una muestra de agregado fino y una muestra de agregado grueso. La localización de los bancos de materiales, se describen a continuación.

Figura 4. Localización de bancos de materiales del departamento de Chiquimula.

Las áreas rectangulares y circulares delimitadas en el mapa, corresponden a los bancos de agregado fino y agregado grueso, respectivamente.



Fuente: IGN, ampliación de mapa América Central 1:250,000 Chiquimula, Guatemala. Edición 2-IGN-DMA. Referencia ND 16-5.

Para efectos de su análisis, el agregado fino del primer banco de materiales se identifica de aquí en adelante como Banco de arena 1, y las muestras del segundo banco de materiales se identifican como Banco de arena 2, para el agregado fino y simplemente agregado grueso, para dicho material.

El Banco de Arena 1 se ubica en el kilómetro 170, al sur de la cabecera departamental, sobre la carretera CA-10; su acceso se encuentra a un costado del Puente San José, en el río del mismo nombre. Se encuentra a una altitud de 359 metros sobre el nivel del mar, latitud 14°47'00", longitud 89°32'11".

El tipo de extracción es de tipo artesanal, por lo que toda la operación es manual. La explotación de este banco de materiales no ha sido industrializada, sin embargo se observa el ingreso de vehículos de todo tipo, e incluso camiones de volteo al lugar. Los artesanos separan el agregado fino de la grava y de las rocas de mayor tamaño, conformando montículos de arena en diversos puntos de las márgenes del río, para luego ser vendida y cargada a los vehículos y camiones que requieran del material.

Este banco de materiales, a lo largo del río San José, provee de agregado fino, tanto a la cabecera departamental como a otras comunidades de municipios vecinos. Haciendo de este banco de arena uno de los más importantes de la región. Sin embargo, debido a su explotación a menor escala, para obras que requieran cantidades considerables de arena, esta se obtiene de los bancos de materiales ubicados en el departamento de Zacapa, el cual cuenta con una industria a mayor escala que en el departamento de Chiquimula.

Figura 5. Río y puente San José, Chiquimula, Chiquimula.



Fuente: **Google Earth versión 4.3.**

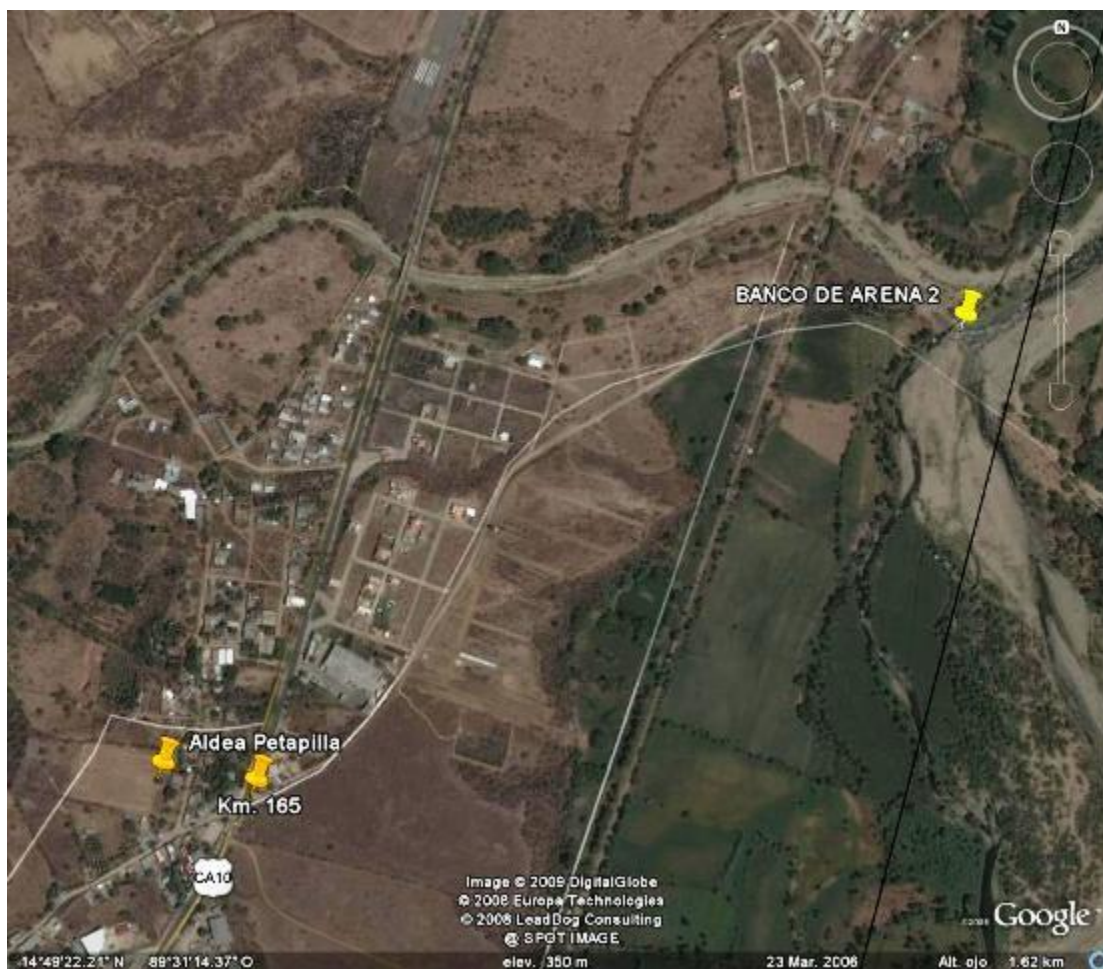
El Banco de Arena 2, pertenece a la aldea Petapilla, municipio de Chiquimula, la cual dista a 2.5 kilómetros al norte de la cabecera departamental por la ruta Nacional 21. La aldea se encuentra a una altitud de 345 metros sobre el nivel del mar, latitud 14°49'10", longitud 89°31'32".

El acceso al banco de arena se encuentra en el kilómetro 165, sobre la carretera CA-10 buscando hacia el Este. El camino es de terracería y se debe recorrer cerca de 1.5 kilómetros para llegar al margen del río Grande, el cual es el lugar de extracción del agregado fino. El Banco de Arena 2 se encuentra a un altitud de 326 metros sobre el nivel del mar, latitud 14°49'29", longitud 89°30'56".

La extracción del material es de tipo artesanal, y su explotación no se realiza a gran escala. Los artesanos del lugar separan las partículas de mayor tamaño del agregado fino conformando montículos de arena donde el río lo permita, para luego ser trasladados con un pequeño cargador frontal hacia un terreno ubicado a unos 300 metros del río, buscando hacia la carretera CA-10. En este lugar se deposita la arena para luego ser comercializada.

En el Banco de Arena 2, se cuida en mayor medida la granulometría del agregado fino comparado con el Banco de Arena 1, no obstante, este último es más explotado y comercializado.

Figura 6. Vista aérea del Banco de arena 2, aldea Petapilla, Chiquimula, Chiquimula.



Fuente: **Google Earth versión 4.3.**

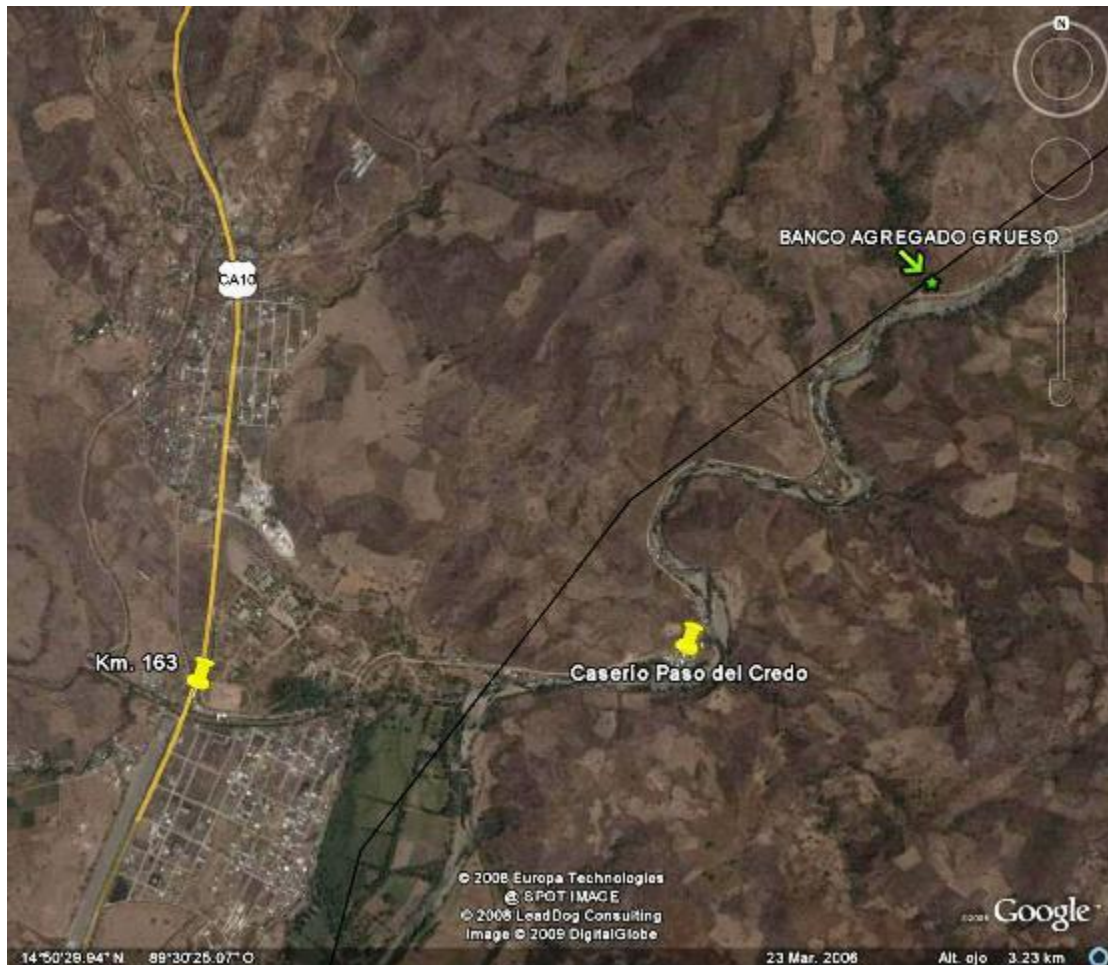
El agregado grueso, pertenece al caserío Paso del Credo, de la aldea Petapilla, municipio de Chiquimula, a un lado de la vía férrea, en la confluencia de la quebrada de Petapilla con el río Grande. Su acceso se encuentra en el kilómetro 163 sobre la carretera CA-10, buscando hacia el Este. El caserío se ubica aproximadamente a 2 kilómetros de la carretera, en un camino de terracería. Se encuentra a una altitud de 327 m sobre el nivel del mar, latitud $14^{\circ}50'10''$, longitud $89^{\circ}30'11''$.

Continuando en el mismo camino de terracería, a 2 kilómetros del caserío Paso del Credo, se encuentra la cantera de donde se extrae de la montaña las rocas en bruto, haciendo uso de maquinaria pesada para dicha operación. El Banco de agregado grueso se encuentra a una altitud de 334 metros sobre el nivel del mar, latitud 14°50'51", longitud 89°29'43".

Luego del proceso de extracción, se procede a trasladar el material a la planta de trituración, para luego obtener en dicho el lugar, el agregado grueso para comercializarlo. La planta de trituración está ubicada en el kilómetro 167.9 hacia el sur, sobre la carretera CA-10, anexo al Centro Universitario de Oriente, Finca Zapotillo, zona 5, Chiquimula.

Este banco de agregado grueso, es el más grande del departamento, su extracción puede considerarse industrializada. La planta trituradora a la fecha tiene un año de haber comenzado sus operaciones, por lo que aún no cuenta con un volumen de explotación anual definido. En la cantera puede observarse la presencia permanente de dos excavadoras, que realizan el proceso de extracción y cargan la flotilla de camiones de volteo, conformada por seis unidades, con capacidad de transportar un volumen de 12 metros cúbicos cada uno.

Figura 7. Vista aérea del Banco de agregado grueso, caserío Paso del Credo, aldea Petapilla, Chiquimula, Chiquimula.



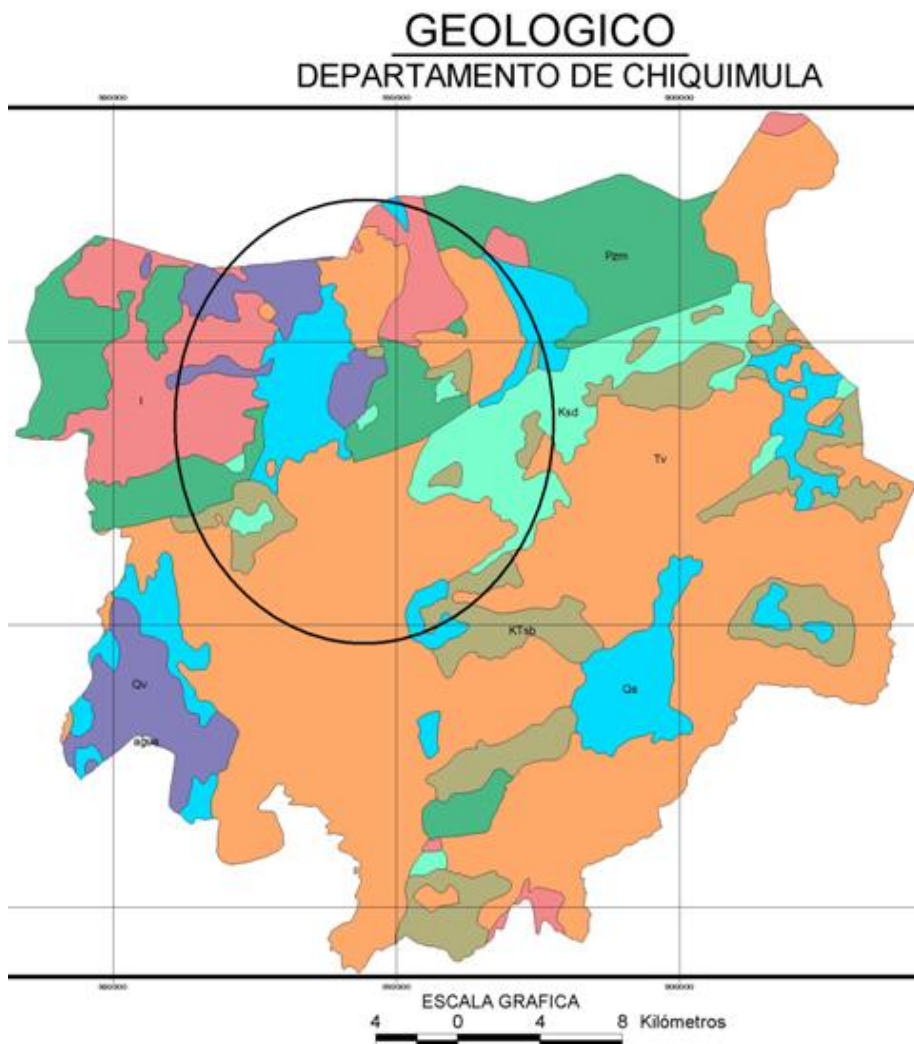
Fuente: **Google Earth versión 4.3.**

2.2. Descripción geológica de los bancos

En términos generales, el departamento de Chiquimula está constituido geológicamente por dos unidades principales, divididas por la falla de Jocotán. Al norte de la misma y al sur del valle de del Motagua afloran principalmente rocas metamórficas

de edad paleozoica, las cuales están cortadas por cuerpos ígneos de considerables dimensiones.

Figura 8. Mapa geológico del departamento de Chiquimula. El área circular delimitada, identifica la ubicación de los bancos de agregados.





Fuente: IGN, primera edición diciembre 2003.

Al sur de la mencionada falla de Jocotán, las principales unidades geológicas son constituidas por rocas volcánicas más jóvenes, o sea de edad terciaria y cuaternaria. Contiguo a esa falla y en su lado sur, aflora una franja de unos treinta kilómetros de largo y unos diez kilómetros de ancho, formada por calizas de edad cretácica y capas rojas del terciario. Mientras que más hacia el sur existen ventanas de estas mismas rocas sedimentarias y de intrusivas, rodeadas por flujos de lava volcánica. Con orientación noreste, la falla de Jocotán constituye una de las estructuras geológicas más antiguas, la cual ha sido rejuvenecida por movimientos posteriores que también han afectado las rocas volcánicas terciarias. En cambio, las fallas norte-sur son estructuras geológicas jóvenes, a lo largo de las cuales se han localizado centros de volcanismo de actividad reciente.

La formación geológica más antigua está constituida por rocas metamórficas de edad paleozoica, que se conocen como de “Santa Rosa”, cuyas rocas principales son filitas y esquistos cliríticos con intercalaciones de cuarcita. Esta formación se encuentra principalmente dentro de una faja montañosa de topografía bastante agreste al este, norte y oeste de la cabecera departamental, Chiquimula. Entre las rocas metamórficas del

paleozoico y las formaciones sedimentarias más jóvenes existe una abertura o grieta conocida también como hiato, en la deposición de sedimentos de varios millones de años, ya que las calizas de la formación atima sobre yacen las rocas metamórficas. Sobre las mismas rocas también se encuentran descansando las capas rojas de la formación conocida con el nombre de Subinal, que corresponde a edad terciaria. Se debe mencionar que varias cuencas restringidas de la anterior formación, se localizan desperdigadas dentro del departamento.

Las rocas volcánicas terciarias ocupan un área mayor que la mitad de la extensión territorial del departamento. En la carretera entre Chiquimula y Esquipulas, se puede observar la formación del terciario que se conoce con el nombre de “Padre miguel”, cuyo grupo comprende basaltos, felsitas (lavas y tobas), arenitas volcánicas y lahar. Hacia el oeste y bordeando los valles de Chiquimula e Ipala se localizan varios conos volcánicos de edad reciente, que han producido tobas y coladas de lava basáltica.

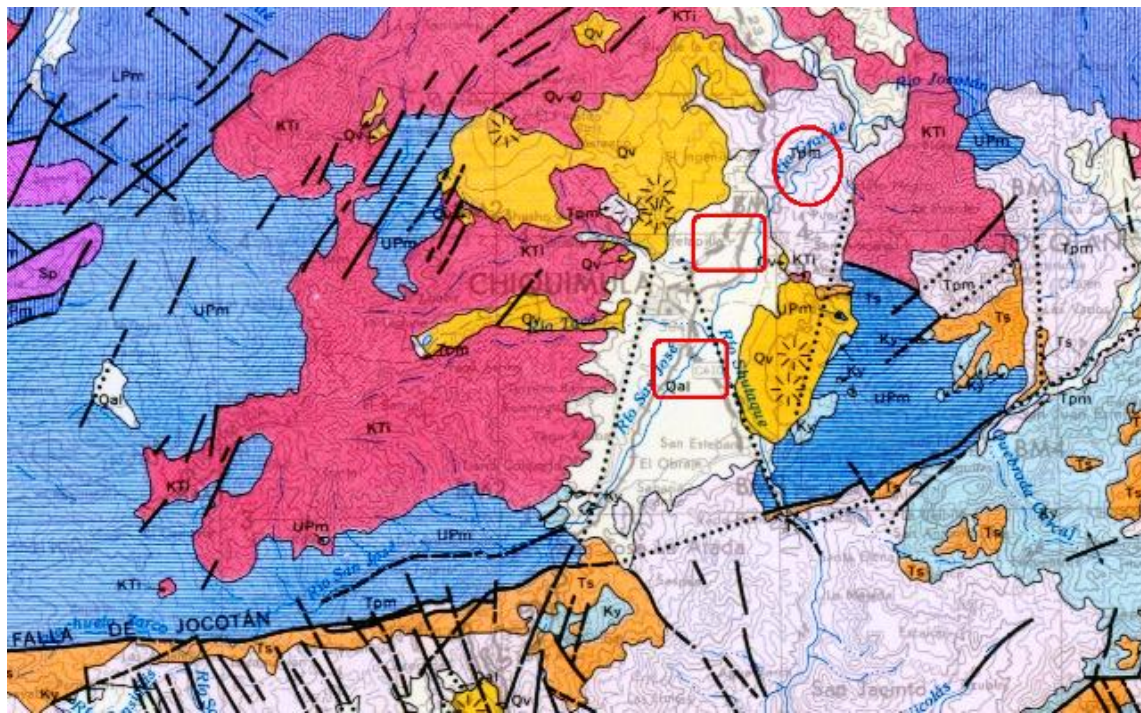
La actividad ígnea del departamento, en términos generales, puede indicarse que está manifestada por varios cuerpos ígneos cuya edad exacta se desconoce. Entre los más importantes se menciona el gran intrusivo o Plutón al oeste del valle de Chiquimula, así como otro relacionado a éste, ubicado al norte de Jocotán y Camotán. Ambos intrusivos cortan principalmente rocas metamórficas de edad paleozoica, aunque también se especula que se consolidaron o formaron durante el terciario. Hacia el sur, en el área de Concepción Las Minas, los cuerpos ígneos son de menor dimensión y cortan rocas volcánicas terciarias.

