



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

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGREGADOS PARA CONCRETO, EN EL DEPARTAMENTO DE TOTONICAPÁN

Víctor Gabriel Rolando Mendoza Camey

Asesorado por: Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol

Guatemala, febrero de 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGREGADOS PARA
CONCRETO, EN EL DEPARTAMENTO DE TOTONICAPÁN**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

VÍCTOR GABRIEL ROLANDO MENDOZA CAMEY
ASESORADO POR: INGA. DILMA YANET MEJICANOS JOL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, FEBRERO DE 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE 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	Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO


DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Jeovany Miranda Castañón
EXAMINADOR	Ing. Armando Fuentes Roca
EXAMINADOR	Ing. Alejandro Castañón López
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne 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:

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGREGADOS PARA CONCRETO, EN EL DEPARTAMENTO DE TOTONICAPÁN,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, el 16 de octubre de 2007.



Víctor Gabriel Rolando Mendoza Camey



Guatemala, 21 de enero de 2 008

Ingeniero Fernando Amílcar Boiton Velásquez
Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
DIRECTOR

Ingeniero Boiton

Me dirijo a usted para informarle, que he revisado el trabajo de graduación **EVALUACION DE LA CALIDAD DE AGREGADOS PARA CONCRETO EN EL DEPARTAMENTO DE TOTONICAPAN**, elaborado por el estudiante **Victor Gabriel Rolando Mendoza Camey**, quien conto con la asesoría de la suscrita.

Considero que el trabajo desarrollado por el estudiante Mendoza Camey satisface los requisitos exigidos, por lo cual recomiendo su aprobación.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
Asesora

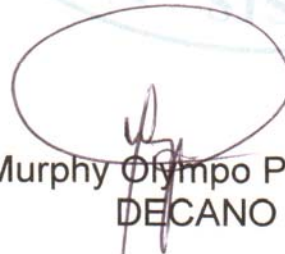

Dilma Y. Mejicanos Jol
Ingeniera CIVIL
Col. 5947

c.c Archivo



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: **EVALUACION DE LA CALIDAD DE AGREGADOS PARA CONCRETO, EN EL DEPARTAMENTO DE TOTONICAPÁN**, presentado por el estudiante universitario **Víctor Gabriel Rolando Mendoza Camey**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
DECANO



Guatemala, febrero de 2008

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

MI PADRE

Santos Gabriel Mendoza, por apoyarme en todo momento, gracias por tu esfuerzo y sacrificio. A tí dedico este triunfo.

MI MADRE

Dora Ercilia Camey Say de Mendoza, por tu sacrificio, esfuerzo y apoyo para alcanzar mis metas. A tí dedico este sueño.

MIS HERMANOS

Lourdes, Josué y Alex, por ayudarme siempre y compartir los mejores momentos de nuestra existencia.

MIS FAMILIARES

Por apoyarme y brindarme su amistad en los momentos difíciles, en especial a Daniel Camey Robles.

MIS PASTORES

Por apoyarme y aconsejarme.

MIS AMIGOS

A todos en general, gracias por apoyarme en los momentos difíciles, especialmente a ti Rosita, que Dios los bendiga.

AGRADECIMIENTOS A:

DIOS

Principio de toda sabiduría, a Él debo la vida y lo que ahora soy. Gracias por tus bendiciones.

INGA. DILMA YANET MEJICANOS

Por el apoyo brindado y su valiosa asesoría de manera desinteresada para la elaboración del presente trabajo de graduación.

FACULTAD DE INGENIERÍA USAC

Por abrirme sus puertas, trasmitirme los valiosos conocimientos para alcanzar uno de los sueños más importantes en la vida, para ser un profesional.

CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA Y CENTRO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE ENERGÍA Y MINAS, USAC

Por permitir realizar ensayos en sus instalaciones, así como asesoría prestada para los mismos.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII

1. MARCO TEÓRICO

1.1	Análisis de las propiedades físicas de los agregados.....	1
1.1.1	Descripción general de la norma ASTM C-33.....	1
1.1.1.1	Agregado fino.....	2
1.1.1.1.1	Graduación.....	2
1.1.1.1.2	Sustancias perjudiciales.....	3
1.1.1.1.3	Impurezas orgánicas.....	4
1.1.1.2	Agregado grueso.....	5
1.1.1.2.1	Graduación.....	5
1.1.1.2.2	Sustancias perjudiciales.....	6
1.1.2	Absorción y contenido de humedad, peso específico y peso unitario.....	6
1.1.2.1	Absorción y contenido de humedad.....	6
1.1.2.2	Peso específico.....	7
1.1.2.3	Peso unitario.....	8
1.2	Análisis de las propiedades mecánicas de los agregados.....	8