En lo concerniente a los bancos de materiales de agregado fino, estos se ubican al norte de la falla de Jocotán, en un aluvión (Qal) que se encuentra constituido por gravas, arenas y lechos arcillosos, interstratificados y sus equivalentes líticos; pertenecen al periodo del pleistoceno y reciente, de edad cuaternaria.

El banco de agregado grueso, se encuentra al norte de los bancos de materiales de arena. Este banco pertenece a la formación del grupo Padre Miguel (Tpm), el cual está constituido por coladas felsíticas y diques; corresponde al periodo del mioceno-plioceno, de edad terciaria.

Las descripciones y ubicaciones anteriores, pueden corroborarse en la siguiente figura, en la cual se enmarcan y localizan los bancos de materiales dentro de las formaciones geológicas al cual pertenecen. Los bancos de agregado fino se delimitan en áreas rectangulares, y el banco de agregado grueso en un área circular.

Figura 9. Ampliación del mapa geológico del departamento de Chiquimula. Las áreas rectangulares y circulares delimitadas en el mapa, corresponden a los bancos de agregado fino y grueso, respectivamente.



Fuente: mapa América Central 1:250,000, Chiquimula, Primera edición. Referencia ND 16-5 G.

Figura 10. Nomenclatura del mapa geológico del departamento de Chiquimula.

EXPLICACION EXPLANATION	
	CUATERNARIO: ALUVIÓN <i>QUATERNARY: ALLUVIUM</i>
	CUATERNARIO: ROCAS VOLCÁNICAS <i>QUATERNARY: VOLCANIC ROCKS</i>
	CUATERNARIO: PÓMEZ <i>QUATERNARY: PUMICE</i>
	TERCIARIO: Grupo Padre Miguel; basalto, felsitas, arenitas volcánicas y lahar <i>TERTIARY: Padre Miguel Group, basalt, felsites, volcanic arenites and lahar</i>
	TERCIARIO: Formaciones Subinal y Guastatoya; lutita roja, arenisca y conglomerado con toba interestratificada <i>TERTIARY: Subinal and Guastatoya Formations, red shale, sandstone and conglomerate with interbedded tuff</i>
	CRETÁCICO: Grupo Yojoa; caliza, lutita y arenisca <i>CRETACEOUS: Yojoa Group, limestone, minor shale and sandstone</i>
	JURÁSICO O CRETÁCICO: Formación Todos Santos; lutita roja y limolita <i>JURASSIC OR CRETACEOUS: Todos Santos Formation, red shale and siltstone</i>
	PALEOZOICO SUPERIOR: Metamórficas; filitas, clorita, cuarcitas y micaesquistos (Probablemente equivalente al Grupo Santa Rosa) <i>UPPER PALEOZOIC: Metamorphic; phyllites, chlorite, quartzites and mica schist (Probably equivalent to Santa Rosa Group)</i>
	PALEOZOICO INFERIOR (?): Metamórficas, esquistos, gneisses, migmatitas, metavolcánicas, metabasitos, mármol (Probablemente equivalente a la serie Chuacús) <i>LOWER PALEOZOIC (?): Metamorphic; schists, gneisses, migmatites, meta-volcanic, metabasites, marble (Probably equivalent to Chuacús series)</i>
	PALEOZOICO INFERIOR: Series de Chuacús, esquistos, gneisses, anfíbolitas, mármol y rocas metavolcánicas <i>LOWER PALEOZOIC: Chuacús series; schists, gneisses, amphibolites, marble and meta-volcanic rocks</i>
	TERCIARIO O CUATERNARIO: Rocas intrusivas, composición intermedia <i>TERTIARY OR QUATERNARY: Intrusive rocks, intermediate composition</i>
	TERCIARIO O CRETÁCICO: Rocas plutónicas: granito, adamellita, granodiorita, diorita y gabro <i>TERTIARY OR CRETACEOUS: Plutonic rocks; granite, adamellite, granodiorite, diorite and gabbro</i>
	SERPENTINITA <i>SERPENTINITE</i>

3. NORMAS PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE AGREGADOS PÉTREOS

Los agregados pétreos, requieren de un control de calidad adecuado para lograr con ello la realización de concretos con propiedades de estándares elevados, definiendo también el costo y trabajabilidad de dichas mezclas. Por lo que es importante y necesario efectuar los ensayos respectivos, que logren determinar los aspectos físicos, mecánicos y químicos de los agregados.

Las especificaciones normadas de la Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales (ASTM por sus siglas en inglés) establece los parámetros necesarios, que deben cumplir los agregados para ser considerados apropiados para su utilización en mezclas de concreto. Por lo que a continuación se menciona cada uno de los ensayos y sus respectivas normas.

3.1. Análisis de las propiedades físicas de los agregados

Las propiedades físicas de los agregados, son significativas en la tecnología del concreto. Componiéndose entonces, los agregados para concreto de partículas de peso específico elevado, de textura y forma apropiada, libres de sustancias y partículas dañinas, y que proporcionen una granulometría adecuada; se lograra un concreto de buena calidad.

Sustancias o partículas defectuosas, adheridas o mezcladas con los agregados, restan calidad y resistencia al concreto, para lo cual se deben fijar límites permisibles de tolerancia, los cuales están contenidos en la Especificación normada de agregados para concreto, ASTM C-33-08.

3.1.1. Descripción general de la norma ASTM C-33-08

ASTM C-33-08, es la designación de la Especificación normada de agregados para concreto, cuyas especificaciones estipula los requisitos para granulometría y calidad de agregado fino y grueso, distinto del agregado liviano o pesado. Es considerada adecuada para asegurar materiales satisfactorios para la mayoría de los concretos.

La norma proporciona parámetros para comprobar que los agregados especificados puedan o no ser utilizados, basándose en su granulometría, propiedades físicas, o combinación de ellas. Con respecto al análisis de las propiedades físicas, estas describen características tales como sustancias perjudiciales, absorción y contenido de humedad, peso específico y peso unitario, que a continuación se detallan.

3.1.1.1. Agregado fino

Siguiendo las especificaciones de la norma, los agregados finos consistirán en arena natural, arena manufacturada, o una combinación de ambas. Para el caso particular de este análisis, las muestras de los dos bancos de agregado fino, consisten en arena natural.

3.1.1.1.1. Granulometría

El análisis granulométrico consiste en separar y conocer los porcentajes de cada tamaño de grano. El agregado debe tener una graduación dada de acuerdo con su tamaño máximo y dentro de los límites fijados por la norma ASTM C-33-08. El procedimiento para efectuar el ensayo es el siguiente.

- Se necesita una balanza de 1 kg y 0.1 g de sensibilidad, una báscula de 125 kg de capacidad, un juego de tamices de 203 mm (8 pulgadas) de diámetro de los números 4, 8, 16, 30, 50, y 100; así como fondo y tapa. Bandejas y cápsulas de lámina, brocha o cepillo de cerda, cepillo de alambre.
- Se cuartea la muestra total de arena seca hasta obtener 500 gramos con una aproximación de 0.1 gramos.
- Se coloca la serie de tamices superpuestos colocándolos de abajo, hacia arriba (iniciando con el fondo), con número de tamiz de mayor a menor.
- Se vierte el material en el tamiz superior (No. 4) y se procede a colocar las mallas con el material en la tamizadora por 10 minutos.
- Se comprueba que cada tamiz ha dado paso a todo el material menor que su abertura, las proporciones retenidas se colocan en recipientes por separado.
- Se pesa el retenido en cada tamiz, cuidando de no perder material, en el proceso de pesado.
- Los tamices deberán quedar limpios después de vaciar su contenido y para esto, se utilizará el cepillo de alambre (tamices mayores de No. 30 o la brocha o cepillo de cerda (tamices menores de No. 30).
- Se pesa cada uno de los retenidos obtenidos del tamizado con aproximación de 0.1 g en el orden de tamaños y se hace un registro de estos.

La suma final de los pesos debe coincidir con el peso inicial de la muestra, la pérdida de material no debe exceder el dos por ciento (2 gramos), por esta razón, se conservan por separado las distintas porciones después de pesadas para el caso en que sea necesario comprobar los pesos obtenidos.

El módulo de finura de la arena se obtiene por la suma de los porcentajes acumulados retenidos de los tamices No. 4 al No. 100 inclusive, dividido entre 100. La arena se clasifica de acuerdo a la siguiente tabla. Normalmente para concreto

debe usarse arena con un módulo de finura, entre 2.2 y 3.2 prefiriéndose arena media.

Tabla V. 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

3.1.1.1.2. Sustancias perjudiciales

La cantidad de sustancias perjudiciales en el agregado fino, no debe exceder los límites descritos en la tabla VI.

Tabla VI. Límites de sustancias nocivas en agregados finos.

Substancia	Efectos dañinos posibles en el concreto	Máximo permitido (% en peso)
		Agregado fino
Material más fino que el tamiz 75 μm (No. 200)		
Concreto sujeto a la abrasión	Afecta la trabajabilidad: aumenta el requerimiento de agua	3*
Todos los otros concretos		5*
Grumos de arcilla y partículas desmenuzables	Afecta la trabajabilidad y la resistencia a la abrasión	3
Carbón y lignito		
Donde la apariencia de la superficie del concreto es importante	Afecta la trabajabilidad; cusa manchas	0,5
Todos los otros concretos		1

* En el caso de arena fabricada, si el material más fino que el tamiz de 75 μm consiste en polvo de la fractura, libre esencialmente de arcilla o pizarra, estos límites pueden aumentarse a 5 y 7 % respectivamente.

3.1.1.1.3. Impurezas orgánicas

La materia orgánica es una de las sustancias perjudiciales en el agregado fino y debe conocerse su contenido, ya que afecta la hidratación y adherencia del cemento con los agregados, y si está presente en alto grado, puede bajar la resistencia del concreto.

Los agregados sujetos al ensayo de impurezas orgánicas y que producen un color más oscuro que el estándar deben ser rechazados. El máximo permisible de acuerdo a la norma es el número 3. La utilización de un agregado fino que ha fracasado en el ensayo no está prohibida, siempre que la decoloración se deba principalmente a la presencia de pequeñas cantidades de carbón, lignito o partículas discretas similares.

El agregado fino para utilizar en concreto que estará sujeto a humedecimiento, exposición prolongada a la humedad atmosférica, o contacto con terreno húmedo no debe contener ningún material que sea perjudicialmente reactivo con los álcalis en el cemento en una cantidad suficiente para causar expansión excesiva del mortero o del concreto, excepto que si dichos materiales están presentes en cantidades perjudiciales, la utilización de agregado fino no está prohibida cuando se utilice con un cemento que contenga menos del 0.60 % de álcalis calculados como equivalente de óxido de sodio o con la incorporación de un material que haya demostrado evitar la expansión nociva debida a la reacción álcali-agregado.

El ensayo más utilizado para la determinación de materia orgánica es la prueba colorimétrica, descrita a continuación.

- Se necesitan recipientes de vidrio de 250 ml a 350 ml, con tapón y marcas cada 25 ml. Una solución de soda cáustica (hidróxido de sodio) al 3% (30 g de soda por litro de agua; o 3 g por cada 100 ml de agua), un colorímetro, balanza de 1 kg de capacidad.
- Se toma una muestra representativa de arena a ensayar y se pesan aproximadamente entre 120g y 150g (arena seca al ambiente).
- Se pone la arena en el recipiente de vidrio, hasta la marca de 125 ml.
- Se agrega la solución de soda cáustica hasta el volumen de arena y líquido, una vez agitados, se llena hasta la marca de 200 ml.
- Se tapa el recipiente con tapón de hule o plástico, se agita vigorosamente durante 2 minutos, y se deja reposar durante 24 horas.
- Transcurrido ese tiempo, se compara por transparencia el color del líquido que se encuentra sobre la arena con el colorímetro. Este último instrumento tiene 5 colores de diferente tono que conforme el número aumenta, también lo hace la coloración. Entre más oscuro es el color más contenido de materia orgánica posee la muestra.

Si el líquido es más claro que el primer color del colorímetro, esto indica que el contenido de materia orgánica es inferior al límite fijado, y la arena es aceptable.

Si el líquido es de un color más oscuro que el normal, el contenido de materia orgánica posiblemente es superior al líquido aceptable y la arena deberá ser estudiada más detenidamente. Se recomienda lavar la arena, y hacer nuevamente la prueba. Si el color baja, esto confirma que sí hay materia orgánica y la arena deberá lavarse o neutralizar la materia orgánica que contiene, antes de usarla en concreto (puede usarse una solución al 1% de cal). Si se obtiene nuevamente el mismo color

oscuro o superior al límite, aún después de lavados sucesivos, esto indica que el color posiblemente no es motivado por materia orgánica, sino por otras sustancias minerales que produzcan coloración (minerales de hierro, manganeso o carbón mineral), los cuales no son perjudiciales.

3.1.1.2. Agregado grueso

Continuando con las especificaciones de la norma, el agregado grueso debe consistir en grava, grava triturada, piedra triturada, escoria de alto horno enfriada al aire, o concreto de cemento hidráulico triturado, o una combinación de ellos.

El concreto de cemento hidráulico triturado ha sido utilizado como un agregado de resultados dictaminados como satisfactorios, su utilización puede exigir algunas precauciones adicionales. Los requisitos del agua de mezclado pueden ser incrementados debido a la aspereza del agregado. El concreto parcialmente deteriorado, utilizado como agregado, puede reducir la resistencia al congelamiento-descongelamiento, afectar las propiedades de vacíos de aire o degradarse durante la manipulación, mezclado o colocado. El concreto triturado puede tener componentes que sean susceptibles a reactividad álcali-agregado o al ataque de sulfatos en el nuevo concreto o puede traer sulfatos, cloruros, o material orgánico al nuevo concreto en su estructura de poros.

Para el caso particular de este análisis, la muestra del banco de agregado grueso, consiste en piedra triturada.

3.1.1.2.1. Granulometría

El análisis granulométrico consiste en separar y conocer los porcentajes de cada tamaño de grano. El agregado debe tener una graduación dada de acuerdo con

su tamaño máximo y dentro de los límites fijados por la norma ASTM C-33-08. El procedimiento para efectuar el ensayo es el siguiente.

- Se necesita una balanza de 1 kg y 0.1 g de sensibilidad, báscula de 150 kg de capacidad, un juego de tamices de 305 mm o 406 mm (12 ó 16 pulgadas) de diámetro, con abertura de 9.51 mm, 12.7 mm, 25.4 mm, 38.1 mm, 50.8, 46.0 mm y 76.1 mm (3/8", 3/4", 1", 1 1/2", 2" y 3"), bandejas y cápsulas de lámina, brocha o cepillo de cerda, cepillo de alambre.
- Para el análisis del agregado, se requiere una muestra seca aproximadamente de 2.5 kg obtenida por cuarteo.
- La muestra se tamiza en mallas especificadas individualmente, separando en bandejas los retenidos correspondientes. Se deberá tener cuidado de que no queden partículas apisonadas entre las mallas.
- Una vez separado el material, se procederá a pesar cada porción en bandejas taradas (cuyo peso se conoce).
- Los pesos retenidos, se registran en la misma forma que para el agregado fino, y se calculan los porcentajes retenidos parciales y acumulados.

La suma de los pesos debe coincidir con el peso total de la muestra, con aproximación menor de 1 g, por esta razón, se conservan por separado las distintas porciones después de pesadas, para el caso en que sea necesario comprobar los pesos obtenidos.

3.1.1.2.2. Sustancias perjudiciales

La cantidad de sustancias perjudiciales en el agregado fino, no debe exceder los límites pre-escritos en la tabla VII.

Tabla VII. Límites de sustancias nocivas en agregados gruesos.

Designación de clase	Tipo o ubicación de la construcción de concreto	Máximo admisible, %				
		Terrones de arcilla y partículas friables	Horsteno (menos de 2.40 sp gr SSD)	Suma de terrones de arcilla, partículas friables y horsteno (menos de 2.40 sp gr SSD)	Material más fino que el tamiz 75 μm (No. 200)	Carbón y Lignito
Regiones de intemperización severa						
1S	Zapatatas, fundaciones, columnas y vigas no expuestas a la intemperie, losas de pisos interiores que van a ser revestidas.	10.0			1.0 ^C	1.0
2S	Pisos interiores sin revestimiento	5.0	...	...	1.0 ^C	0.5
3S	Muros de fundación por encima del nivel del terreno, muros de retención, estribos, pilares, vigas principales y vigas expuestas a la intemperie	5.0	5.0	7.0	1.0 ^C	0.5
4S	Pavimentos, tableros de puente, caminos y cordones, senderos, patios, pisos de garaje, terrazas y pisos expuestos, o estructuras frente al agua, sujetas a mojarse frecuentemente.	3.0	5.0	5.0	1.0 ^C	0.5
5S	Concreto arquitectónico expuesto	2.0	3.0	3.0	1.0 ^C	0.5
Regiones de intemperización moderada						
1M	Zapatatas, fundaciones, columnas y vigas no expuestas a la intemperie, losas de pisos interiores que van a ser revestidas.	10.0	...	...	1.0 ^C	1.0
2M	Pisos interiores sin revestimiento	5.0	...	...	1.0 ^C	0.5
3M	Muros de fundación por encima del nivel del terreno, muros de retención, estribos, pilares, vigas principales y vigas expuestas a la intemperie	5.0	8.0	10.0	1.0 ^C	0.5
4M	Pavimentos, tableros de puente, caminos y cordones, senderos, patios, pisos de garaje, terrazas y pisos expuestos, o estructuras frente al agua, sujetas a mojarse frecuentemente.	5.0	5.0	7.0	1.0 ^C	0.5
5M	Concreto arquitectónico expuesto	3.0	3.0	5.0	1.0 ^C	1.0
Regiones de intemperización insignificante						
1N	Losas sujetas a abrasión de tráfico, tableros de puentes, pisos, senderos, pavimentos	5.0	...	...	1.0 ^C	0.5
2N	Todas las otras clases de concreto	10.0	...	...	1.0 ^C	1.0

La materia orgánica es una de las sustancias perjudiciales en el agregado grueso y debe conocerse su contenido, ya que afecta la hidratación del cemento y si está presente en alto grado, puede bajar la resistencia del concreto.

El agregado grueso para utilizar en concreto que estará sujeto a humedecimiento, exposición prolongada a la humedad atmosférica, o en contacto con terreno húmedo no debe contener ningún material que sea perjudicialmente reactivo con los álcalis en el cemento en una cantidad suficiente como para causar expansión excesiva del mortero o del concreto excepto que si dichos materiales están presentes en cantidades perjudiciales, la utilización de agregado grueso no está prohibida cuando se utilice con un cemento que contenga menos del 0.60 % de álcalis calculados como equivalente de óxido de sodio ($\text{Na}_2\text{O} + 0.658\text{K}_2\text{O}$) o con la incorporación de un material que haya demostrado evitar la expansión nociva debida a la reacción álcali-agregado.

El ensayo más utilizado para la determinación de materia orgánica es la prueba colorimétrica, descrita a continuación.

- Se necesitan recipientes de vidrio de 250 ml a 350 ml, con tapón y marcas cada 25 ml. Una solución de soda cáustica (hidróxido de sodio) al 3% (30 g de soda por litro de agua; o 3 g por cada 100 ml de agua), un colorímetro, balanza de 1 kg de capacidad.
- Se toma una muestra representativa de agregado grueso (seco al ambiente) a ensayar, y se pesan aproximadamente 500g.
- Se pone el agregado en el recipiente de vidrio, hasta la marca de 125 ml.
- Se agrega la solución de soda cáustica hasta el volumen del agregado y líquido, una vez agitados, se llena hasta la marca de 200 ml.
- Se tapa el recipiente con tapón de hule o plástico, se agita vigorosamente durante 2 minutos, y se deja reposar durante 24 horas.

- Transcurrido ese tiempo, se compara por transparencia el color del líquido que se encuentra sobre el agregado con el colorímetro. Este último instrumento tiene 5 colores de diferente tono que conforme el número aumenta, también lo hace la coloración. Entre más oscuro es el vidrio más contenido de materia orgánica posee la muestra.

Si el líquido es más claro que el primer color del colorímetro, esto indica que el contenido de materia orgánica es inferior al límite fijado, y el agregado grueso es aceptable.

Si el líquido es de un color más oscuro que el normal, el contenido de materia orgánica posiblemente es superior al líquido aceptable y el agregado grueso deberá ser estudiado más detenidamente. Se recomienda lavar el agregado, y hacer nuevamente la prueba. Si el color baja, esto confirma que sí hay materia orgánica y el agregado deberá lavarse o neutralizarse la materia orgánica que contiene, antes de usarlo en concreto (puede usarse una solución al 1% de cal). Si se obtiene nuevamente el mismo color oscuro o superior al límite, aún después de lavados sucesivos, esto indica que el color posiblemente no es motivado por materia orgánica, sino por otras sustancias minerales que produzcan coloración (minerales de hierro, manganeso o carbón mineral), los cuales no son perjudiciales.

3.1.1.3. Absorción y contenido de humedad, peso específico y peso unitario

3.1.1.3.1. Absorción y contenido de humedad

La absorción es la cantidad de agua capaz de ser tomada por un material después de 24 horas de inmersión y se expresa como un porcentaje del peso seco del material. A continuación se describe el procedimiento del ensayo.

Absorción de agregado fino.

- Se necesita una balanza de 1 kg de capacidad y 0.1 g de sensibilidad, un recipiente o bandeja, un molde especial de lámina galvanizada, de 90 mm de diámetro inferior y 40 mm de diámetro superior por 75 mm de altura. Un apisonador metálico de 440 g de peso y 25.4 mm de diámetro, una placa de vidrio o de otro material no absorbente, un horno cuya temperatura no sobrepase los 115°C.
- Se toma la muestra que se dejó en agua por 24 horas y se escurre el agua sobrante.
- Se extiende el material sobre la placa de vidrio.
- Se remueve frecuentemente hasta considerar que solo haya perdido agua superficial.
- Se llena el molde cónico.
- Se compacta suavemente con 25 golpes del apisonador.
- Se enrasa la arena al borde del molde con la cuchara.
- Se levanta el molde y se observa el comportamiento de la arena moldeada. Si al quitar el molde no se disgrega la arena y la parte superior de la arena moldeada queda plana, se repiten los pasos del 2 al 7 hasta que al quitar el molde, se desparrame la arena y forme un cono, lo que indicará que ya se encuentra seca la superficie de la arena (seco saturado).
- Se pesan 500 g de arena seca saturada y se anota el peso.
- Se seca en horno el material (100°C – 110°C) hasta que el peso sea constante. Las pesadas se hacen con material frío.
- Se anota el peso seco y se calcula la absorción.

Absorción de agregado grueso.

- Se necesita una balanza de 1 kg de capacidad y 0.1 b de sensibilidad. Un recipiente o bandeja, un horno cuya temperatura no sobrepase los 115 °C. Un trapo o toallas de papel.
- Se toma la muestra que se dejó 24 horas sumergida, se seca superficialmente, con la franela o toalla de papel.
- Se pesa 1 kg de material y se anota el peso.
- Se seca en el horno hasta obtener un peso constante, haciendo las pesadas en frío.
- Se pesa el material seco, se anota su valor. Y se calcula la absorción.

El cálculo se realiza mediante la siguiente expresión para ambos tipos de agregados:

$$\% \text{ Absorción} = [(B - A) / A] * 100$$

Donde, B = peso de la muestra saturada.

A = peso de la muestra seca (peso constante).

A continuación se describe el ensayo del contenido de humedad para agregados finos y gruesos.

La humedad de un agregado, está compuesta por la humedad de saturación (o absorción), y humedad libre o superficial. Para corregir los pesos necesarios de los materiales utilizados para hacer las mezclas de concreto, se necesita conocer el porcentaje de humedad contenida, y el porcentaje de absorción (seco saturado) del agregado.

- Se necesita una balanza de 1 kg de capacidad, con 0.1 g de sensibilidad. Un plato, recipiente o bandeja pequeña, un horno.

- Se toma una muestra representativa del material por cuarteo, tomando el peso necesario, de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla VIII. Peso de muestras de agregados para contenido de humedad.

Tamaño del Agregado		Peso de la muestra
mm	Pulgadas	
Menor a 4,76	Menor a 3/16	200 g
4,76 a 19,0	3/16 a 3/4	500 g
19,0 a 38,1	3/4 a 1 1/2	1 kg
Mayor a 38,1	Mayor a 1 1/2	1 kg

- Se pesa y se anota el peso real (peso A).
- Se seca el material en el horno a una temperatura de 100°C – 110°C, hasta tener un peso constante. Se pesa una vez se ha enfriado el material y se anota (peso B).
- Luego se procede a calcular el contenido de humedad.

El cálculo se realiza mediante la siguiente expresión, para ambos tipos de agregados:

$$\% \text{ humedad} = [(A - B) / A] * 100$$

Donde, A = Peso natural.

B = Peso seco.

3.1.1.3.2. Peso específico

El peso específico (densidad), es la relación entre el peso de un volumen dado de un material y el peso de un volumen igual de agua destilada a una temperatura determinada (20°C se toma como temperatura normal). En agregados se toma el peso específico de partículas saturadas de superficie seca. En relación con el ensayo se

definen dos métodos para los agregados finos y uno para agregado grueso, los cuales se describen a continuación.

Método A (Método de campo) para agregados finos y gruesos.

- Se necesita una báscula de 125 kg de capacidad, un bote vertedor de 15 ó 20 litros de capacidad, bandeja o charola, cucharón, y un cilindro graduado de 1000 ml o vasos de vidrio.
- Se afora el bote vertedor con agua potable limpia.
- Se pesan 5 kg de material saturado (de superficie seca).
- Se vierte el material poco a poco y procurando no arrastrarse en el bote vertedor.
- Se mide el volumen de agua desalojada al terminar de escurrir el agua, que ha sido recogida con el vaso y vertida en la probeta graduada.

Se calcula el peso específico = A / B

Donde, A = Peso del material usado para la prueba.

B = Volumen total de agua desalojada (expresada en kg, 1 litro = 1 kg).

Si no se consigue un cilindro de vidrio graduado, puede utilizarse un frasco corriente de vidrio, y se pesa el agua recogida, en la balanza de 1 kg de capacidad y 0.1 g de sensibilidad.

Método B, aplicable para agregados finos.

- Se necesita una balanza de 1 kg de capacidad y 0.1 g de sensibilidad. Un frasco volumétrico de 500 ml de capacidad calibrado a 20 °C, un frasco de 1 litro de

capacidad y una placa de vidrio que cubra la boca del frasco. Un recipiente para la muestra (cápsula de porcelana, níquel o aluminio).

- Se determina el peso del frasco lleno de agua hasta la marca de 500 ml o se usa el frasco corriente de 1 litro, se llena de agua hasta el tope y se le pone el vidrio, se anota el peso (peso A).
- Se pesan de 300 g a 500 g de material saturado (de superficie seca), (peso B).
- Se quita agua al frasco volumétrico o del frasco corriente, y se vierte el material saturado poco a poco.
- Se quita el material y agua para eliminar el aire y se echa agua hasta llegar al nivel original (marca de 500 ml) o si se usa el frasco corriente hasta llenar el frasco, el cual se cubre con el vidrio. Se pesa el frasco, agua y material (peso C)
- Se calcula el peso específico.

$$\text{Peso específico} = B / (A + B - C)$$

Precauciones:

- Estar seguro de tener la muestra sumergida antes de sacudir para eliminar el aire.
- El exterior del frasco debe estar seco antes de pesar.
- Asegurarse que todas las burbujas de aire han salido del frasco y que este está lleno hasta la marca o hasta el tope y con el vidrio puesto antes de pesar.
- Utilizar si es posible un cuentagotas (o pipeta) para añadir pequeñas cantidades de agua y evitar así, que se moje el exterior del frasco.
- Los pesos A y C deben ser tomados con el agua a la misma temperatura (dentro de un margen de 1 °C).

3.1.1.3.3. Peso unitario

El peso unitario aparente o peso volumétrico es la relación entre peso de un material y el volumen ocupado por el mismo, expresado en kg/m^3 . Hay dos valores para esta relación: el peso volumétrico suelto, y el peso volumétrico apisonado. El primero se usa para conversiones de peso a volumen, para conocer el consumo de agregados por metro cúbico de concreto. El segundo se usa para conocer el volumen de materiales apilados. En ambos casos este peso se obtiene con material en estado seco saturado, para fines de comparación.

En la obra, debe obtenerse el peso unitario en las condiciones de humedad en que está el material en dicho lugar, haciendo las correcciones del caso, para poder reducir los valores de pesos a volúmenes aparentes en los casos que así se proporcione ingredientes del concreto.

Peso unitario suelto de agregados finos.

- Se necesita una báscula de 125 kg de capacidad, un cucharón, una pala.
- Medidas de volumen con peso propio conocido (la medida podrá ser de madera de forma cuadrada pero preferiblemente deben ser de hierro, cilíndricas, con su peso propio y volumen conocido)
 - Para arena hasta 12.7 mm (1/2") debe usarse una medida no menor de 2.83 litros (1/10 pie³).
- Se necesita también una varilla de acero lisa de 16 mm (5/8") con punta redondeada (de bola) y 60 cm de longitud. Una regla metálica para rasar. Una bandeja o recipiente.
- En la medida de 2.83 litros, se vierte la arena dejándola caer con deslizamiento continuo desde una altura de 50 cm del borde de la medida, hasta que llegue a formarse un cono natural cuyos taludes lleguen a la superficie del recipiente.

- Luego se enrasa sin mover la medida.
- Se pesa la medida con su contenido de arena.
- Se anota el peso.

El peso volumétrico se calcula de la siguiente manera:

$$\text{P.U. o P.V.} = [(A - B) / V] * 100$$

Donde, A = Peso propio de la medida más el material (kg).

B = Peso propio de la medida.

V = Volumen de la medida en litros.

Peso unitario apisonado de agregados finos.

- En la medida de 2.83 litros, se llena la medida en 3 capas de material, apisonando cada capa con 25 golpes consecutivos con la varilla; cuidando de no hacer penetrar la varilla más del espesor de la capa que se trabaja.
- Luego se enrasa sin mover la medida.
- Se pesa la medida con su contenido de arena.
- Se anota el peso.

El peso volumétrico se calcula de la siguiente manera:

$$\text{P.U. o P.V.} = [(A - B) / V] * 100$$

Donde, A = Peso propio de la medida más el material (kg).

B = Peso propio de la medida.

V = Volumen de la medida en litros.

Peso unitario suelto de agregados gruesos.

- Se necesita una báscula de 125 kg de capacidad, un cucharón, una pala.
- Medidas de volumen con peso propio conocido.
 - Para grava hasta 12.7 mm (1/2") debe usarse una medida no menor de 2.83 litros (1/10 pie³).
 - Para grava de 38 mm (1 1/2") debe usarse una medida no menor de 14.16 litros (1/2 pie³).
 - Para grava de 101.6 mm (4") debe usarse una medida no menor de 28.32 litros (1 pie³).
- También se necesita una varilla de acero lisa de 16 mm (5/8") con punta redondeada (de bola) y 60 cm de longitud. Una regla metálica para rasar, una bandeja o recipiente.
- En la medida, se vierte la grava dejándola caer con deslizamiento continuo desde una altura de 50 cm del borde de la medida, hasta que llene la medida.
- Luego se enrasa sin mover la medida.
- Se pesa la medida con su contenido de grava.
- Se anota el peso.

El peso volumétrico se calcula de la siguiente manera:

$$P.U. \text{ o } P.V. = [(A - B) / V] * 100$$

Donde, A = Peso propio de la medida más el material (kg).

B = Peso propio de la medida.

V = Volumen de la medida en litros.

Peso unitario apisonado de agregados gruesos.

- La única diferencia con lo descrito anteriormente, es que se llena la medida en 3 capas de material, apisonando cada capa con 25 golpes consecutivos con la varilla; cuidando de no hacer penetrar la varilla más del espesor de la capa que se trabaja.
- Luego se enrasa sin mover la medida.
- Se pesa la medida con su contenido de grava.
- Se anota el peso.

El peso volumétrico se calcula al igual que el procedimiento anteriormente indicado.

Si la grava es grande, el enrase se hace a mano, acomodando grava entre ellos, pero sin ejercer presión.

El peso volumétrico por sacudidas, se utiliza cuando la grava es mayor de 76 (3") y se usa el método indicado en la especificación ASTM C-29-42.

3.2. Análisis de las propiedades mecánicas de los agregados

En relación a las propiedades mecánicas de los agregados que interesan determinar, se encuentran la resistencia a ser rayados y la resistencia al desgaste (abrasión). El primer caso, concierne al equipo de explotación de los agregados, y en el segundo caso, para los efectos de resistencia en el concreto, sobre todo cuando el agregado se use en pavimentos o aceras. Y es este último al que se le dará énfasis en este apartado.

Para determinar la resistencia al desgaste de los agregados se emplea el ensayo en la máquina de Los Ángeles, de acuerdo a la especificación ASTM C-131-06. Este ensayo consiste básicamente en colocar el agregado dentro de un cilindro rotatorio con una carga de bolas de acero por un periodo de tiempo especificado, después de lo cual se determina el porcentaje de desgaste sufrido. El agregado grueso ensayado a desgaste no deberá mostrar una pérdida mayor del cincuenta por ciento en peso, si fuera el caso, podrá usarse siempre y cuando produzca resistencias satisfactorias en el concreto de proporciones seleccionadas.

3.2.1. Ensayo de abrasión en la máquina de Los Ángeles, ASTM C-131-06

Este método cubre el procedimiento para ensayo de agregado grueso menores de 1 ½” pulgadas (37.5 mm), para determinar su resistencia al desgaste, que resulta de la combinación de acciones de abrasión o roce, impacto y pulverización en un tambor de metal rotacional que gira a una velocidad comprendida entre 30 a 33 revoluciones por minuto, con un número de 500 vueltas, y un número específico de esferas de acero, que depende del tipo de graduación de la muestra.

En capas de bases para pavimentos flexibles, este resultado indicará si este material es resistente al desplazamiento y al desgaste, debido a que estos materiales para capas de base están sometidos a un considerable desgaste como consecuencia de la acción de amasado del tráfico transmitida por la capa protectora flexible. En capas de bases su finalidad es proporcionar a la capa de rodadura una sustentación uniforme, no deformable y transmitir las cargas hasta el terreno. En las especificaciones generales para la construcción de carreteras (Libro azul), hay límites de porcentajes de desgaste, para agregados pétreos como material para capas en carreteras.

3.2.1.1. Resumen del método

El ensayo en la máquina de Los Ángeles es una medida de la degradación de los minerales de los agregados de graduaciones normales. La máquina consiste en un cilindro hueco cerrado en ambos extremos, teniendo un diámetro interno de 28 pulgadas y largo interior de 20 pulgadas. Las cargas abrasivas consistirán en esferas de acero de una diámetro aproximado de 46.8 mm y cada una pesando entre 390 y 445 gramos.

Mientras el tambor rota, una placa eleva la muestra y las esferas de acero, transportándolas hasta ser soltadas desde la parte opuesta del tambor, crean un efecto de trituración por impacto. El contenido sigue rodando dentro del tambor con una acción de molienda abrasiva hasta que la placa hace impacto y el ciclo se repite. Después de transcurridas las 500 revoluciones preestablecido, el contenido es removido del tambor y la porción de agregado es tamizada en la malla No. 12, para medir el desgaste como el porcentaje de peso perdido.

3.2.1.2. Muestra de ensayo

La muestra de agregado debe estar secada al horno a una temperatura de 105 a 110 °C, hasta obtener un peso constante. La graduación, o graduaciones usadas serán aquellas que representen más adecuadamente el agregado suministrado como muestra. El tipo de desgaste que se le aplicara a la muestra, depende de la graduación de la misma. Para lo cual variará los tamices y el número de esferas a utilizar en el ensayo. Se requiere de 5 kg de la muestra para dicho ensayo. En la siguiente tabla se clasifica el tipo de abrasión según su granulometría.

Tabla IX. Tipo de abrasión según granulometría.

Tipo	Tamices	Peso retenido (g)	No. De esferas	Revoluciones	Tiempo (min.)
A	1", 3/4", 1/2" y 3/8"	1250 ± 10	12	500	17
B	1/2" y 3/8"	2500 ± 10	11	500	17
C	1/4" y No. 4	2500 ± 10	8	500	17
D	No. 8	5000	6	500	17

Fuente: Norma de la Asociación Americana para el Ensayo de Materiales, Vol.04.02 Págs. 10 y 11.

3.2.1.3. Procedimiento

- Se encuentra la granulometría con una cantidad representativa para obtener los porcentajes y cantidades retenidas, para identificar el tipo de abrasión.
- Para la graduación escogida se selecciona la carga de bolas a usar en la máquina de Los Ángeles.
- Pesar la muestra de agregado y colocarla en el tambor de la máquina junto con la carga abrasiva.
- Se hace girar el tambor a una velocidad de 30 a 33 rpm hasta completar 500 vueltas.
- Se saca el material, se pasa por tamiz No. 12.
- El material retenido en el tamiz No. 12 se lava y seca al horno a una temperatura de 105 a 110 °C hasta llegar a un peso constante.
- Se pesan las fracciones retenidas y que pasan el tamiz No. 12.

Se calcula el desgaste por peso: la diferencia entre el peso original y el peso final de la muestra, se expresará en forma de porcentaje del peso original de la muestra de ensayo. Este valor será reportado como porcentaje de desgaste del agregado.

3.3. Análisis de las propiedades petrográficas de los agregados

La petrografía es una de las ramas de las ciencias geológicas dedicado a la descripción científica y clasificación sistemática de las rocas, a partir de un análisis en el microscopio, en donde se utiliza la mineralogía óptica que es una aplicación de la física de la luz al estudio de los minerales.

La petrografía combina la inspección visual con el examen microscópico usando el estereoscopio, el microscopio petrográfico y el microscopio metalográfico cuando así lo requiera. La interpretación de lo encontrado proporciona ayuda valiosa en el desarrollo de soluciones prácticas a los problemas que se presentan en las construcciones.

3.3.1. Examen petrográfico de agregados, ASTM C-295-08

3.3.1.1. Usos de los análisis petrográficos

Los procedimientos que se siguen en el análisis petrográfico de agregados dependen del uso que se le quiera dar a dicho agregado. En ocasiones la petrografía, puede no ser suficiente para realizar el estudio de los agregados para concreto, y es necesario el complemento de procedimientos como la difracción de rayos X, la cual 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 álcalis-sílice y álcali carbonato y recomendar ensayos que confirmen o no la reacción.

La reacción álcali-sílice es uno de los sistemas del que está comprendida la reacción álcali-agregado, la cual es una de las causas del deterioro del concreto. La reacción se inicia en la superficie del agregado y se produce en la interface con la pasta de cemento formando un gel que toma agua y se dilata creando presiones internas que lleva a la rotura del material.

Usualmente, se parte por la investigación petrográfica de los agregados para lo cual se cuenta con la Guía normada para examen petrográfico de agregados para concreto, ASTM C-295-08. Sin embargo, este procedimiento no sólo requiere experiencia en los técnicos que lo aplican, sino es limitado, pues únicamente produce resultados de orientación.

Un método de estudio, sobre el que existe importante conocimiento es el método químico que determina la reactividad potencial de los agregados, norma ASTM C-289-07. Esta norma es de extendida aplicación por su rapidez y solución de hidróxido de sodio cuando se encuentran en contacto con el agregado para concreto, determinándose la calidad de sílice disuelta.

A continuación se presentan los lineamientos de la Guía normada para examen petrográfico de agregados para concreto, ASTM C-295-08.

3.3.1.2. Selección de las muestras para el examen

La toma de muestras debe realizarse conforme a 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 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 No. 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.

3.3.1.3. 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

3.3.1.4. 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 No. 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 (No. 30) y si es posible, auxiliarse con el microscopio petrográfico.

3.3.1.5. Examen del núcleo de perforación

Se debe hacer un registro de cada núcleo, con los siguientes datos: longitud, recuperación, localización; localización y espaciamiento de diaclasas; tipo o tipos litológicos; alternación de los tipos; condición y su variación física, tenacidad, dureza, coherencia; porosidad obvia; tamaño y textura del grano y sus variaciones; tipo o tipos de ruptura y presencia de componentes capaces de reaccionar potencialmente en deterioro del concreto.

Si el tamaño del testigo lo permite, debe considerarse la probabilidad de que la roca se convierta en agregado del tamaño requerido. Si se humedece la superficie del testigo, es más fácil reconocer características significativas y cambios en su litología. La mayoría de la información requerida normalmente, se obtiene por un cuidadoso examen visual, pruebas de rayado y de ácido, o golpeando el núcleo con un martillo.