1.2.1	Ensayo de abrasión en la máquina de Los Ángeles, ASTM C-131.....	9
1.2.1.1	Resumen del método.....	9
1.2.1.2	Aparatos.....	10
1.2.1.3	Muestra de ensayo.....	10
1.2.1.4	Procedimiento.....	11
1.3	Análisis de las propiedades químicas de los agregados.....	12
1.3.1	Examen petrográfico de agregados, ASTM C-295.....	13
1.3.1.1	Uso de los análisis petrográficos.....	13
1.3.1.2	Toma de muestras.....	13
1.3.1.3	Selección de las muestras para el examen.....	15
1.3.1.4	Examen de la grava natural.....	15
1.3.1.5	Exámenes de la arena natural.....	16
1.3.1.6	Examen del núcleo de perforación.....	17
1.3.1.7	Examen de la roca expuesta.....	17
1.3.1.8	Examen de la roca triturada.....	17
1.3.1.9	Examen de la arena manufacturada.....	18
1.3.1.10	Cálculos.....	18
1.3.1.11	Informes.....	19
1.3.2	Método químico para medir la reactividad potencial de los agregados, ASTM C-289.....	20
1.3.2.1	Aplicación y uso.....	20
1.3.2.2	Selección y preparación de la muestra.....	20
1.3.2.3	Procedimiento.....	21
1.3.2.4	Interpretación de los resultados.....	22

2. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS BANCOS

2.1	Localización.....	25
2.2	Descripción geológica de los bancos.....	27

3. ENSAYOS DE LABORATORIO

3.1	Tabulación y análisis de resultados.....	34
3.1.1	Resultados de los ensayos de agregados, según los requerimientos de la norma ASTM C-33.....	34
3.1.1.1	Agregado fino.....	34
3.1.1.2	Agregado grueso.....	39
3.1.2	Resultados de los ensayos de agregados, según los requerimientos de la norma ASTM C-131.....	41
3.1.3	Resultados de los ensayos de agregados, según los requerimientos de la norma ASTM C-289.....	41
3.1.4	Resultados de los ensayos de agregados, según los requerimientos de la norma ASTM C-295.....	42
3.1.4.1	Agregado fino.....	42
3.1.4.2	Agregado grueso.....	47
3.1.4.2.1	Composición química.....	47

4. PRINCIPALES NORMAS RELACIONADAS Y SU FACTIBILIDAD DE APLICACIÓN

4.1	Bondad de los agregados por el uso de sulfato de sodio o sulfato de magnesio, ASTM C-88.....	49
4.1.1	Factibilidad de aplicación	51

4.2	Método de la barra de mortero para determinar la reactividad potencial de los álcalis en combinaciones cemento-agregados, ASTM C-227.....	51
4.2.1	Factibilidad de aplicación.....	52
4.3	Reactividad potencial de los álcalis en rocas carbonáticas, ASTM C-586.....	52
4.3.1	Factibilidad de aplicación.....	53
4.4	Cambio potencial de volumen en combinaciones de cemento-agregados, ASTM C-342.....	53
4.4.1	Factibilidad de aplicación.....	53
CONCLUSIONES.....		55
RECOMENDACIONES.....		57
BIBLIOGRAFÍA.....		59
ANEXO.....		61

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	División entre agregados inocuos y dañinos.....	22
2.	Mapa de localización de los bancos de agregados en estudio (A y B).....	26
3.	Fotografía del lugar de extracción del agregado fino y grueso, aldea Vásquez.....	28
4.	Fotografía apilamiento de rocas	28
5.	Fotografía de trituradora.....	29
6.	Fotografía de apilamiento de los agregados	29
7.	Fotografía de entrada al río Samalá en San Cristóbal, Tonicapán	30
8.	Fotografía de forma rudimentaria de extracción de agregado fino.....	30
9.	Fotografía de apilamiento de agregado fino en Samalá.....	31
10.	Fotografía de carga del agregado fino	31
11.	Curva granulométrica del agregado fino del río Samalá.....	35
12.	Curva granulométrica del agregado fino de aldea Vásquez.....	37
13.	Curva granulométrica del agregado grueso.....	40
14.	Distribución de los diferentes componentes del agregado fino, según el número de tamiz del río Samalá	44
15.	Distribución de los diferentes componentes del agregado fino, según el número de tamiz de aldea Vásquez	46
16.	Resultados de los ensayos de agregados, según los requerimientos de la norma ASTM C-88	50
17.	Informe de los ensayos de agregado fino del río Samalá, según los requerimientos de la norma ASTM C-33.....	63