En caso de rocas de granulometría fina, puede ser necesario examinar partes del núcleo, para preparar secciones delgadas de porciones seleccionadas o utilizar el microscopio estereoscópico. Algunas consideraciones y procedimientos son más aplicables a algunas rocas particulares que a otras.

3.3.1.6. Examen de la roca expuesta

El procedimiento a utilizar es el mismo que para las muestras de núcleo, hasta el punto que el espaciamiento de muestras y tamaños de piezas individuales lo permitan. Si la muestra consiste en cantidades relativamente grandes de roca fracturada por explosión, es recomendable inspeccionarla toda, estimando la cantidad relativa de tipos de rocas, variedades presentes y muestrear cada tipo antes de procesos adicionales. El procedimiento subsiguiente deberá ser el mismo que se da para la roca triturada.

3.3.1.7. Examen de la roca triturada

El procedimiento para este examen es similar al del núcleo, excepto que son necesarios datos cuantitativos que deben ser obtenidos por conteo de partículas, como se describe en la sección de grava y arena natural.

3.3.1.8. Examen de la arena manufacturada

El procedimiento debe ser igual al de la arena natural, con énfasis sobre la cantidad y extensión de fracturación y la cantidad y naturaleza del polvo de roca desarrollado por la operación de trituración. Si una muestra de la roca de la cual la arena fue producida está disponible, el examen de ésta proveerá información de mucha utilidad.

3.3.1.9. Cálculos e informe

Se procede a calcular la composición de cada fracción retenida en los tamices de una muestra heterogénea y la composición en promedio ponderado de toda la muestra como se describe a continuación:

- 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. Se reportan 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.

Con respecto al reporte del examen petrográfico, éste debe contener los datos necesarios para identificar la muestra, la fuente, el 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 características dañinas al concreto, éstos deben ser descritas 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.

3.4. Análisis de las propiedades químicas de los agregados

El estudio de la reacción álcali-agregado cuya manifestación más frecuente y conocida es la reacción álcali-sílice, es uno de los análisis de las propiedades químicas de los agregados, dentro de la tecnología del concreto. Esta reacción, que en casos extremos puede ocasionar serios problemas estructurales y económicos, sólo puede generarse en estructuras construidas con un concreto elaborado a partir de un conjunto de materiales componentes (Cemento Pórtland, agua, agregados, adiciones minerales y aditivos) capaces de combinarse químicamente y formar un compuesto denominado gel de reacción álcali-sílice, que en presencia de humedad dicho gel se expande, manifestándose con agrietamiento y movimientos diferenciales.

La reactividad potencial preocupa principalmente en aquellas estructuras de concreto que durante al menos por un largo período de su vida en servicio estará en forma permanente o periódica en contacto con agua o suelos húmedos o atmósferas con alta humedad relativa.

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 éstos 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 carbonáticas, la reacción del álcali con los carbonatos produce igualmente un efecto expansivo que provoca micro fracturas, generando en el proceso carbonato de potasio.

Para determinar la presencia de sustancias y minerales que provocan reacciones con la pasta de Cemento Pórtland, a corto, mediano o largo plazo, es de mucha utilidad el Método químico para medir la reactividad potencial álcali-sílice de los agregados, ASTM C-289-07, el cual es un análisis complementario para confirmar los resultados obtenidos del examen petrográfico de agregados para concreto, ASTM C-295-08.

3.4.1. Método químico para medir la reactividad potencial álcali-sílice de los agregados, ASTM C-289-07

3.4.1.1. Aplicación y uso

Este ensayo describe un método químico para determinar la reactividad potencial de un agregado con álcalis, en un concreto elaborado con Cemento Pórtland, de acuerdo con la magnitud de la reacción que ocurre durante 24 horas a 80 °C, entre una solución de hidróxido de sodio 1 N y un agregado que ha sido triturado y cernido de forma que pase por un tamiz No. 50 y quede retenido en un tamiz No. 100. Cumplidas las 24 horas se mide la cantidad de sílice disuelta desde el agregado para concreto y la reducción en alcalinidad de la disolución. Este ensayo sólo identifica agregados altamente reactivos.

Reacciones entre una solución de hidróxido de sodio y agregado silícico 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 la norma ASTM C-227, método de la barra de mortero.

3.4.1.2. Selección y preparación de la muestra

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.

La muestra de ensayo debe ser preparada de una porción representativa del agregado triturándolo hasta que pase el tamiz de 300 μm (No. 50), de acuerdo al siguiente procedimiento: reducir el agregado grueso triturándolo hasta que pase por el tamiz de 4.75 mm (No. 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 No. 100. Reservar la porción retenida en el tamiz de 150 μm como muestra para el ensayo.

3.4.1.3. Procedimiento

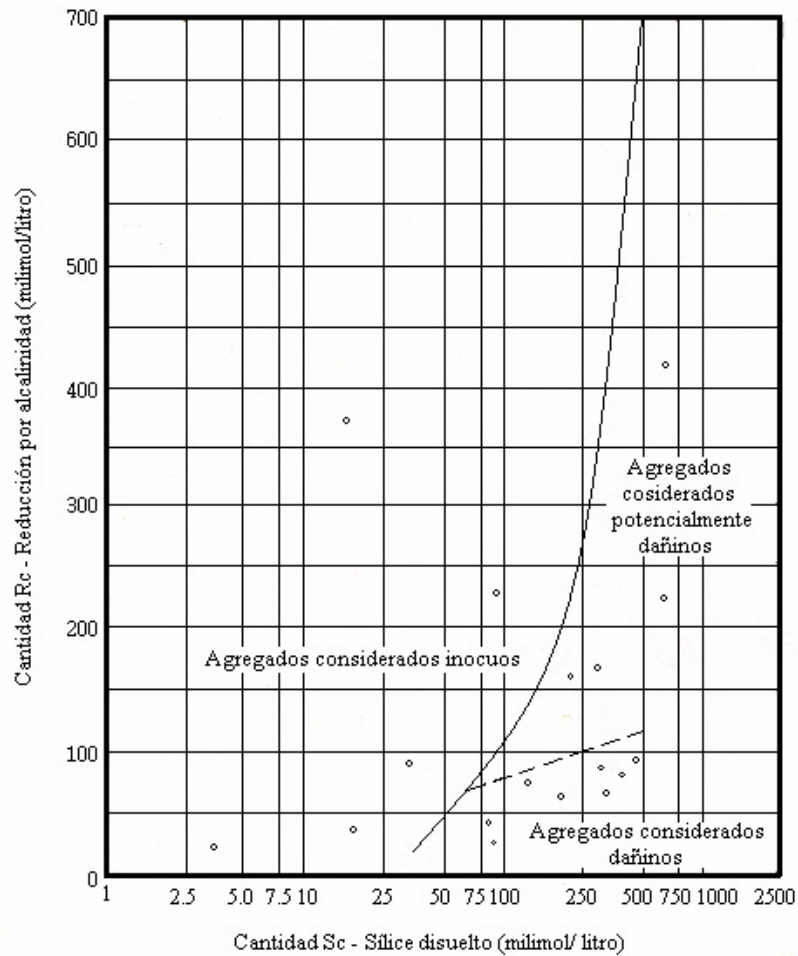
- Pesar tres porciones representativas de 25.00 ± 0.05 gr. de la muestra seca de los agregados para concreto comprendida entre los tamices No. 50 y No. 100. Colocar cada porción en uno de tres recipientes y agregar por medio de una pipeta 25 cm^3 de la solución de NaOH 1.000 N.
- En un cuarto recipiente, utilizando una pipeta, agregar 25 cm^3 de la misma solución 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 ± 1.0 °C. Después de $24 \pm \frac{1}{4}$ de hora se sacan los envases del baño y se enfrían bajo una corriente de agua por 15 ± 2 minutos hasta menos de 30 °C. Después de haberse enfriado los recipientes se filtra la solución del residuo del agregado.
- Luego de 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.

3.4.1.4. Interpretación de los resultados

Con base a información que correlacionan 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, se ha dibujado la siguiente curva.

Figura 11. Ilustración de la curva de división entre agregados inocuos y dañinos.



Fuente: Normas de la Asociación Americana para el Ensayo de Materiales, Vol. 04.02 Pág. 164

Si cualquiera de los tres puntos Rc, Sc quedan situados en el lado dañino de la curva de la figura 11, esto indicará un grado dañino de reactividad potencial 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 11, pueden producir expansiones relativamente bajas. A pesar de esto, se considerará que estos agregados

indican un grado de reactividad potencial dañino, hasta que 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 de concreto 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 agregados para concreto.

4. ENSAYOS DE LABORATORIO

Las muestras de los ensayos fueron trasladadas del departamento de Chiquimula a los laboratorios respectivos.

Los ensayos para determinar la calidad de los agregados para concreto, fueron efectuados en el Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII), en donde fueron aplicadas las normas ASTM C-33-08, para las propiedades físicas; ASTM C-131-06, para propiedades mecánicas; y ASTM C-289-07, para propiedades químicas.

En lo concerniente al examen petrográfico, ASTM C-295-08; este fue realizado en el Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas. La importancia de este ensayo radica en complementar a la norma ASTM C-289-07, los cuales determinan la reactividad potencial álcali-sílice (sección de Química Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería)

Los resultados de las características, y propiedades físicas, mecánicas y químicas de los agregados para concreto, se describen en este capítulo tabulando y analizando cada uno de los resultados. Las copias de los informes de los laboratorios respectivos se incluyen en los anexos.

4.1. Tabulación y análisis de resultados

En los siguientes incisos se presentan los resultados de los ensayos de laboratorio y su análisis respectivo. El procedimiento de cada una de las normas aplicadas, fueron descritas en el capítulo anterior, tanto para agregados finos, como para agregados gruesos.

4.1.1. Resultados de la norma ASTM C-33-08

Conforme a lo estipulado por la norma, se procedió a realizar los ensayos requeridos para determinar la calidad de las muestras de los bancos de agregados para concreto.

4.1.1.1. Agregado fino

A continuación se presentan los resultados de los ensayos de propiedades físicas de agregado fino para concreto. Debido a que se ensayaron dos muestras de agregado fino, cada una de ellas se distingue como Banco de arena 1 y Banco de arena 2, respectivamente; la localización de los bancos se encuentra descrita en el capítulo 2.

Banco de arena 1.

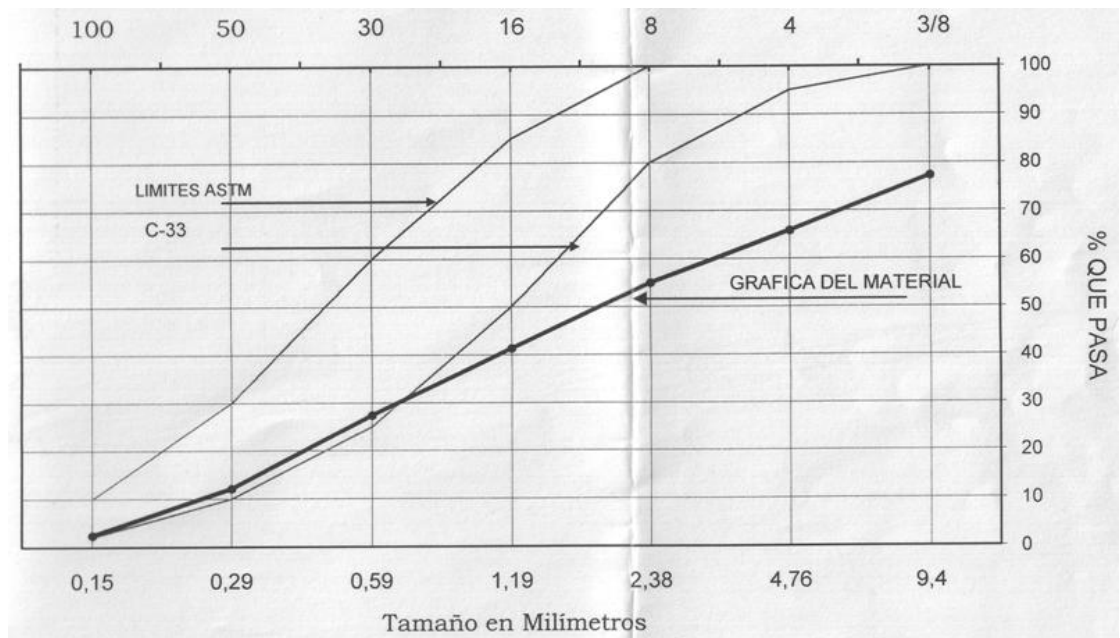
Los porcentajes de material que pasan cada tamiz en la prueba granulométrica, se encuentran tabulados en la tabla X y representados por la correspondiente curva en la figura 12.

Como se puede apreciar en dicha curva, la gráfica del material extraído del Banco de arena 1 se encuentra fuera de los límites establecidos por la norma, no cumpliendo en los tamices 9.5 mm (No. 3/8), 4.75 mm (No. 4), 2.36 mm (No. 8), y 1.18 mm (No. 16), lo cual refleja una carencia de este material en dichos tamices.

Tabla X. Granulometría de agregado fino, banco de arena 1.

Tamiz No.	% Que pasa
3/8 (9,5 mm)	77,24
4 (4,75 mm)	65,88
8 (2,36 mm)	55,02
16 (1,18 mm)	41,34
30 (600 μm)	27,4
50 (300 μm)	12,12
100 (150 μm)	2,42

Figura 12. Curva granulométrica de agregado fino, banco de arena 1.



El índice de finura del material es 3.96, como lo indica la tabla XI, y según este módulo de finura, la clasificación de la arena excede el rango de 2.9-3.2 del tipo de

arena grueso. Puesto que es un material muy grueso, este tipo de arena puede producir una mezcla de concreto áspera y difícilmente trabajable, por tanto antieconómica.

Para una mezcla de concreto debe utilizarse una arena con un módulo de finura entre 2.2- 3.2. Por lo anterior se concluye que el Banco de arena 1, está constituido por una arena muy gruesa y no cumple especificaciones de granulometría.

Tabla XI. Características físicas del agregado fino, banco de arena 1.

Peso específico	2,62
Peso unitario (kg/m ³)	1642,63
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1539,45
Porcentaje de vacíos	37,39
Porcentaje de absorción	1,4
Contenido de materia orgánica	1
% Retenido en tamiz 6,35	31,28
% Que pasa tamiz 200	4,88
Módulo de finura	3,96

La tabla anterior (tabla XI), contiene los resultados de las características físicas del agregado fino para concreto, obtenidos en conformidad bajo las especificaciones de la norma ASTM C-33-08.

En cuanto al contenido de materia orgánica, según la clasificación colorimétrica fue 1, la norma estipula un máximo de 3, por lo que cumple con la especificación.

El peso específico, el peso unitario y el porcentaje de absorción, son características propias de cada material, y se utilizan para la elaboración de las mezclas de concreto. El agregado fino tiene un nivel de absorción (contenido de humedad a superficie seca

saturada) dentro del rango del 0.2% al 2%, que generalmente posee este tipo de agregados. También se debe hacer mención, que los valores obtenidos del Peso Unitario suelto y Peso Unitario, se encuentran comprendidos dentro del rango de los agregados más comúnmente utilizados en el concreto que varía de 1300 - 1750 kg/m³. La cantidad de vacíos entre las partículas afecta la demanda de pasta en el diseño de la mezcla y varía de cerca del 40% a 50% para el agregado fino, el porcentaje obtenido del ensayo está por debajo de estos niveles y resulta muy conveniente para su uso, y al igual que el Peso Específico, poseen valores muy aceptables.

Con respecto a la sanidad del agregado fino, sometido a la prueba de resistencia a la desintegración en cinco ciclos (prueba de bondad) con una solución de sulfato de sodio al 24% de pureza, se obtuvo un desgaste referido a graduación del 1.54 por ciento, encontrándose dentro de los límites de la norma ASTM C-88-05, lo cual define una buena calidad del agregado que estará sometido a la acción de los agentes atmosféricos.

Con excepción de la granulometría, los resultados obtenidos del Banco de arena 1 se encuentran dentro de los límites de las especificaciones. Considerando que la extracción del banco de materiales de esta muestra es de tipo artesanal, sus propiedades y características son muy aceptables. Y puede considerarse adecuada para su utilización en concreto, si se cumple con los siguientes requerimientos:

- Considerando el tipo de extracción artesanal, el agregado fino debe pasar antes de su utilización para la elaboración de concreto, por un tamizado, haciendo uso de la malla de 9.5 mm (No. 3/8) para obtener una mejor distribución de partículas.
- Luego de realizar el tamizado, se requiere se efectuó el ensayo de granulometría respectivo, para así comprobar que la nueva graduación del material se encuentra dentro de los límites de granulometría de la norma ASTM C-33-08.

Banco de arena 2.

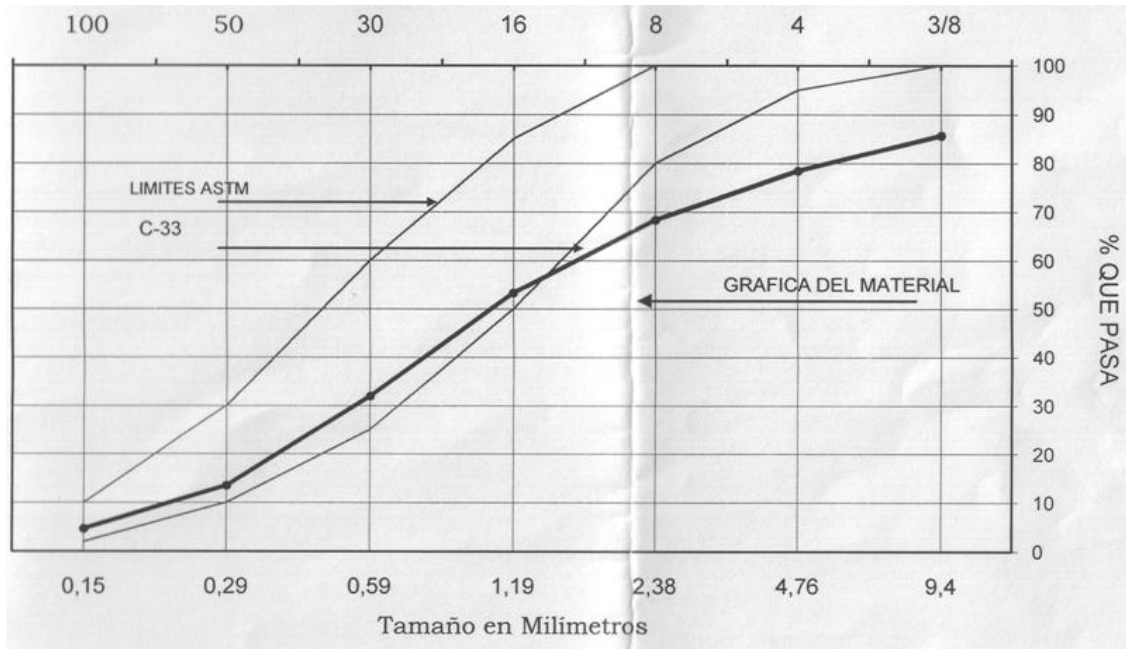
En la tabla XII se encuentran tabulados los porcentajes que pasan cada tamiz de la prueba de granulometría, los mismos se encuentran representados en la curva granulométrica de la figura 13.

Como se puede observar en la mencionada curva, la gráfica del material del Banco de arena 2 muestra un mejor comportamiento con relación al Banco de arena 1. Lo que indica una mejor graduación, sin embargo, la gráfica aún se encuentra fuera de los límites de la norma, no cumpliendo en los tamices 9.5 mm (No. 3/8), 4.75 mm (No. 4), 2.36 mm (No. 8).

Tabla XII. Granulometría de agregado fino, banco de arena 2.

Tamiz No.	% Que pasa
3/8 (9,5 mm)	85,66
4 (4,75 mm)	78,46
8 (2,36 mm)	68,38
16 (1,18 mm)	53,32
30 (600 μm)	31,94
50 (300μm)	13,48
100 (150μm)	4,62

Figura 13. Curva granulométrica de agregado fino, banco de arena 2.



El módulo de finura del Banco de arena 2 es de 3.50, como se indica en la tabla XIII. Según con este valor, se excede el límite de la clasificación de arena gruesa de 3.2. Por lo anterior, se concluye que el agregado fino de este banco se encuentra constituido de arena gruesa y se encuentra fuera de norma. Por consiguiente, este tipo de arena puede producir una mezcla de concreto áspera y difícilmente trabajable, por tanto antieconómica.

Tabla XIII. Características físicas del agregado fino, banco de arena 2.