18.	Informe de los ensayos de agregado fino de aldea Vásquez, según los requerimientos de la norma ASTM C-33	65
19.	Informe de los ensayos de agregado grueso de aldea Vásquez, según los requerimientos de la norma ASTM C-33.....	67
20.	Informe de los ensayos de agregados, según los requerimientos de la norma ASTM C-131.....	69
21.	Informe de los ensayos de agregados, según los requerimientos de la norma ASTM C-289	71
22.	Resultado gráfico de los ensayos de agregados, según los requerimientos de la norma ASTM C-289	73
23.	Informe de los ensayos de agregados, según los requerimientos de la norma ASTM C-88.....	75
24.	Resultados del análisis de óxidos del agregado grueso.....	77
25.	Informe de los ensayos de agregado fino del río Samalá, según los requerimientos de la norma ASTM C-295	79
26.	Informe de los ensayos de agregado fino de aldea Vásquez, según los requerimientos de la norma ASTM C-295.....	81
27.	Gráficas de distribución de partículas	83
28.	Informe de caracterización macroscópica del agregado grueso de aldea Vásquez	85
29.	Resultados del análisis de silicio del agregado grueso	87

TABLAS

I. Límites de granulometría para el agregado fino.....	2
II. Clasificación de la arena por su módulo de finura.....	3
III. Límites de sustancias perjudiciales en agregados finos.....	4
IV. Tipo de abrasión según granulometría, utilizando 5,000 gramos de muestra.....	11
V. Cantidades de material de muestreo para el análisis petrográfico.....	14
VI. Granulometría del agregado fino del río Samalá	35
VII. Características físicas del agregado fino del río Samalá	36
VIII. Granulometría del agregado fino de aldea Vásquez	37
IX. Características físicas del agregado fino de aldea Vásquez	38
X. Granulometría del agregado grueso de aldea Vásquez	39
XI. Características físicas del agregado grueso de aldea Vásquez.....	40
XII. Porcentaje de agregado fino retenido en cada tamiz del río Samalá	43
XIII. Conteo de los tipos de partículas que componen el agregado fino del río Samalá	43
XIV. Porcentaje de partículas que componen el agregado fino, por tamiz del río Samalá.....	43
XV. Porcentaje de agregado fino retenido en cada tamiz de aldea Vásquez.....	45
XVI. Conteo de los tipos de partículas que componen el agregado fino de aldea Vásquez.....	45
XVII. Porcentaje de partículas que componen el agregado fino, por tamiz de aldea Vásquez	46
XVIII. Composición química del agregado grueso.....	48

GLOSARIO

Álcalis

Hidróxidos formados por elementos alcalinos cuando entran en contacto con el agua. En el cemento Pórtland estos elementos alcalinos son el sodio y el potasio.

Andesita

Roca volcánica constituida por el feldespato plagioclasa y por minerales máficos (biotita, anfíboles y piroxenos). Es característica de los volcanes que surgen en los bordes de los continentes.

Avalancha de escombros volcánicos

Son generados al producirse una erupción lateral o colapso del edificio volcánico. El material fragmentado fluye a través del terreno.

Bomba volcánica

Fragmento rocoso de forma ovoide o almendrada debido a su rotación al ser expulsado durante la erupción volcánica.

Cuarzo

Mineral formado por sílice, cuya fórmula química es SiO_2 , de brillo vítreo, incoloro cuando es puro, y debe variar de color según las sustancias con que está mezclado, y es tan duro que raya el acero. Es el mineral más abundante y frecuente de la corteza terrestre.

Esquisto

Tipo de roca sedimentaria blanda, que se forma por la separación de capas sucesivas de partículas finas, barro, arcilla o limo que son transportadas por el agua.

Hornblenda

Mineral ferromagnético del grupo de los anfíboles muy abundante en la naturaleza como componente de rocas eruptivas.

Lahares

Son flujos rápidos, a veces catastróficos, de mezclas densas de partículas de roca y agua, que ocurren en corrientes y que fluyen de los volcanes. Estos ocurren cuando las inundaciones de agua por fuertes lluvias por desbordamientos de aguas de lagos que se mezclan con fragmentos de roca volcánica de tamaños que varían desde partículas microscópicas de arcilla hasta grandes rocas. En la última década tales flujos han causado la muerte de decenas de miles de personas.

Mortero

Mezcla formada por agua, arena y un aglomerante como el cemento Pórtland. Además puede agregarse un aditivo.

Pómez

Vidrio volcánico muy poroso y ligero debido a la liberación de los gases que contenía la lava de la cual procede.

Vidrio volcánico

Los vidrios son soluciones excesivamente viscosas y grandemente sobre enfriadas donde las moléculas o los grupos atómicos están desordenados, y no en un orden definido tal como en los cristales.

RESUMEN

Esta investigación analiza la calidad de agregados para concreto de dos bancos ubicados en el departamento de Totonicapán, uno en Aldea Vásquez y el otro en el río Samalá, en el municipio de San Cristóbal. Para este fin se tomaron tres muestras, dos de agregado fino y una de grueso, que fueron trasladados a los laboratorios del Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII) al Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM) y al Laboratorio del Ministerio de Energía y Minas donde se practicaron los ensayos respectivos para determinar sus propiedades físicas, mecánicas, químicas y mineralógicas.

Se utilizó la norma ASTM C-33 (Especificación estándar para agregados de concreto) para analizar las propiedades físicas del agregado. Las propiedades mecánicas se determinaron de acuerdo a las especificaciones de la norma ASTM C-131 (Método de ensayo estándar para resistencia a la degradación del agregado por abrasión en la máquina de los ángeles), la bondad de agregados según norma ASTM C-88 (Método de ensayo estándar para desgaste de agregados por el uso de sulfato de sodio o sulfato de magnesio) ambas son aplicables para el agregado grueso, por último se utilizó el examen petrográfico para conocer las propiedades químicas y mineralógicas según la norma ASTM C-295(Práctica estándar para examen petrográfico de agregados para concreto), el ensayo de reactividad potencial ASTM C-289 (Método estándar para reactividad potencial de agregados, método químico) y el análisis de óxidos del agregado grueso.

Con los datos proporcionados por los ensayos de laboratorio se determinó que los agregados de estos bancos no son recomendables para fabricar concreto con cemento Pórtland, ya que no cumplen con los límites y requisitos que establecen las normas antes mencionadas.

OBJETIVOS

- **General**

Evaluar las propiedades físicas, mecánicas, químicas y mineralógicas de dos bancos de agregados utilizados en la construcción en el departamento de Totonicapán, aplicando cuatro normas ASTM, para determinar su calidad como agregados para concreto.

- **Específicos**

1. Determinar las especificaciones estándar de los agregados, según la norma ASTM C-33 (Especificación estándar para agregados de concreto) de las dos muestras, y las propiedades de resistencia a la abrasión e impacto del agregado grueso, según la norma ASTM C-131 (Método de ensayo estándar para resistencia a la degradación del agregado por abrasión en la máquina de Los Ángeles), así como su bondad según norma ASTM C-88 (Método de ensayo estándar para desgaste de agregados por el uso de sulfato de sodio o sulfato de magnesio).
2. Realizar el examen petrográfico de las muestras aplicando la norma ASTM C-295 (Práctica estándar para examen petrográfico de agregados para concreto), para determinar si existen minerales o sustancias mortíferas.

3. Correlacionar la información mineralógica con la proporcionada por el ensayo de la norma C-289 (Método estándar para reactividad potencial de agregados, método químico), en el caso específico del contenido de sílice de la muestra.

4. Analizar la factibilidad de aplicación de las principales normas relacionadas que no están consideradas en este trabajo como punto principal de estudio y ensayo.

INTRODUCCIÓN

El concreto es el material de construcción de mayor uso en Guatemala, en construcciones civiles es fundamental para obtener buen concreto estructural, tener buena calidad de agregados, una adecuada proporción, así como el control de los mismos durante su mezclado, manejo, colocación y curado, esto se determina por medio de un análisis basado en ensayos establecidos en normas ASTM C 33, ASTM C 131, ASTM C 295, ASTM C 289, las anteriores cubren los ensayos para determinar la buena calidad de agregados referente a propiedades física, mecánicas, químicas y petrográficas. Su descripción teórica, así como los procedimientos a seguir se presentan en el primer capítulo, luego se muestra la localización y descripción de los bancos en estudio para seguir con los ensayos de laboratorio y su análisis respectivo. Por último, se describen y analizan las principales normas relacionadas y como se vinculan con las aplicadas en este trabajo. Como objeto de estudio se eligieron dos bancos de agregados del departamento de Totonicapán.

La localización y ubicación de los bancos es de vital importancia para determinar la caracterización mineral y química de los agregados

Los ensayos de laboratorio se realizaron en el área de concretos del Centro de Investigaciones de Ingeniería (ASTM C-131, ASTM C-33 y ASTM C -88), en el área de Química Industrial del mismo Centro (ASTM C-289 y análisis químico de agregado grueso), en el Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (ASTM C-295) y en el Laboratorio Técnico del Ministerio de Energía y Minas (análisis químico del contenido de sílice de la muestra).

1. MARCO TEÓRICO

A continuación se describe la teoría y los procedimientos necesarios para analizar y caracterizar los agregados de los bancos en estudio, por medio de ensayos, según lo que especifica las normas ASTM (Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales).

Análisis de las propiedades físicas de los agregados

Los agregados para concreto deben estar formados de partículas compactas y duras, con textura, forma y granulometría adecuadas. Los agregados suelen estar contaminados con limo, arcilla, humus y otras materias orgánicas. Algunos tienen porcentajes altos de material ligero o de partículas de forma alargada o plana, tales sustancias o partículas defectuosas restan calidad y resistencia al concreto y las especificaciones fijan los límites permisibles de tolerancia. Se acepta como norma de calidad la especificación ASTM C-33, la cual se describe de forma general a continuación.