Peso específico	2,59
Peso unitario (kg/m ³)	1646,15
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1539,45
Porcentaje de vacíos	36,49
Porcentaje de absorción	1,24
Contenido de materia orgánica	1
% Retenido en tamiz 6,35	11,86
% Que pasa tamiz 200	6,64
Módulo de finura	3,50

La tabla XIII contiene los resultados de las características físicas del agregado fino para concreto del Banco de arena 2, obtenidos en conformidad bajo las especificaciones de la norma ASTM C-33-08.

Con respecto al contenido de materia orgánica, según la clasificación colorimétrica fue 1, la norma estipula un máximo de 3, por lo que cumple con la especificación.

El peso específico, el peso unitario, el peso unitario suelto y el porcentaje de absorción, son características propias de cada material, y poseen valores que pueden ser considerados normales para un concreto de peso normal. Se encuentran dentro del rango descrito en el Banco de arena 1 y son considerados aceptables.

En lo concerniente a la sanidad del agregado fino, para determinar la resistencia a la desintegración (prueba de bondad), por la acción de una solución de sulfato de sodio al 24 % de pureza en cinco ciclos, se obtuvo un desgaste referido a graduación de 5.29 por ciento, encontrándose dentro de los límites de la norma ASTM C-88-05, definiendo

una buena calidad del agregado que estará sometido a la acción de los agentes atmosféricos.

Los resultados obtenidos del Banco de arena 2 a excepción de la granulometría, se encuentran dentro de los límites de las especificaciones. La extracción en este banco de materiales también es de tipo artesanal, aunque con un proceso más cuidadoso, lo cual queda demostrado en la curva granulométrica, aun cuando no cumpla con los límites de la norma. No obstante, sus propiedades y características son muy aceptables, y puede considerarse adecuada para su utilización en concreto, si se cumple con los siguientes requerimientos:

- Tomando en cuenta que su extracción es de tipo artesanal, el agregado fino, antes de su utilización para la elaboración de concreto, debe tamizarse haciendo uso de la malla 9.5 mm (No. 3/8) para obtener una mejor distribución de partículas.
- Luego de realizar el tamizado, se requiere se efectuó el ensayo de granulometría respectivo, para así comprobar que la nueva graduación del material se encuentra dentro de los límites de granulometría de la norma ASTM C-33-08.

4.1.1.2. Agregado Grueso

A continuación se presentan los resultados de los ensayos de propiedades físicas de agregado grueso para concreto. La muestra del ensayo proviene de una planta trituradora, se extrajo muestra de agregado de 1"; la localización del banco de material se encuentra descrita en el capítulo 2.

En la tabla XIV se encuentran tabulados los porcentajes que pasan cada tamiz del ensayo de granulometría de agregado grueso para concreto. Los datos se encuentran representados en la curva granulométrica de la figura 14.

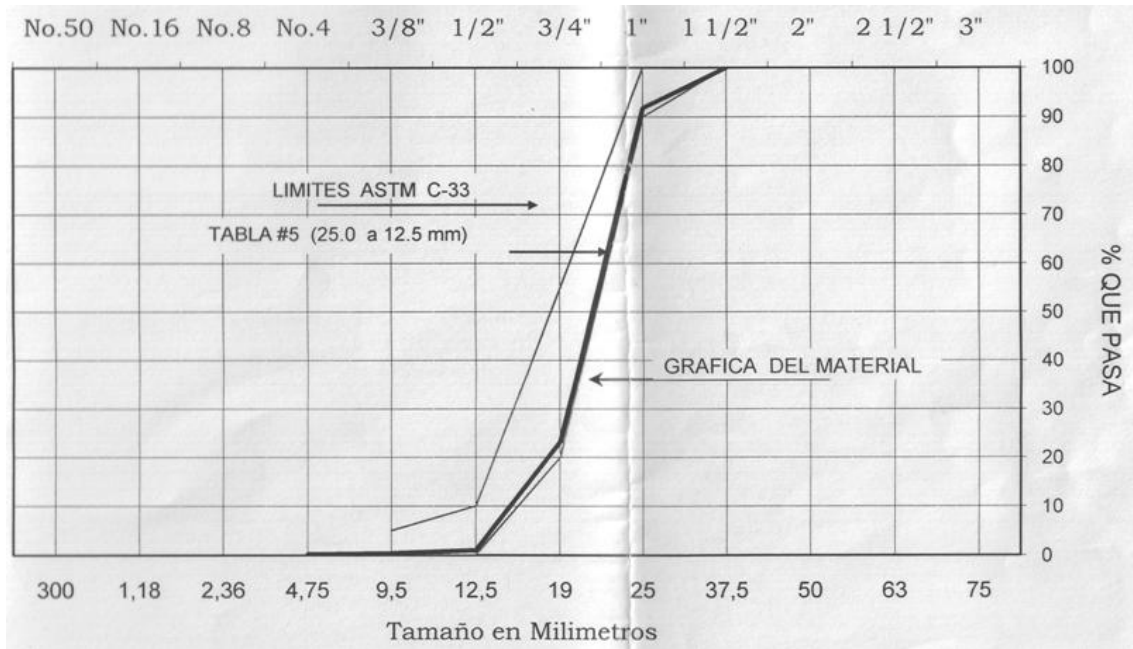
Como puede observarse en la curva antes mencionada, la gráfica del material se encuentra dentro de los límites fijados por la norma ASTM C-33-08, lo cual indica que el material posee una adecuada graduación, y que la planta posee un buen control de calidad en el proceso de trituración para satisfacer las especificaciones estipuladas.

Debido a su buena graduación, se puede obtener un concreto con buena trabajabilidad, lo cual contribuye en obtener un concreto económico.

Tabla XIV. Granulometría de agregado grueso.

Tamiz No.	% Que pasa
2"	100,00
1 1/2"	100,00
1"	91,73
3/4"	23,24
1/2"	1,00
3/8"	0,37
No. 4	0,21
No. 8	0,00

Figura 14. Curva granulométrica de agregado grueso.



La planta de agregado grueso presenta un adecuado manejo, clasificación y limpieza de su producción, desde su material en bruto, hasta su producto final como agregado para concreto. Mantiene su material inocuo, libre de contaminación de materia orgánica o de cualquier otro factor que afecte la calidad de los agregados.

Tabla XV. Características físicas del agregado grueso.

Peso específico	2,65
Peso unitario (kg/m ³)	1488,57
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1400,95
Porcentaje de vacíos	43,9
Porcentaje de absorción	1,46
% Tamiz 200	0,76

La tabla XV, contiene los resultados de las características físicas del banco de agregado grueso para concreto, obtenidos en conformidad bajo las especificaciones de la norma ASTM C-33-08.

El peso específico, el peso unitario, el peso unitario suelto y el porcentaje de absorción, son características propias de cada material. El agregado grueso generalmente tiene niveles de absorción (contenido de humedad a superficie seca saturada) que varían del 0.2% al 4%, y el porcentaje de vacíos varía de cerca del 30% a 45%. Por lo que el peso unitario y el porcentaje de absorción, se encuentran dentro de estos rangos y al igual que el peso específico, poseen valores que pueden ser considerados normales para un concreto de peso normal, y son considerados aceptables.

En referencia a la sanidad del agregado grueso, para determinar la resistencia a la desintegración (ensayo de bondad), por la acción de una solución de sulfato de sodio al 24% de pureza en cinco ciclos, se obtuvo un desgaste referido a graduación del 14.95 por ciento, encontrándose fuera de los límites de la norma ASTM C-88-05, que establece un límite del 12 por ciento, definiendo entonces, una mala calidad del agregado que estará sometido a la acción de los agentes atmosféricos, por lo que al menos para este tamaño de agregado grueso, no se aconseja utilizarlo en estructuras sometidas a la abrasión, como lo son los pavimentos.

En general, los resultados de las propiedades y características obtenidos de los ensayos del agregado grueso para concreto se encuentran dentro de las especificaciones de la norma, y se consideran satisfactorios, por lo que se concluye que el agregado grueso en cuestión es adecuado y aceptable para su uso en la elaboración de mezclas de concreto.

4.1.2. Resultados de la norma ASTM C-131-06

Por el tipo de granulometría obtenido de la norma ASTM C-33-08, el tipo de abrasión aplicada a la muestra fue de tipo A. Se obtuvo un porcentaje de desgaste de 16,20 del ensayo de la máquina de Los Ángeles, la cual se considera aceptable para el uso de la dosificación de un concreto de buena calidad, pues el rango en el que se debe encontrar dicho desgaste es entre el 30 % y 40 %.

4.1.3. Resultados de la norma ASTM C-289-07

El ensayo de reactividad potencial álcali-sílice, le fue aplicado a las muestras de agregado fino del Banco de arena 1, Banco de arena 2, y a la muestra de agregado grueso. Los resultados de los ensayos se detallan en la tabla XVI.

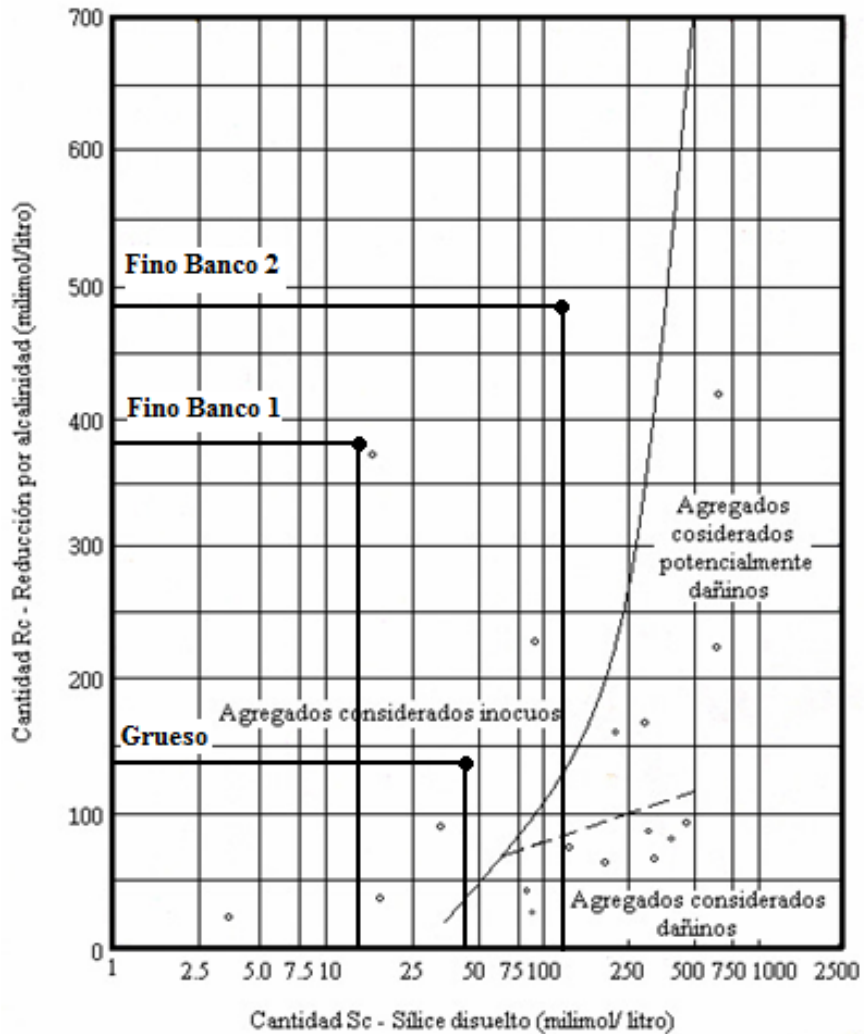
Tabla XVI. Resultado de reactividad potencial álcali-sílice.

Muestra	Sílice disuelto (mmol/L)	Reducción Alcalina (mmol/L)	Resultado
Agregado grueso	46,62 ± 0,12	133,20 ± 1,16	INOCUO
Agregado Fino Banco 1	19,98 ± 0,19	385,12 ± 2,47	INOCUO
Agregado Fino Banco 2	143,19 ± 16,14	492,47 ± 1,94	INOCUO

Como puede apreciarse en la tabla anterior, el resultado de reactividad potencial de las muestras de agregado grueso y agregado fino, son inocuos, lo cual indica que los minerales que poseen las rocas no producirán reacción dañina con los álcalis del Cemento Pórtland.

En la gráfica de la figura 15, puede apreciarse que la intersección de cada uno de los puntos, sílice disuelta y reducción alcalina, de cada una de las muestras de agregado fino y agregado grueso se ubica en el área de los agregados considerados inocuos. Por lo tanto los agregados cumplen con las especificaciones de esta norma y se consideran adecuados para su utilización en mezclas de concreto.

Figura 15. Gráfica de resultados de división entre agregados inocuos y dañinos.



No obstante el alcance de los ensayos, se limita a identificar agregados altamente reactivos, ya que la norma en su tercer inciso aclara que la información obtenida con este ensayo no es completamente fiable en todos los casos.

4.1.4. Resultados de la norma ASTM C-295-08

El análisis petrográfico se realizó haciendo uso del microscopio estereoscópico en el Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas. En dicho lugar se efectuaron los ensayos respectivos de los agregados finos del Banco de arena 1, Banco de arena 2, y del agregado grueso. Dicho ensayo junto a la norma ASTM C-289-07 se complementan, para dictaminar la presencia de rocas altamente reactivas a la reactividad potencial.

4.1.4.1. Agregado fino

Haciendo uso del material tamizado del ensayo de granulometría, tomando cada uno de los retenidos por separado para proceder a efectuar el examen petrográfico, se realizaron los cuarteos y se conto un mínimo de 150 partículas por cada tamiz. Se clasifico el tipo de partículas y minerales que contenía cada malla. Para lo anterior se hizo uso del microscopio estereoscópico. El procedimiento se realizo por separado a las muestras de agregado fino para concreto.

Banco de arena 1.

En la tabla XVII, se muestra la caracterización de partículas de cada tamiz de la muestra del Banco de arena 1, luego en la tabla XVIII se presenta el porcentaje de partículas que componen el agregado fino.

Tabla XVII. Conteo del tipo de partículas que componen el banco de arena 1.

Tipo	Número de partículas por tamiz				
	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100
Andesita	95	57	36	40	36
Brecha cuarzosa	26	31	30	33	0
Cuarzo	22	53	75	68	108
Esquisto	2	3	9	9	6
Conglomerado	2	0	0	0	0
Riolita	3	1	0	0	0
Dacita	0	2	0	0	0
Escoria	0	3	0	0	0
Totales	150	150	150	150	150

Tabla XVIII. Porcentaje de partículas que componen el banco de arena 1.

Tipo	Porcentaje de partículas por tamiz				
	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100
Andesita	63,33	38,00	24,00	26,67	24,00
Brecha cuarzosa	17,34	20,67	20,00	22,00	0
Cuarzo	14,67	35,33	50,00	45,33	72,00
Esquisto	1,33	2,00	6,00	6,00	4,00
Conglomerado	1,33	0	0	0	0
Riolita	2,00	0,67	0	0	0
Dacita	0	1,33	0	0	0
Escoria	0	2,00	0	0	0
Totales	100	100	100	100	100

Figura 16. Distribución de los diferentes tipos de partículas del banco de arena 1.

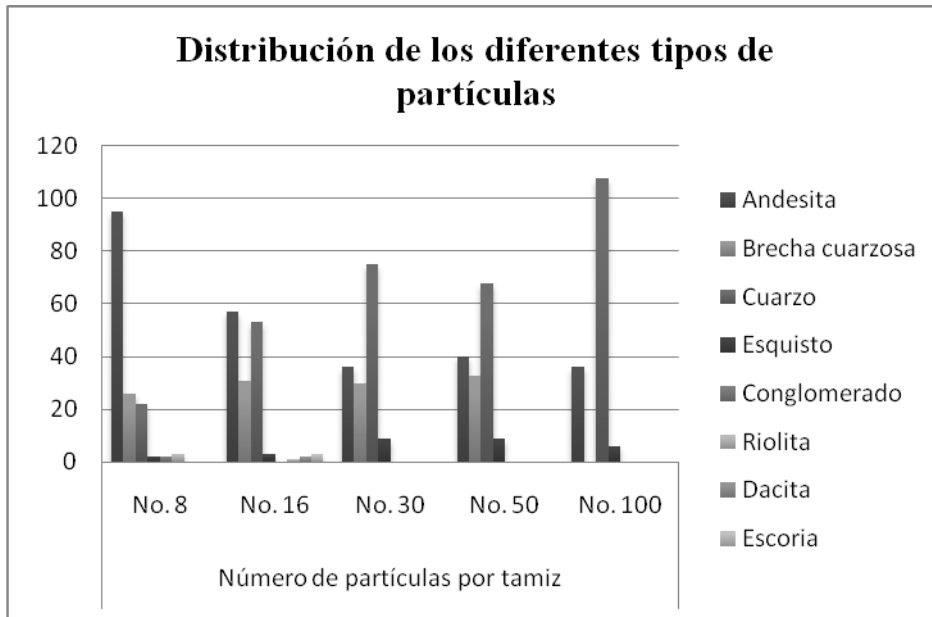
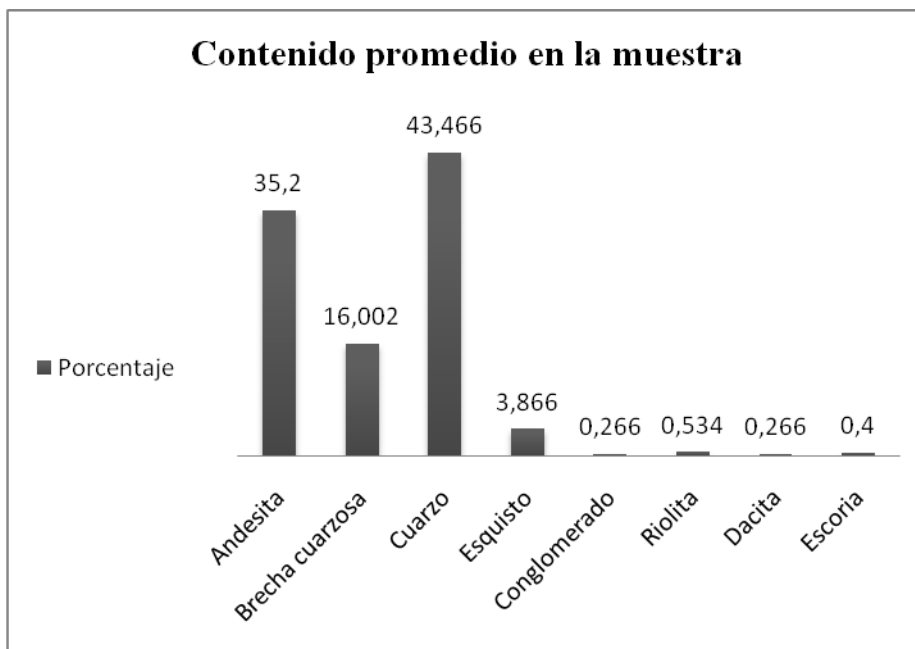


Figura 17. Contenido promedio de los componentes del banco de arena 1.



Los resultados detallados en las tablas XVII y XVIII, muestran los contenidos para cada tamiz, y para una mejor interpretación de este análisis se elaboraron los gráficos de las figura 16 y 17. La primera gráfica muestra la distribución de las partículas en cada tamiz. En la segunda se presentan los porcentajes de contenido total de la muestra. En esta última gráfica se puede observar que el Banco de arena 1, se encuentra conformado principalmente por cuarzo, andesitas y brechas cuarzosas, las primeras dos se encuentran presentes en cada una de las mallas de la granulometría. La muestra también se encuentra integrada en menor proporción por esquisto, conglomerado, riolita, dacita y escoria, las cuales, a excepción del esquisto, no representan ni el uno por ciento del total. Los resultados determinan la presencia de cuarzo (SiO_2) el cual contiene sílice que reacciona con los álcalis del cemento, sin embargo, el cuarzo no excede del 50% del contenido del agregado, por lo que no se considera potencialmente reactivo, y como lo comprueban los resultados de la norma ASTM C-289-07, es un agregado inocuo.

Banco de arena 2.

En la tabla XIX, se muestra la caracterización de partículas de cada tamiz de la muestra del Banco de arena 2, luego en la tabla XX se presenta el porcentaje de partículas que componen el agregado fino.

Tabla XIX. Conteo del tipo de partículas que componen el banco de arena 2.

Tipo	Número de partículas por tamiz				
	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100
Andesita	55	31	27	25	34
Brecha cuarzosa	32	37	34	36	12
Cuarzo	60	81	87	86	100
Esquisto	1	0	0	2	4
Riolita	2	0	0	1	0
Dacita	0	1	2	0	0
Totales	150	150	150	150	150

Tabla XX. Porcentaje de partículas que componen el banco de arena 2.

Tipo	Porcentaje de partículas por tamiz				
	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100
Andesita	36,67	20,67	18,00	16,67	22,67
Brecha cuarzosa	21,33	24,66	22,67	24,00	8,00
Cuarzo	40,00	54,00	58,00	57,33	66,67
Esquisto	0,67	0	0	1,33	2,66
Riolita	1,33	0	0	0,67	0
Dacita	0	0,67	1,33	0	0
Totales	100	100	100	100	100

Figura 18. Distribución de los diferentes tipos de partículas del banco de arena 2.

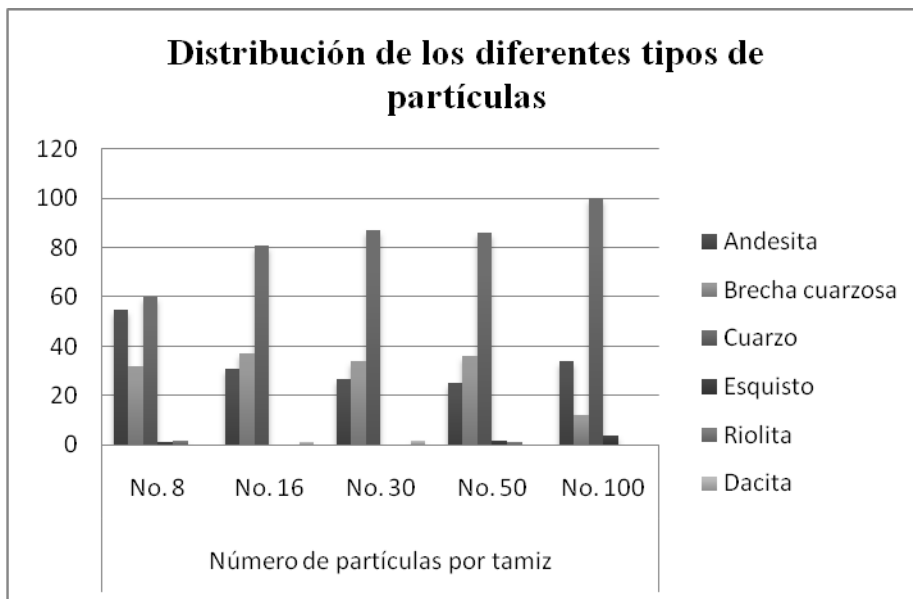
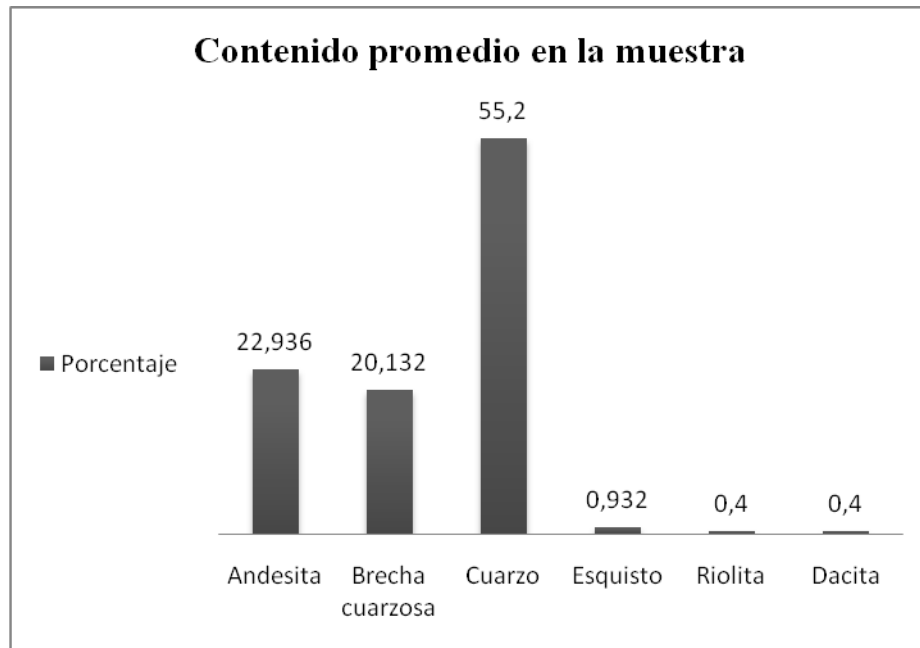


Figura 19. Contenido promedio de los componentes del banco de arena 2.



Los resultados detallados en las tablas XIX y XX, muestran los contenidos para cada tamiz, y para una mejor interpretación de este análisis se elaboraron los gráficos de las figura 18 y 19. La primera gráfica muestra la distribución de las partículas en cada tamiz. En la segunda se presentan los porcentajes de contenido total de la muestra. En esta última gráfica se puede observar que el Banco de arena 2, se encuentra conformado principalmente por cuarzo, andesitas y brechas cuarzosas, estas se encuentran presentes en cada una de las mallas de la granulometría. La muestra también se encuentra integrada en menor proporción por esquisto, riolita y dacita, las cuales, no representan ni el uno por ciento del total.

Los resultados determinan la presencia de cuarzo (SiO_2) el cual contiene sílice que reacciona con los álcalis del cemento, sin embargo, y aun cuando el cuarzo compone en

un 55.2% el contenido total del agregado, los resultados proporcionados por la norma ASTM C-289-07, comprueban que es un agregado inocuo.

4.1.4.2. Agregado grueso

El examen petrográfico del agregado grueso para concreto se realizó en el Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas -CESEM-. Se efectuó el examen respectivo para determinar las características macroscópicas siguientes:

- Tipo: rocas ígneas.
- Subtipo: extrusiva (volcánica).
- Color: gris-gris claro.
- Textura: afanítica y porfídica
- Estructura: No presente
- Nombre: Andesita y Dacita.
- No presenta componentes reactivos dañinos en el concreto.

4.1.4.2.1. Composición química

La roca se caracteriza como una andesita, la cual es una roca volcánica de composición semejante a la de la diorita y estructura porfídica. Es una roca ígnea magmática, de composición intermedia y textura afanítica. Su composición mineral comprende generalmente plagioclasa, piroxeno y/u hornblenda. Frecuentemente están asociados biotita, cuarzo, magnetita y esfena. El álcali feldespato está ausente en esta roca.

5. ELABORACIÓN DE CONCRETO PARA DETERMINAR RESISTENCIAS

El concreto es un material pétreo artificial que se obtiene de la mezcla, en determinadas proporciones, de pasta y agregados minerales. La pasta se compone de cemento y agua, que al endurecerse une a los agregados formando un conglomerado semejante a una roca debido a la reacción química entre estos componentes. Para lograr las mejores propiedades mecánicas, el concreto debe contar con un esqueleto pétreo empacado lo más densamente posible, y con la cantidad de pasta de cemento necesaria para llenar los huecos que éste deje.

El esfuerzo que el concreto puede resistir como material compuesto está determinado principalmente, por las características del mortero (mezcla de cemento, arena y agua), de los agregados gruesos y de la interface entre éstos dos componentes. Debido a lo anterior, morteros con diferentes calidades y agregados gruesos con diferentes características (forma, textura, mineralogía, resistencia, etc.), pueden producir concretos de distintas resistencias.

Los componentes de una mezcla se dosifican de manera que el concreto resultante tenga una resistencia adecuada, una manejabilidad apropiada para su vaciado y un bajo costo. Este último factor obliga a la utilización de la mínima cantidad de cemento (el más costoso de los componentes) que asegure unas propiedades adecuadas. Mientras mejor sea la graduación de los agregados, es decir, mientras menor sea el volumen de vacíos, menor será la pasta de cemento necesaria para llenar estos vacíos.

El concreto mezclado debe ser plástico y manejable, dos cualidades que son sin duda importantes. El término plasticidad es usado para describir una consistencia del

concreto que permite que éste sea fácilmente moldeado, pero con una deformación lenta. La plasticidad del concreto depende de la cantidad de arena y cemento que tiene la mezcla y no de la cantidad de agua. El término manejabilidad, define la facilidad con que la mezcla pueda ser colocada adecuadamente.

Adicionalmente al agua requiera para la hidratación se necesita agua para humedecer la superficie de los agregados. A medida que se adiciona agua, la plasticidad y fluidez de la mezcla aumentan, pero su resistencia disminuye debida al mayor volumen de vacíos creados por el agua libre. Para reducir el agua libre y mantener la manejabilidad, es necesario agregar cemento; de esta manera, desde el punto de vista de la pasta de cemento, la relación agua-cemento es el factor principal que controla la resistencia del concreto. Para una relación agua-cemento dada se selecciona la mínima cantidad de cemento que asegura la manejabilidad deseada.

La mezcla que debe usarse dependerá de la naturaleza del trabajo, de la forma y tamaño del agregado grueso y del agregado fino, siendo necesario ensayar varias mezclas hasta obtener una que tenga la consistencia, resistencia y otras propiedades requeridas con una cantidad mínima de pasta, sin variar la relación agua-cemento.

La consistencia del concreto se mide con mayor frecuencia mediante el ensayo de asentamiento. La prueba se realiza con un molde metálico con la forma de un cono truncado de 12 pulgadas de altura, el cual se llena cuidadosamente con concreto fresco de una manera especificada. Una vez lleno el molde, éste se levanta y el asentamiento del concreto se mide como la diferencia de altura entre el molde y la pila de concreto. El asentamiento es una buena medida de la cantidad total de agua en la mezcla y debe mantenerse tan bajo como sea compatible con la manejabilidad.

La principal medida de la calidad estructural del concreto es su resistencia a la compresión. Los ensayos para medir esta propiedad se realizan sobre especímenes

cilíndricos de altura igual a dos veces el diámetro, usualmente 6 X 12 pulgadas. Los moldes impermeables de esta configuración se llenan con concreto durante la operación de colocación. Los cilindros se curan generalmente por 28 días y posteriormente se ensayan en el laboratorio a una tasa de carga especificada. La resistencia a la compresión obtenida de tales ensayo se conoce como resistencia del cilindro f'_c y es la principal propiedad especificada para propósitos de diseño.

Para asegurar una resistencia adecuada del concreto a pesar de la dispersión inevitable de las dosificaciones, el Código ACI estipula que la calidad de concreto es satisfactoria si cumple lo siguiente:

- Ningún resultado de un ensayo de resistencia individual (el promedio de una par de ensayos sobre cilindros) está por debajo del valor de f'_c requerido en más de 3.5 MPa.
- El promedio de todos los conjuntos de tres ensayos de resistencia consecutivos es igual o mayor al valor requerido de f'_c .

Es necesario dosificar el concreto de manera que su resistencia media usada como base para la selección de proporciones satisfactorias, sobrepase la resistencia requerida f'_c en una cantidad suficiente para garantizar el cumplimiento de los dos requisitos mencionados.

Para efectos demostrativos del comportamiento del concreto elaborado con las muestras de los agregados pétreos que son objeto de este estudio, se elaboraron dos diseños teóricos de mezcla de concreto para dos distintas resistencias a la compresión. Para las dosificaciones fueron requeridas las características de los agregados fino y grueso, obtenidas del análisis de la norma ASTM C-33-08.

5.1. Diferentes diseños de mezcla

Con los resultados obtenidos del análisis completo de agregados fino y grueso contenidos en la norma ASTM C-33-08, se realizaron dos diseños teóricos de mezcla, siendo el primero un concreto de 3,000 psi (210 kg/cm²), y el segundo un concreto de 4,000 psi (280 kg/cm²), utilizando cemento UGC. Los diseños de mezcla están sugeridos para agregados en condición seco-saturados.

Para evaluar los diseños propuestos, se obtuvieron 9 cilindros de cada diseño de mezcla, para su control de resistencia con el ensayo a compresión, el cual se realizó en el Centro de Investigaciones de Ingeniería. Dichos ensayos se realizaron a edades de 3, 7 y 28 días, tomando 3 cilindros para cada edad.

La norma estipula, que los cilindros deben alcanzar un 50% de la resistencia a los 3 días, 75% de la resistencia a los 7 días y 100% de la resistencia a los 28 días.

A continuación se detallan los dos diseños teóricos de mezcla realizados, especificando para cada uno de ellos las proporciones de materiales para la elaboración del concreto. Dichas proporciones se brindan en peso, y volumen, en litros y en kg/m³. También se describen los resultados de resistencia de cilindros de concreto, para lo cual se realizó el ensayo de la norma ASTM C-39-05. El asentamiento obtenido en cada diseño de mezcla fue de 8 cm.

Diseño de mezcla 1 $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Para la elaboración de este diseño de mezcla se utilizó el agregado fino que pertenece al Banco de arena 1. En la tabla XXI se describen los datos necesarios para la mezcla de concreto normal.

- Resistencia nominal: 210 kg/cm²
- Resistencia promedio requerida: 245 kg/cm²
- Relación Agua/Cemento: 0.57

Tabla XXI. Datos de la mezcla para concreto normal $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

Materiales	Proporción en peso	Proporción en volumen (Litros)	Proporción en volumen (kg/m³)
Cemento	1	1 Saco	350,87
Arena	2,19	60,46	769,62
Piedrín / Grava	2,79	84,64	979,51
Agua libre	0,57	24,23	200,00

En la tabla XXII se tabulan los resultados del ensayo a compresión, en la cual se detallan las resistencias alcanzadas de los cilindros de concreto a las edades respectivas. Dichas resistencias alcanzan un 48% a la edad de 3 días, un 65% a los 7 días y 96% de la resistencia a los 28 días. Lo cual demuestra que no se alcanzo la resistencia requerida a la edad máxima de 28 días, pero se debe recordar que el concreto sigue adquiriendo resistencia a edades mayores de los 28 días.

Este resultado puede deberse a una excesiva cantidad de aire incorporado, el cual afecta la resistencia nominal del diseño de mezcla. Para su corrección se necesita mejorar la granulometría de los agregados finos, a fin de reducir el porcentaje de gruesos contenidos en las muestras.

Tabla XXII. Resistencia de cilindros de concreto normal $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

No. Cilindro obra	No. Cilindro laboratorio	Edad en días	Peso en kg	Diámetro en cm	Resistencia kg/cm^2	Resistencia lb/plg^2
1	RT1-1	3	12,531	15,257	112,894	1605,72
2	RT1-2	3	12,665	15,133	100,872	1434,72
3	RT1-3	3	12,758	15,197	93,781	1333,86
4	RT1-4	7	12,735	15,402	121,735	1731,45
5	RT1-5	7	12,636	15,137	150,989	2147,55
6	RT1-6	7	12,854	15,227	143,231	2037,21
7	RT1-7	28	12,715	15,130	201,833	2870,71
8	RT1-8	28	12,762	15,163	213,505	3036,73
9	RT1-9	28	12,809	15,237	191,554	2724,50

Diseño de mezcla 2 $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$

Para la elaboración de este diseño de mezcla se utilizo el agregado fino que pertenece al Banco de arena 2. En la tabla XXIII se describen los datos necesarios para la mezcla de concreto normal.

Resistencia nominal: 280 kg/cm^2

Resistencia promedio requerida: 315 kg/cm^2

Relación Agua/Cemento: 0.50

Tabla XXIII. Datos de la mezcla para concreto normal $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$.

Materiales	Proporción en peso	Proporción en volumen (Litros)	Proporción en volumen (kg/m^3)
Cemento	1	1 Saco	400,00
Arena	1,87	51,63	748,00
Piedrín / Grava	2,38	72,20	952,00
Agua libre	0,50	21,75	200,00

En la tabla XXIV se tabulan los resultados del ensayo a compresión, en la cual se detallan las resistencias alcanzadas de los cilindros de concreto a las edades respectivas.

Tabla XXIV. Resistencia de cilindros de concreto normal $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$.

No. Cilindro obra	No. Cilindro laboratorio	Edad en días	Peso en kg	Diámetro en cm	Resistencia kg/cm^2	Resistencia lb/plg^2
1	RT2-1	3	12,760	15,240	129,304	1839,12
2	RT2-2	3	12,900	15,293	92,599	1317,05
3	RT2-3	3	12,917	15,140	123,459	1755,99
4	RT2-4	7	12,936	15,237	155,482	2211,45
5	RT2-5	7	12,725	15,240	167,847	2387,32
6	RT2-6	7	12,698	15,257	166,240	2364,46
7	RT2-7	28	12,786	15,232	236,487	3363,61
8	RT2-8	28	12,723	15,102	255,771	3637,88
9	RT2-9	28	12,885	15,133	229,484	3263,99

Las resistencias de los cilindros ensayados alcanzaron a la edad de 3 días un 41% de la resistencia requerida, un 58% a los 7 días y un 86% a los 28 días, demostrando con ello una deficiencia en la resistencia nominal requerida para el diseño de mezcla. La causa de estos resultados puede deberse a una excesiva cantidad de aire incorporado, que reduce la resistencia nominal requerida. Para su corrección se necesita mejorar la granulometría de los agregados finos, a fin de reducir el porcentaje de gruesos contenidos en las muestras.

6. MÉTODO DE DIVULGACIÓN DE RESULTADOS

La divulgación de los resultados constituye la etapa de culminación de la actividad investigativa. En ella se hacen públicos los hallazgos obtenidos, y el conocimiento alcanzado pasa a ser patrimonio de una comunidad especializada y del público en general.

El método más común de divulgación especializada de los resultados de investigaciones es mediante su publicación escrita en forma de libros, para las autoridades, método que será utilizado para la difusión de este trabajo de graduación. También se empleará una versión digital del archivo para ser difundida en discos compactos y a través de bibliotecas virtuales de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos.

El alcance de la divulgación de resultados llega a las unidades académicas y sectores interesados de la construcción, así como a entidades del estado que requieran de los datos finales del análisis de los bancos de agregados para concreto del departamento de Chiquimula.

En lo concerniente a lo académico, dichos resultados son de gran utilidad para la elaboración de material didáctico relacionado con el tema de los agregados para concreto. Por otro lado este tipo de análisis puede ser integrado en una recopilación que incluyan bancos de materiales del resto de departamentos de la república. Al sector de la construcción, este tipo de datos le permite recabar información de las características de los agregados pétreos que utilizará para el desarrollo de sus proyectos. A las entidades estatales relacionadas con la construcción, esta información le permite fijar

parámetros de control de calidad hacia las empresas constructoras que ejecuten proyectos constructivos para el estado.

Por ello, el objetivo de la divulgación de resultados contribuye a mantener al alcance los parámetros de las características físicas, mecánicas, petrográficas y químicas necesarias para la elaboración de concretos que son utilizados en la construcción de todo tipo de edificaciones, específicamente en el departamento de Chiquimula. A su vez se pretende incorporar un mejor control de calidad en los bancos de materiales, haciendo uso de los ensayos de laboratorio que se presentan en este trabajo de graduación, y de otros que puedan ser complementarios, siguiendo las especificaciones de la norma ASTM.

Por lo tanto, la difusión de estos análisis se realizará en los canales académicos respectivos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos, para contribuir con el enriquecimiento de material didáctico e información técnica para sus cátedras e investigaciones. En la municipalidad del municipio de Chiquimula, región a la cual pertenecen los bancos de agregados para concreto que son objeto de este estudio, proporcionando información de la importancia de la calidad de sus materiales de construcción, tanto para su comunidad como para su unidad técnica. Y a la planta de trituración de agregado grueso, la cual forma parte del sector de la construcción, y a la cual este tipo de análisis le proporcionará información de gran utilidad para sus controles de calidad.

CONCLUSIONES

1. Las características físicas, mecánicas y químicas de los agregados pétreos influyen directamente en las propiedades del concreto, por lo que no es adecuado considerar a los agregados como componentes inertes de la mezcla. Es necesario tomar en cuenta dichas características para obtener un concreto de calidad. Los bancos de agregado fino y agregado grueso del departamento de Chiquimula, objetos de este estudio cuentan en general con características físicas, mecánicas y químicas favorables y son adecuados para su utilización en mezclas de concreto.
2. Los resultados obtenidos del Banco de arena 1, no cumple con las especificaciones de granulometría de la norma ASTM C-33-08, su graduación no se encuentra dentro de los límites. Esto se debe a que su extracción se realiza de forma artesanal, sin ningún control de calidad. Sin embargo el resto de características del agregado fino son satisfactorias, y por lo tanto, se considera apto para su utilización en la elaboración de concreto. Debiéndose realizar un mejor tamizado, utilizando la malla 9.5 mm (No. 3/8) para lograr obtener un análisis granulométrico aceptable. El Banco de arena 2, presenta características muy aceptables, exceptuando la granulometría que se encuentra fuera de norma, que aunque presenta una mejor graduación que el Banco de arena 1, aun se necesita mejorar el tamizado, haciendo uso de la malla 9.5 mm (No. 3/8) para obtener resultados satisfactorios. Realizando lo anterior, se considera al agregado fino, como adecuado para la elaboración de concreto. El agregado grueso, posee características con valores que se encuentran dentro de los rangos de agregados para concreto de peso normal. Cumple especificaciones de la norma ASTM C-33-08 y muestra una adecuada granulometría. Esto debido a que su elaboración se realiza en planta trituradora, satisfaciendo los

requerimientos de la norma en cuanto al agregado se refiere. Por lo anteriormente descrito el agregado grueso es considerado aceptable para su uso.