Descripción general de la norma ASTM C-33

Esta norma define los requisitos necesarios de graduación y calidad de los agregados fino y grueso que serán utilizados para concretos estructurales, por lo que es considerada adecuada para asegurar materiales satisfactorios en concretos utilizados en obra civil.

1.1.1.1 Agregado fino

Se determina como el material que pasa por el tamiz No. 4 hasta el tamiz No.100 y se clasifica en arena natural, de canto rodado o de río, manufacturada o combinación de ambas.

1.1.1.1.1 Graduación

El agregado fino deberá estar graduado dentro de los límites que se establecen en la tabla I, según norma ASTM C 33.

Tabla I. Límites de granulometría para el agregado fino según Norma ASTM C 33

Tamiz	Porcentaje que pasa
3/8" (9.50 mm)	100 %
No. 4 (4.75 mm)	95 a 100 %
No. 8 (2.36 mm)	80 a 100 %
No. 16 (1.18 mm)	50 a 85 %
No. 30 (600 μ m)	25 a 60 %
No. 50 (300 μ m)	10 a 30 %
No. 100 (150 μ m)	2 a 10 %

Fuente: Normas de la Asociación Americana para el Ensayo de Materiales, Vol. 04.03 Pág. 10

El agregado fino no deberá tener más del 45% retenido entre 2 tamices consecutivos de los indicados en la tabla anterior.

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

Tipo de arena	Módulo de finura
Gruesa	2.90 - 3.20 gramos
Media	2.20 - 2.90 gramos
Fina	1.50 - 2.20 gramos
Muy fina	1.50 gramos

El módulo de finura debe ubicarse en el rango de 2.3 a 3.1. Si cambia más del 0.20 del valor asumido al seleccionar las proporciones para concreto, deberá ser rechazado a menos que se verifiquen ajustes adecuados con el objeto de compensar la diferencia de graduación.

1.1.1.1.2 Sustancias perjudiciales

En la prueba para agregado fino, la norma indica los porcentajes límites de sustancias perjudiciales permisibles según se muestran en la tabla III.

Tabla III. Límites de sustancias perjudiciales en agregados finos

Sustancia	Porcentaje máximo en peso del total de la muestra
Arcilla y partículas disgregables	3.0
Material más fino que el tamiz 200 (75 µm):	
Concreto sujeto a abrasión	3.0 ^A
Cualquier otro concreto	5.0 ^A
Carbón y lignito:	
Cuando es importante la apariencia del concreto	0.5
Cualquier otro concreto	1.0

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

Fuente: Normas de la Asociación Americana para el Ensayo de Materiales, Vol. 04.03 Pág. 11

1.1.1.1.3 Impurezas orgánicas

El contenido de impurezas orgánicas se determina por medio de la prueba colorimétrica. A excepción de los límites presentados en la tabla III, los agregados sujetos a la prueba de impurezas orgánicas y que produzcan un color más oscuro que el habitual deberán ser rechazados, a no ser que cumplan alguna de las condiciones siguientes:

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

1.1.1.2 Agregado grueso

Esta formado fundamentalmente por gravas, gravas trituradas, piedra triturada, escoria de hornos de explosión, concreto de cemento hidráulico triturado o una combinación de lo anterior, se considera como el material retenido a partir del tamiz no. 4, para su buena utilización no deben ser demasiado porosos, ni de forma muy alargada de acuerdo con los requerimientos que establece la norma ASTM C-33

1.1.1.2.1 Graduación

Los agregados gruesos deben conformar los requerimientos descritos en la norma ASTM C-33 para cada número de tamiz, según el tamaño de agregado a utilizar. El tamaño del agregado se encuentra en función de las necesidades específicas para el diseño del concreto.

1.1.1.2.2 Sustancias perjudiciales

Las especificaciones de los límites de sustancias perjudiciales en los agregados gruesos a utilizar en la fabricación de concreto se designan según el tipo de agregado, la severidad de la abrasión y otros elementos a los que deben ser expuestos, similares a los del agregado fino, ver tabla III.

Los agregados gruesos utilizados en la fabricación de concreto deben estar libres de cantidades excesivas de sustancias como arcilla, carbón y lignito, cenizas y material fino. Los límites permisibles están en función del uso que se le dará al concreto.

El agregado grueso para uso en concreto que estará expuesto con frecuencia al agua, debe estar libre de material que reaccione peligrosamente con los álcalis del cemento.