3. Los resultados de petrografía y de reactividad potencial (ASTM C-295-08 y ASTM C-289-07, respectivamente) indican que los agregados analizados son inocuos, y no presentan sustancias o elementos altamente reactivos. Por lo cual, los agregados no reaccionaran con los sulfatos contenidos en el Cemento Pórtland. Es preferible no utilizar rocas con alto contenido de sílice (SiO_2), es decir, que su composición no exceda de un 50% de dicho contenido; si se excede este porcentaje, existe la probabilidad de que ocurra una reacción con los álcalis (Na, K) contenidos en el cemento.
4. Los agregado finos, presentan arenas gruesas en su composición, (según su módulo de finura), también puede observarse una mala distribución de partículas según las curvas granulométricas, lo cual se refleja en el porcentaje de vacíos y repercute en una excesiva cantidad de aire incorporado a la mezcla de concreto, lo cual reduce su resistencia nominal. Los resultados de los ensayos de laboratorio para los cilindros de concreto, de los diseños de mezcla de resistencia nominal de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$, obtuvieron un porcentaje de 96% y 86%, respectivamente, de resistencia última a una edad de 28 días. Lo cual no alcanza el 100% estipulado por la norma, por lo que se requiere efectuar correcciones a la granulometría de los agregados finos, lo cual repercutirá en los diseños de mezcla, para alcanzar una mejor dosificación.

RECOMENDACIONES

1. Aun cuando se cuente con un registro de experiencias aceptables en la utilización de los agregados para concreto, es necesario efectuar un análisis completo de las características de dichos materiales, basándose en lo estipulado en la norma ASTM C-33-08; esto con el objetivo de evaluar la calidad de los agregados pétreos, e implementando así, controles de calidad en la elaboración de concreto.
2. Debe implementarse un adecuado proceso de tamizado para la extracción de material de los bancos de agregados finos, para lo cual se debe hacer uso del tamiz 9.5 mm (No. 3/8), con el propósito de obtener una graduación de partículas que beneficie la resistencia, durabilidad y costo de la elaboración del concreto.
3. Si el tamaño máximo del agregado grueso es muy grande, y el diseño de mezcla, no cumple con la resistencia especificada, puede mezclarse partículas de otros tamaños a fin de reducir el porcentaje de vacíos del agregado grueso, reduciendo así la pasta arena-cemento, y obteniendo un concreto homogéneo y de buenas proporciones. El porcentaje del nuevo tamaño de agregado a utilizar, debe ser no mayor del 40% de la proporción del agregado grueso, del diseño de mezcla que se desea corregir. El tamaño máximo del agregado grueso se debería seleccionar a manera de optimizar la trabajabilidad y minimizar el contenido de agua.
4. El estudio de la reactividad potencial álcali-sílice en los agregados para concreto, es un parámetro crítico en cuanto a la durabilidad del concreto, sobre todo en estructuras como presas de centrales hidroeléctricas, tanques de almacenamiento y otras construcciones muy similares; ya que la expansión y posible

agrietamiento provocado por esta reacción, repercute en el debilitamiento estructural y acorta la vida útil de estas edificaciones. Por consiguiente debe tomarse en cuenta efectuar este tipo de análisis, al menos en esta clase de construcciones.

5. Al obtenerse una granulometría de agregados finos dentro de los límites de la norma, se podría obtener una reducción de aire incorporado al diseño de mezcla, incrementando con ello la resistencia requerida en el ensayo de cilindros de concreto. Si esto no fuese suficiente, es necesario añadir un porcentaje de agregado grueso de menor tamaño al de la muestra, para reducir vacíos en la mezcla, e incrementar con ello la resistencia del concreto.

BIBLIOGRAFÍA

1. ASTM *Book of standards. Standard specification for concrete aggregates.* USA: ASTM C-33-01 Vol. 04.02. 2002.
2. Bruhns, W. **Petrografía.** (Colección Labor). Barcelona-Buenos Aires: Editorial Labor, S.A. s.a. 195pp.
3. Chan Yam, José Luis y otros. “Influencia de los agregados pétreos en las características del concreto”. **Ingeniería. Facultad de ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán.** (México) (7-2): 39. 2003
4. Kosmatka, Steven H. y otros. **Diseño y control de mezclas de concreto.** EE.UU: Portland Cement Association (PCA), 2004. 468pp.
5. Mehta, Kumar y Paulo Monteiro. **Concreto: estructura, propiedades y materiales.** México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. (IMCYC), 1998. 381pp.
6. Nilson, Arthur H. **Diseño de estructuras de concreto.** Duodécima edición. Colombia: McGraw-Hill Interamericana, S.A. 2005. 722pp.
7. Ordoñez Gabriel, Mejicanos Dilma y Alvarado Paulino. **Manual de laboratorio del curso de materiales de construcción.** Guatemala: 2002. 145pp.
8. Ortiz de León, Evelyn Elizabeth. Calidad de agregados producidos en Guatemala. Trabajo de graduación Ing. Civil. Guatemala, universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2004. 71pp.
9. Salguero Girón, Raúl Armando. Examen de calidad de agregados para concreto de dos bancos en la Ciudad de Quetzaltenango. Trabajo de graduación Ing. Civil. Guatemala, universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2004. 68pp.
10. Valdez, Pedro y otros. “Concretos fluidos con altos volúmenes de ceniza volante”. **Ciencia. Universidad Autónoma de Nuevo León.** (México) (10): 49. 2007.

APÉNDICE

A continuación se presentan fotografías de los dos bancos de materiales de los cuales se extrajeron las muestras que fueron analizadas en esta investigación. Seguidas de dichas fotografías, se muestran los informes de los ensayos de agregado finos y gruesos realizados en el Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Figura 20. Fotografía del ingreso al banco de materiales 1.



Figura 21. Fotografías del proceso de extracción del banco de materiales 1.



Figura 22. Fotografía del ingreso al banco de arena 2, del banco de materiales 2.



Figura 23. Fotografías de la extracción y almacenamiento del banco de arena 2.



Figura 24. Fotografía del ingreso al banco de agregado grueso, del banco de materiales 2



Figura 25. Fotografías de la maquinaria utilizada para la extracción en bruto del agregado grueso.



Figura 26. Fotografía del banco de agregado grueso, del banco de materiales 2.



Figura 27. Fotografías de la planta trituradora de agregado grueso, del banco de materiales 2.



Figura 28. Informe de la norma ASTM C-33-08 del banco de arena 1.

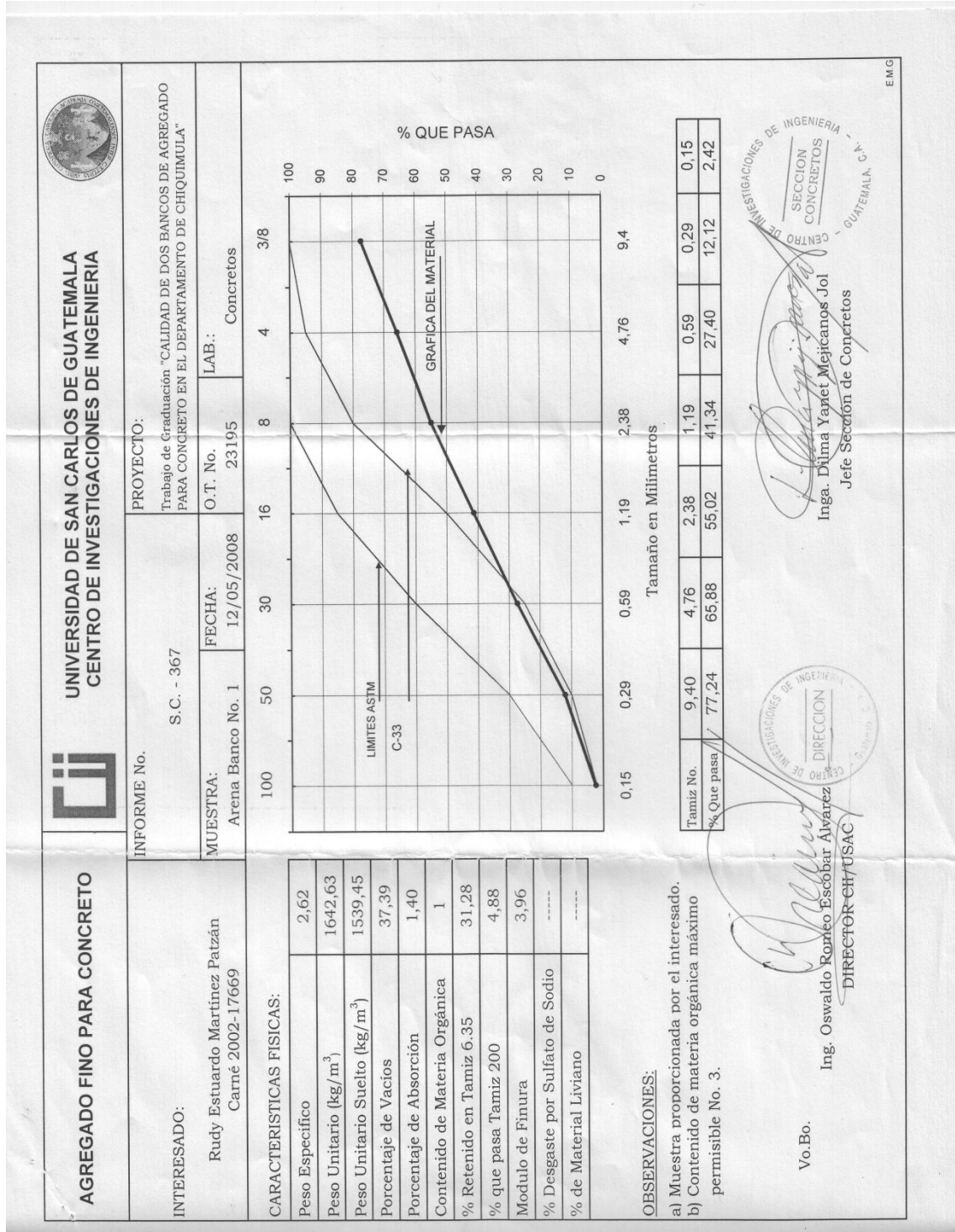


Figura 29. Informe de la norma ASTM C-33-08 de la arena 2, del banco de materiales 2.

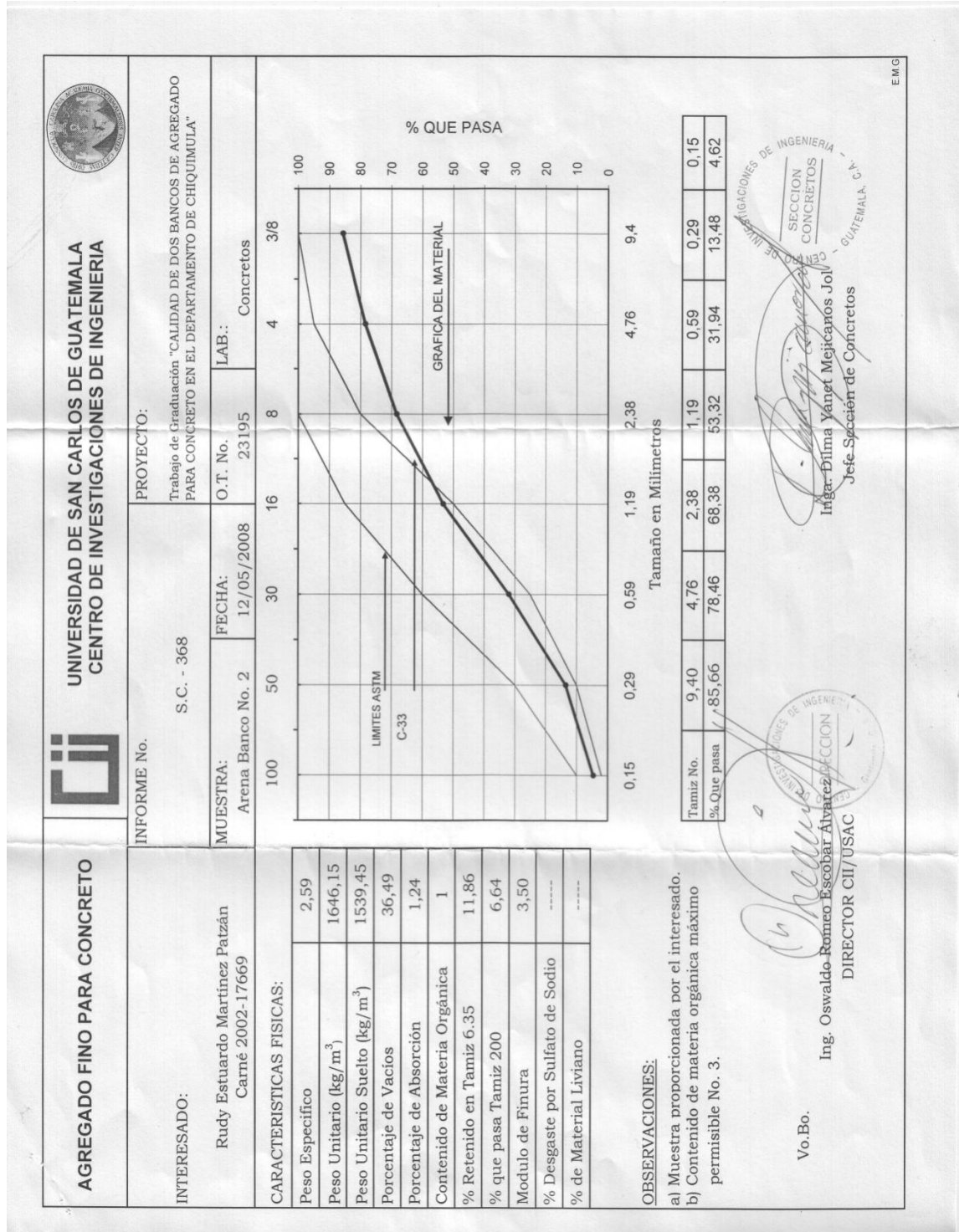


Figura 30. Informe de la norma ASTM C-33-08 del agregado grueso, del banco de materiales 2.

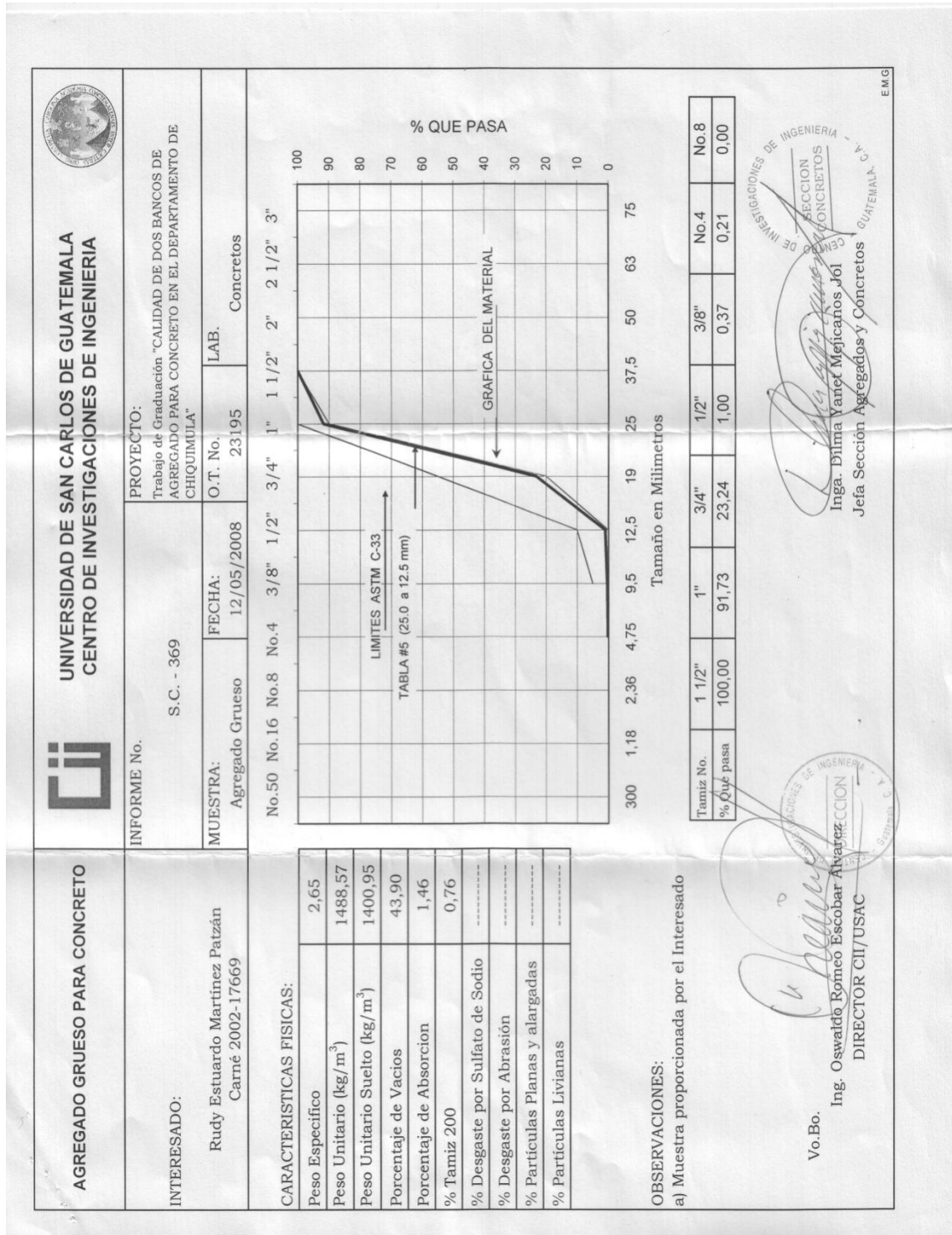




Figura 31. Informe de la norma ASTM C-131-06 del agregado grueso, del banco de materiales 2.



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



INFORME No. S.C.409

O.T. No. 23195

INTERESADO: Rudy Estuardo Martínez Patzán - Carné 2002-17669

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

PROYECTO: Trabajo de Graduación "CALIDAD DE DOS BANCOS DE AGREGADOS PARA CONCRETO EN EL DEPTO. DE CHIQUIMULA"


PROCEDENCIA: Chiquimula.

FECHA: 26 de mayo de 2008.

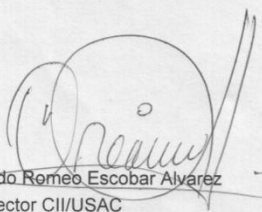
REFERENCIAS	MUESTRAS			
	1	2	3	4
1. Norma de Ensayo	ASTM C-131	*****	*****	*****
2. Graduación	"A"	*****	*****	*****
3. % Desgaste	16,20	*****	*****	*****

OBSERVACIONES: a) Muestra proporcionada por el interesado.

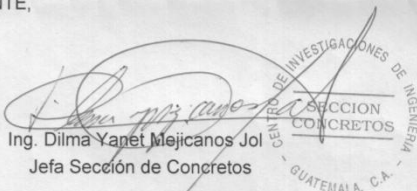
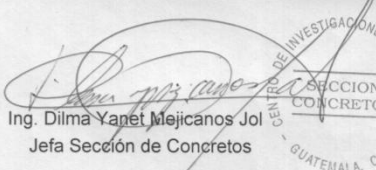
ATENTAMENTE,



Vo.Bo.



Ing. Oswaldo Romeo Escobar Alvarez
Director CII/USAC





Ing. Dilma Yajet Mejicanos Jol
Jefa Sección de Concretos


m.c.

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>

Figura 32. Informe de desgaste por sulfato de sodio ASTM C-88-05 del banco de arena 1.