1.1.2 Absorción y contenido de humedad, peso específico y peso unitario

1.1.2.1 Absorción y contenido de humedad

La humedad de los agregados está compuesta por humedad de saturación y humedad superficial o libre. Para corregir el peso del material en las mezclas, se obtiene el porcentaje de humedad contenida, además del porcentaje de absorción del agregado.

Un cambio del 1% en el contenido de humedad, cambia el asentamiento del concreto en 1.5 pulgadas y la resistencia en 300 lbs./pulg.^2 . Los agregados se encuentran en cualquiera de los siguientes estados:

- a. Seco al horno, completamente seco y absorbente.
- b. Seco al aire, seco en su superficie pero con poco contenido de humedad, menor que la requerida para saturar las partículas. Poco absorbente.
- c. Húmedo o mojado, contiene exceso de humedad en la superficie de las partículas.
- d. Saturado y de superficie seca, condición ideal que debe tener el agregado para que no adicione o absorba agua del concreto.

Todos los cálculos deben basarse en agregado en condición seco-saturada para proporcionar mezclas de concreto, resulta imposible que los agregados vengan en condición ideal pero puede conseguirse por una simple operación aritmética: $\text{humedad superficial} = \text{humedad total} - \text{factor de absorción}$. Para los agregados gruesos la absorción se determina de acuerdo con la norma ASTM C -127 y para los agregados finos la norma ASTM C –128.

1.1.2.2 Peso específico

La densidad o masa específica de un cuerpo homogéneo es la masa por unidad de volumen de ese cuerpo. Si en lugar de tomar la masa de un cuerpo se toma su peso, se tiene lo que se conoce como peso específico. En el caso de los agregados se ha introducido una modificación a la definición anterior. Esto se debe a que se hace necesario determinar el peso del volumen aparente de estos materiales (el volumen sin descontar los poros y espacios libres) entonces: peso específico aparente relativo es la relación entre el peso de un volumen aparente de un cuerpo y el peso de otro volumen aparente de otro cuerpo tomado como comparación, a igual intensidad de la gravedad y en las mismas condiciones de temperatura y presión.

La gravedad específica como se define en la especificación ASTM E-12 corresponde al peso específico relativo y para agregados finos se determina por métodos descritos en la norma ASTM C-128 y para agregado grueso ASTM C-127 y que consiste en medir el desplazamiento del agua, producido por un peso conocido de agregado en condición saturada y de superficie seca; se usa para este objeto una probeta calibrada.

1.1.2.3 Peso unitario

Es el peso con respecto a su volumen. Este término es el más utilizado en las especificaciones de la norma ASTM C-29. Es aplicable a condiciones de trabajo, tomando como volumen unitario el metro cúbico o el pie cúbico.

Al determinar el peso unitario se observa que está influenciado por el grado de asentamiento y por el contenido de humedad, por lo que debe calcularse con el material seco apisonado y suelto

1.2 Análisis de las propiedades mecánicas de los agregados

La resistencia al desgaste (abrasión), y la resistencia al rayado de un agregado a menudo es empleado como índice general de su calidad.

Para determinar la resistencia al desgaste de los agregados se emplea el ensayo en la máquina de los Ángeles, de acuerdo con la norma ASTM C-131, consiste, básicamente, en colocar el agregado dentro de un cilindro rotatorio con una carga de bolas de acero por un período de tiempo especificado en la norma anterior, después de lo cual se determina el porcentaje de desgaste sufrido.

El agregado grueso ensayado a desgaste no deberá mostrar una pérdida mayor del 50 por ciento en peso, si fuera el caso, podrá usarse siempre y cuando produzca resistencias satisfactorias en el concreto de proporciones seleccionadas.

1.2.1 Ensayo de abrasión en la máquina de Los Ángeles, ASTM C-131

Este método cubre el procedimiento para ensayos de agregado grueso menores de 1½ pulgadas (37.5 mm), para determinar su resistencia al desgaste en la máquina de los ángeles.

1.2.1.1 Resumen del método

La prueba de la máquina de los ángeles es una medida de la degradación de los minerales de los agregados de graduaciones normales, resulta de la combinación de acciones incluyendo abrasión e impacto en un tambor rotativo de acero que contiene un número específico de esferas, que dependerá de la graduación de la muestra. Mientras el tambor rota, una placa eleva la muestra y las esferas de acero, transportándolas hasta ser soltadas desde la parte opuesta del tambor, creando un efecto de trituración por impacto.

El contenido sigue rotando dentro del tambor con una acción abrasiva hasta que la placa hace impacto y el ciclo se repite. Después de transcurrido el número de revoluciones preestablecido, el contenido es removido del tambor y la porción de agregado es tamizada para medir el desgaste como el porcentaje de peso perdido.

1.2.1.2 Aparatos

Se usa la máquina de ensayo de desgaste de los Ángeles que satisfaga las características descritas por la norma ASTM C-131. La máquina consistirá en un cilindro cerrado en ambos extremos, con un diámetro interno de 28 pulgadas y el largo interior de 20 pulgadas.

El cilindro será montado en ejes, acoplados a los extremos del cilindro pero sin atravesarlo, y será montado de manera que pueda girar estando su eje en posición horizontal.

El cilindro será provisto de una abertura para poder introducir la muestra de ensayo. La abertura debe cerrarse para evitar que salga el polvo, lo que se logra con una tapadera hermética. A lo largo de una línea de la superficie interior del cilindro se colocará una placa o paleta de acero removible, proyectada radialmente hacia el centro del cilindro 3½ pulgadas y extendida a todo lo largo del mismo.

Las cargas abrasivas consistirán en esferas de acero de un diámetro aproximado de 46.8 mm y cada una con un peso de entre 390 a 445 gramos.

1.2.1.3 Muestra de ensayo

La muestra de ensayo consistirá en agregado que ha sido secado al horno a temperatura de 105⁰C a 110⁰C , hasta obtener peso constante. La graduación utilizada será aquella que cumpla con el porcentaje retenido en la muestra cuarteada y homogenizada.

1.2.1.4 Procedimiento

- a. Se encuentra la granulometría con una cantidad representativa para obtener los porcentajes y cantidades retenidas, así se identifica el tipo de abrasión
- b. De acuerdo a la cantidad de material, por graduación se clasifica el tipo de desgaste, según la siguiente tabla:

Tabla IV. Tipo de abrasión según granulometría, utilizando 5000 gramos de muestra

TIPO	TAMICES	PESO RETENIDO (gr.)	No. DE ESFERAS	REV.	TIEMPO (min.)
A	1", ¾", ½" y ⅜"	1250±10	12	500	17
B	½" y ⅜"	2500±10	11	500	17
C	¼" y No. 4	2500±10	8	500	17
D	No. 8	5000	6	500	17

Fuente: Normas de la Asociación Americana para el Ensayo de Materiales, Vol. 04.03
Págs. 10 y 11

- c. La diferencia entre el peso original y el peso final de la muestra de ensayo, se expresará en forma de porcentaje del peso inicial de la muestra de ensayo. Este valor será expresado como porcentaje de desgaste.

1.3 Análisis de las propiedades químicas de los agregados

Los agregados con alto contenido de sílice pueden producir reacciones negativas, en el concreto, al interactuar con sustancias alcalinas (Na_2O y K_2O) en un concreto. Estas reacciones pueden ser lentas o espaciosas, y consisten en la generación de hidróxidos de elementos alcalinos cuando éstos entran en contacto con el agua, posteriormente al combinarse con sílice hidratada generando un gel de silicato de sodio hidratado que conlleva un aumento de volumen de hasta el 50 %.

Este cambio de volumen produce fisuras entre 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.

Las normas ASTM para determinar la presencia de sustancias y minerales que provocan reacciones con la pasta de cemento Pórtland, a corto, mediano o largo plazo son: método de la barra de mortero para determinar la reactividad potencial del álcali (ASTM C-227), método químico para determinar la reactividad potencial álcali-sílice (ASTM C-289), examen petrográfico (ASTM C-295) y método para determinar la reactividad potencial álcali-carbonato (ASTM C-586). En este trabajo se aplicará el examen petrográfico ASTM C-295 y como complemento la norma ASTM C-289 (el uso de ésta se debe a que los bancos en estudio son de origen volcánico).

1.3.1 Examen petrográfico de agregados ASTM C-295

Se utiliza para determinar la presencia de minerales y sustancias que provocan reacciones con la pasta de cemento Pórtland a corto, mediano y largo plazo.

1.3.1.1 Uso de los análisis petrográficos

Los exámenes petrográficos se realizan con los siguientes propósitos:

- Determinar las características físicas y químicas del material que será observado para establecer el comportamiento de este según el uso al que será destinado.
- Describir y clasificar los componentes que tiene la muestra.
- Comparar muestras de agregados de uno o más bancos con muestras de bancos nuevos, estos datos deben estar disponibles en archivos.

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

1.3.1.2 Toma de muestras

Para adquirir la muestra debe realizarse bajo la supervisión de un geólogo, habituado con los requisitos necesarios para la toma de muestras de agregados para concreto, se debe considerar la localización exacta, la geología y otros datos significativos del lugar donde se sustrajo la muestra.

Cuando se cuenta con material apilado y en disposición, la muestra representativa no debe tomarse por no menos de 45 kilogramos o 300 piezas de cualquier tamaño del material a examinar. Para afloramientos de canteras no productoras, donde los apilamientos regulares del material no son disponibles, las muestras no deben ser menores de 2 kilogramos de cada estrato con piezas que no pesen menos de 0.5 kilogramos o por núcleo perforado descrito anteriormente.