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



INFORME No. S.C.- 404

O.T. No. 23196

INTERESADO: Rudy Estuardo Martínez Patzán - carné No. 2002-17669

ASUNTO: Prueba de Bondad en Agregado Fino

Material: Agregado Fino Banco 1

Proyecto: Trabajo de Graduación "CALIDAD DE DOS BANCOS DE AGREGADOS PARA CONCRETO EN EL DEPTO. DE CHIQUIMULA"

Procedencia: Chiquimula

Solución utilizada: Sulfato de Sodio

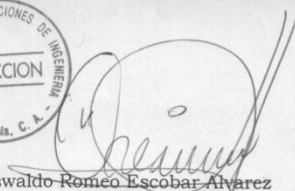
FECHA: 26 de mayo de 2008

PASA	TAMAÑOS RETENIDO	Graduación por Fracción	PESO DE FRACCION		% Desgaste	Desgaste referido a Graduación
			Antes de Ensayo	Después de Ensayo		
No. 100 (149)		-----	-----	-----	-----	-----
No. 50 (297)	No. 100 (149)	9,70	100,00	98,30	1,70	0,16
No. 30 (595)	No. 50 (297)	15,28	100,00	98,20	1,80	0,28
No. 16 (1.19mm)	No. 30 (595)	13,94	100,00	99,00	1,00	0,14
No. 8 (2.38mm)	No. 16 (1.19mm)	13,68	100,00	97,50	2,50	0,34
No. 4 (4.76mm)	No. 8 (2.38mm)	10,86	100,00	94,30	5,70	0,62
3/8" (9.52mm)	No. 4 (4.76mm)	34,12	-----	-----	-----	-----
T O T A L E S :		97,58	500,00	487,30	-----	1,54

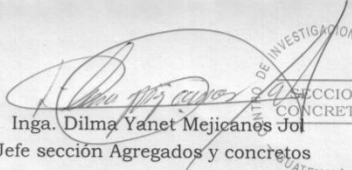
OBSERVACIONES:

a) Muestra proporcionada por el interesado.

Atentamente,



Vo.Bo.
Ing. Oswaldo Romeo Escobar Alvarez
Director CII/USAC




Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
Jefe sección Agregados y concretos


m.c

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

Figura 33. Informe de desgaste por sulfato de sodio ASTM C-88-05 de la arena 2, del banco de materiales 2.



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



INFORME No. S.C.- 405 O.T. No. 23196


INTERESADO: Rudy Estuardo Martínez Patzán - carné No. 2002-17669
 ASUNTO: Prueba de Bondad en Agregado Fino
 Material: Agregado Fino Banco 2
 Proyecto: Trabajo de Graduación "CALIDAD DE DOS BANCOS DE AGREGADOS PARA CONCRETO EN EL DEPTO. DE CHIQUIMULA".
 Procedencia: Chiquimula
 Solución utilizada: Sulfato de Sodio


FECHA: 26 de mayo de 2008.

PASA	TAMAÑOS RETENIDO	Graduación por Fracción	PESO DE FRACCION		% Desgaste	'Desgaste referido a Graduación
			Antes de Ensayo	Después de Ensayo		
No. 100 (149)		-----	-----	-----	-----	-----
No. 50 (297)	No. 100 (149)	8,86	100,00	92,60	7,40	0,66
No. 30 (595)	No. 50 (297)	18,46	100,00	95,10	4,90	0,90
No. 16 (1.19mm)	No. 30 (595)	21,38	100,00	93,90	6,10	1,30
No. 8 (2.38mm)	No. 16 (1.19mm)	15,06	100,00	89,40	10,60	1,60
No. 4 (4.76mm)	No. 8 (2.38mm)	10,08	100,00	91,80	8,20	0,83
3/8" (9.52mm)	No. 4 (4.76mm)	21,54	-----	-----	-----	-----
T O T A L E S :		95,38	500,00	462,80	-----	5,29

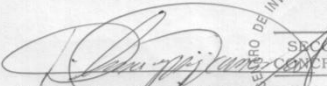
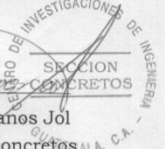
OBSERVACIONES:

a) Muestra proporcionada por el interesado.



Vo.Bo. 
 Ing. Oswaldo Romeo Escobar Alvarez
 Director CII/USAC

Atentamente,





Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
 Jefe sección Agregados Y concretos


m.c

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>

Figura 34. Informe de desgaste por sulfato de sodio ASTM C-88-05 del agregado grueso del banco de materiales 2.



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



INFORME No. S.C. - 396

O.T.No. 23196

INTERESADO: Rudy Estuardo Martínez Patzán - Carné No. 2002-17669


ASUNTO: Ensayo de bondad en Agregado grueso
 Material: Agregado Grueso
 Proyecto: Trabajo de Graduación "CALIDAD DE DOS BANCOS DE AGREGADOS PARA CONCRETO EN EL DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA"
 Procedencia: Chiquimula
 Solución utilizada: Sulfato De Sodio

FECHA: 26 de mayo 2008.

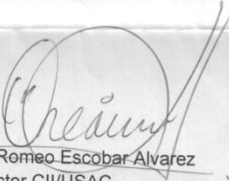
TAMANOS		Graduación por fracción	Antes de ensayo	Después de ensayo	% de Desgaste	Desgaste ref. a Graduación
PASA	RETENIDOS					
2 1/2" (63.5 mm)	1 1/2" (38.1 mm)	-----	-----	-----	-----	-----
1 1/2" (38.1 mm)	3/4" (19.05 mm)	76,76	1501,1	1269,70	15,42	11,83
3/4" (19.05 mm)	3/8" (9.52 mm)	22,87	1007,1	871,0	13,51	3,09
3/8" (9.52 mm)	No. 4 (4.76 mm)	0,16	300,1	243,9	18,73	0,03
	Fondo	0,21	-----	-----	-----	-----
TOTALES		100,00	2808	-----	-----	14,95

OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el interesado.


ATENTAMENTE,



Vo.Bo.
Ing. Oswaldo Romeo Escobar Alvarez
Director CII/USAC




Inga. Dilma Yapet Mejicanos Jol
Jefa Sección de Concretos




m.c.

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>

Figura 35. Informe de la norma ASTM C-295-08 de agregado grueso y fino.



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



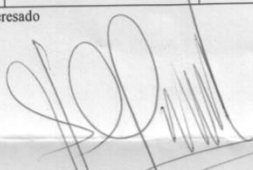
O.T. No 23 197
No. Informe Lab. 048-08

Interesado: Rudy Estuardo Martínez Patzán
 Muestra: 1 muestra de Agregado grueso y 2 Muestras de agregado Fino Banco de Chiquimula
 Fecha: Guatemala, 25 de agosto de 2008


Determinación de la reactividad potencial de 1 muestras de arena según norma ASTM C-289.


MUESTRA*	Sílice disuelto (mmol/L)	Reducción Alcalina (mmol/L)	RESULTADO
Agregado Grueso	46.62 ± 0.12	133.20 ± 1.16	INOCUO
Agregado Fino Banco 1	19.98 ± 0.19	385.12 ± 2.47	INOCUO
Agregado Fino Banco 2	143.19 ± 16.14	492.47 ± 1.94	INOCUO

* Muestra proporcionada por el interesado




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





Vo.Bo. Ing. Oswaldo Romeo Escobar Alvarez
Director
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>

Figura 36. Gráfica del informe de la norma ASTM C-295-08 de agregado grueso y fino.

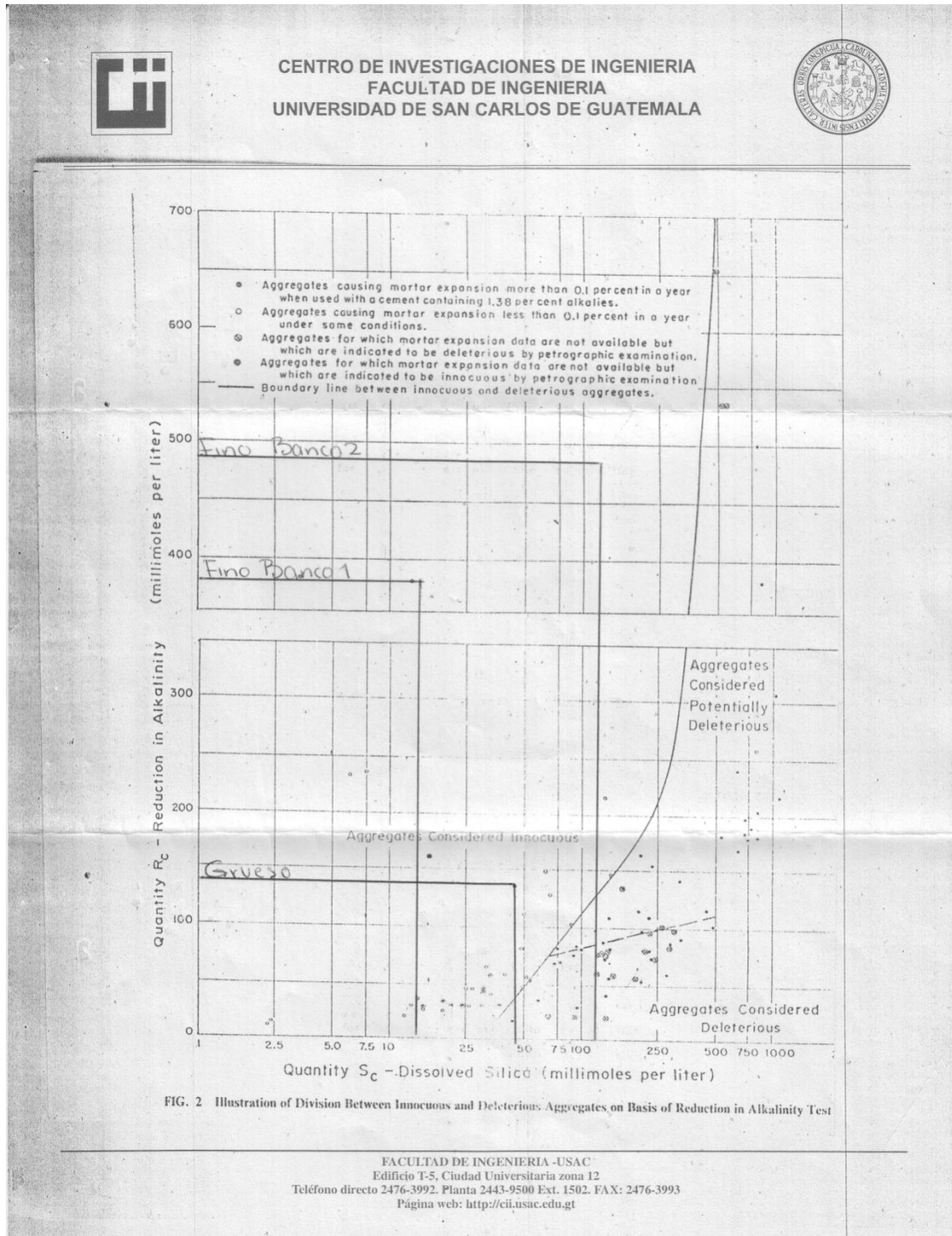




Figura 37. Informe del diseño teórico de mezcla $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$.



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



O.T. No.23358

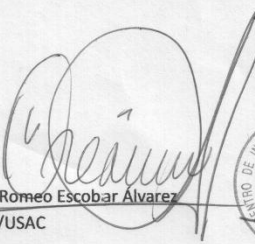
INFORME No. S.C. 493

INTERESADO: Rudy Estuardo Martínez Patzán-Carné No. 2002-17669
PROYECTO: Trabajo de Graduación CALIDAD DE DOS BANCOS DE AGREGADOS PARA CONCRETO EN EL DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA
DIRECCION: 8, AV. 17-25, zona 12 Col. Reformita
ASUNTO: Diseño Teórico de Mezcla de Concreto.
FECHA: 20 de Junio de 2 008


1. **GENERALIDADES**
 - 1.1 El interesado solicito a este Centro de Investigaciones, el análisis completo a los agregados fino y grueso, del banco 1 de materiales de Chiquimula, para realizar un diseño teórico de mezcla de concreto de 3 000 psi (210 kg/cm²), con Cemento UGC
2. **CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS**
 - 2.1 Análisis de agregado fino. INFORME No. S.C. – 367
 - 2.2 Análisis de agregado grueso. INFORME No. S.C. – 369
3. **DISEÑO DE MEZCLA**
 - 3.1 Resistencia Nominal 210 kg/cm²
 - 3.2 Resistencia Promedio Requerida 245 kg/cm²
 - 3.3 Relación Agua/Cemento 0,57
 - 3.4 Datos de la Mezcla:

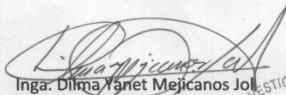
CONCRETO NORMAL $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$			
MATERIALES	PROPORCION EN PESO	PROPORCION EN VOLUMEN (LITROS)	PROPORCION EN VOLUMEN (kg/m ³)
CEMENTO	1	1 SACO	350,87
ARENA	2,19	60,46	769,62
PIEDRIN / GRAVA	2,79	84,64	979,51
AGUA LIBRE	0,57	24,23	200,00
4. **RECOMENDACIONES**
 - 4.1 Evaluar en obra el diseño propuesto y obtener 6 cilindros, 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.

Atentamente,




Vo.Bo.
Ing. Oswaldo Romeo Escobar Alvarez
DIRECTOR CII/USAC






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>

Figura 38. Informe de resistencia de cilindros de concreto ASTM C-39-05 para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.



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



RESISTENCIA DE CILINDROS DE CONCRETO
NORMA ASTM C-39

INFORME No. S. C. - 639

O.T. No. 23358

HOJA 1/1

INTERESADO: Rudy Estuardo Martinez Patzán, Carné No. 2002-17669

ASUNTO: ENSAYO A COMPRESION

PROYECTO: Trabajo de Graduacion Calidad De Dos Bancos De Agregados Para Concreto En El Departamento de Chiquimula.

DIRECCION: 8a. Av. 17-25, Zona 12 Col. Reformita

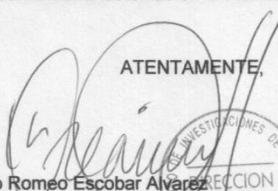
FECHA: 11 de agosto de 2008

No. CILINDRO OBRA	No. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE HECHURA	EDAD EN DIAS	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA FUNDICION	PESO EN Kg	DIAMETRO EN cm	RESISTENCIA kg/cm2	RESISTENCIA lb/plg2
1	RT1-1	7/7/08	3	Control de Calidad	12,531	15.257	112.894	1605.72
2	RT1-2	7/7/08	3	Control de Calidad	12,665	15.133	100.872	1434.72
3	RT1-3	7/7/08	3	Control de Calidad	12,758	15.197	93.781	1333.86
4	RT1-4	7/7/08	7	Control de Calidad	12,735	15.402	121.735	1731.45
5	RT1-5	7/7/08	7	Control de Calidad	12,636	15.137	150.989	2147.55
6	RT1-6	7/7/08	7	Control de Calidad	12,854	15.227	143.231	2037.21
7	RT1-7	7/7/08	28	Control de Calidad	12,715	15.130	201.833	2870.71
8	RT1-8	7/7/08	28	Control de Calidad	12,762	15.163	213.505	3036.73
9	RT1-9	7/7/08	28	Control de Calidad	12,809	15.237	191.554	2724.50

OBSERVACIONES :


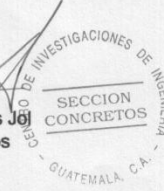
- a) Agregado proveniente de banco 1 Chiquimula.
- b) Diseño teorico de mezcla: INFORME S.C. 493 CII/USAC.
- c) El interesado proporciono el material para la mezcla.
- d) El asentamiento obtenido en la mezcla fue de 8 cm.

ATENTAMENTE,



Ing. Oswaldo Romeo Escobar Alvarez
Director CII/USAC


Ing. Dilma Yanet Mejicanos Jéj
Jefa Sección de Concretos


I.C.

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

Figura 39. Informe del diseño teórico de mezcla $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$.



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



O.T. No.23358

INFORME No. S.C. 494

INTERESADO: Rudy Estuardo Martínez Patzán-Carné No. 2002-17669
PROYECTO: Trabajo de Graduación CALIDAD DE DOS BANCOS DE AGREGADOS PARA CONCRETO EN EL DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA
DIRECCION: 8^a. AV. 17-25, zona 12 Col. Reformita
ASUNTO: Diseño Teórico de Mezcla de Concreto.
FECHA: 20 de Junio de 2 008

1. GENERALIDADES

1.1 El interesado solicitó a este Centro de Investigaciones, el análisis completo a los agregados fino y grueso, del banco 2 de materiales de Chiquimula, para realizar un diseño teórico de mezcla de concreto de 4 000 psi (280 kg/cm^2), con Cemento UGC

2. CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS

2.1 Análisis de agregado fino. INFORME No. S.C. – 368
 2.2 Análisis de agregado grueso. INFORME No. S.C. – 369

3. DISEÑO DE MEZCLA

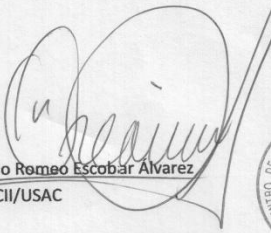
3.1 Resistencia Nominal 280 kg/cm^2
 3.2 Resistencia Promedio Requerida 315 kg/cm^2
 3.3 Relación Agua/Cemento 0,50
 3.4 Datos de la Mezcla:

CONCRETO NORMAL $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$			
MATERIALES	PROPORCION EN PESO	PROPORCION EN VOLUMEN (LITROS)	PROPORCION EN VOLUMEN (kg/m^3)
CEMENTO	1	1 SACO	400,00
ARENA	1,87	51,63	748,00
PIEDRIN / GRAVA	2,38	72,20	952,00
AGUA LIBRE	0,50	21,75	200,00


4. RECOMENDACIONES

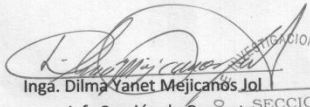
4.1 Evaluar en obra el diseño propuesto y obtener 6 cilindros, para su control de resistencia, con el ensayo a compresión, el cual se realiza en el CII/USAC.
 4.2 El diseño de mezcla está propuesto para agregados en condición seco-saturados, debido a las condiciones de obra, se deberá corregir por humedad.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

Atentamente,

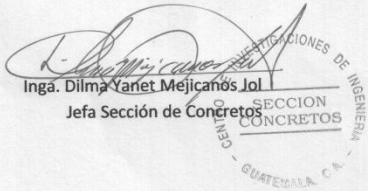


Vo.Bo.
Ing. Oswaldo Romeo Escobar Alvarez
DIRECTOR CII/USAC






Inga. Dilma Yariet 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>

Figura 40. Informe de resistencia de cilindros de concreto ASTM C-39-05 para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$.



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



RESISTENCIA DE CILINDROS DE CONCRETO
NORMA ASTM C-39

INFORME No. S. C. - 640

O.T. No. 23358

HOJA 1/1

INTERESADO: Rudy Estuardo Martínez Patzán, Carné No. 2002-17669

ASUNTO: ENSAYO A COMPRESION

PROYECTO: Trabajo de Graduacion Calidad De Dos Bancos De Agregados Para Concreto En El Departamento de Chiquimula.

DIRECCION: 8a. Av. 17-25, Zona 12 Col. Reformita

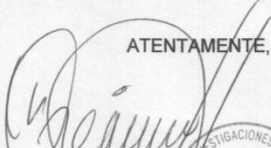
FECHA: 11 de agosto de 2008

No. CILINDRO OBRA	No. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE HECHURA	EDAD EN DIAS	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA FUNDICION	PESO EN kg	DIAMETRO EN cm	RESISTENCIA kg/cm2	RESISTENCIA lb/plg2
1	RT2-1	8/7/08	3	Control de Calidad	12,760	15.240	129.304	1839.12
2	RT2-2	8/7/08	3	Control de Calidad	12,900	15.293	92.599	1317.05
3	RT2-3	8/7/08	3	Control de Calidad	12,917	15.140	123.459	1755.99
4	RT2-4	8/7/08	7	Control de Calidad	12,936	15.237	155.482	2211.45
5	RT2-5	8/7/08	7	Control de Calidad	12,725	15.240	167.847	2387.32
6	RT2-6	8/7/08	7	Control de Calidad	12,698	15.257	166.240	2364.46
7	RT2-7	8/7/08	28	Control de Calidad	12,786	15.232	236.487	3363.61
8	RT2-8	8/7/08	28	Control de Calidad	12,723	15.102	255.771	3637.88
9	RT2-9	8/7/08	28	Control de Calidad	12,885	15.133	229.484	3263.99


OBSERVACIONES :


- a) Agregado proveniente de banco 2 Chiquimula.
- b) Diseño teorico de mezcla: INFORME S.C. 494 CII/USAC.
- c) El interesado proporciono el material para la mezcla.
- d) El asentamiento obtenido en la mezcla fue de 8 cm.

ATENTAMENTE,




Vo.Bo. Ing. Oswaldo Romeo Escobar Álvarez
Director CII/USAC





Inga. Dilma Yaret Mejicanos Jol
Jefa Sección de Concretos



I.C.

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>