Los depósitos de arenas y gravas no desarrollados, deberán ser muestreados por medio de pruebas en trincheras excavadas a mano, para anticipar la futura producción económica. Las muestras consistirán en no menos de las cantidades de material indicadas en la tabla V, seleccionando, tanto como sea posible, la representatividad de los depósitos.

Tabla V. Cantidades de material de muestreo para el análisis petrográfico

Abertura de tamiz	CANTIDAD		
	kg	lb	Piezas
Mayores de 150 mm (6")	--	--	*
75 a 150 mm (3" a 6")	--	--	300
37.5 a 75 mm (1½" a 3")	180	400	--
19 a 37.5 (¾" a 1½")	90	200	--
4.75 a 19 mm (No. 4 a ¾")	45	100	--
Menores de 4.75 mm (No. 4) **	23	50	--

Fuente: Normas de la Asociación Americana para el Ensayo de Materiales, Vol. 04.02 Pág. 178

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

** Agregado fino.

1.3.1.3 Selección de las muestras para el examen

Las muestras se tamizan en condición seca para obtener muestras de cada tamaño de tamiz. En el caso de las arenas se utiliza una cantidad adicional que se prueba según la norma ASTM C-117, 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.

1.3.1.4 Examen de la grava natural

El recubrimiento, cantos rodados, se examinan para establecer si existen recubrimientos exteriores, de ser así se determina si son dañinos para el concreto.

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

1.3.1.5 Exámenes de la arena natural

Este examen es similar al examen de grava, la diferencia esta en el tamaño de las partículas.

Se sugiere que la muestra se extienda en un piso, plato de vidrio con fondo. La identificación es a menudo fácil cuando se sumergen en agua. El análisis de la reducción de las partículas sumergidas muestran rasgos de un diagnóstico que no se proporciona cuando el grano está seco.

El petrógrafo determina la presencia de partículas planas de vidrio, granos típicos, examinándolos en un medio de inmersión, con la utilización del microscopio.

1.3.1.6 Examen del núcleo de perforación

Cada núcleo es examinado obteniendo su respectivo registro, la longitud del núcleo recuperado, las pérdidas, espaciamiento de fracturas y diaclasas, tipos litológicos, alteraciones, condiciones rígidas y variantes en la condición tenacidad-dureza, coherencia, porosidad, tamaño y textura del grano, variaciones de los tipos de rotura y presencia de elementos capaces de reaccionar en deterioro de concreto.

Si el tamaño de la muestra lo permite, se considera la posibilidad que la roca se encuentre en los límites con respecto al tamaño máximo requerido

1.3.1.7 Examen de la roca expuesta

El procedimiento en este tipo de roca debe ser el estudio de la roca individual. La muestra consiste en una cantidad relativamente grande de roca fracturada, se debe examinar la muestra completa, ya que de esta forma se determina la variedad relativa de las partículas presentes en la muestra.

1.3.1.8 Examen de la roca triturada

Debe ser similar al examen de las arenas naturales, con énfasis en la cantidad del grado de fractura, la naturaleza y cantidad del polvo de rocas desarrolladas por el proceso de la trituración, el examen refleja información que es de valiosa utilidad.

1.3.1.9 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.

1.3.1.10 Cálculos

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

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.

Se construye una tabla para representar la composición de cada fracción tamizada y los pesos de la composición de la muestra completa.

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

1.3.1.11 Informes

El reporte del examen petrográfico debe contener los datos necesarios para identificar la muestra, la fuente, propósito, uso, incluyendo una descripción de la composición y propiedades del material. El informe debe incluir los procedimientos empleados en la prueba, y una descripción de la naturaleza y los componentes de la muestra, acompañado por tablas y fotografías según sea necesario. Los resultados y conclusiones deben ser expresados en términos comprensibles para quienes deben tomar las decisiones de conveniencia del material para ser usado como agregado para concreto.

Se debe mencionar todos los elementos que no favorezcan al concreto y si la muestra fue tomada en condiciones desfavorables.

El informe debe incluir las recomendaciones respectivas a cualquier examen petrográfico adicional, químico, investigaciones físicas, investigaciones geológicas que puedan ser determinantes para evaluar las propiedades de la muestra en estudio.

1.3.2 Método químico para medir la reactividad potencial de los agregados, ASTM C-289

1.3.2.1 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.

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.

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

1.3.2.2 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 pasa el tamiz No. 100. Reservar la porción retenida en el tamiz de 150 μm como muestra para el ensayo.

1.3.2.3 Procedimiento

Pesar tres partes representativas de 25.00 ± 0.05 gr. de la muestra seca comprendida entre los tamices No. 50 y No. 100. Colocar cada porción en uno de los tres recipientes y agregar por medio de una pipeta 25 cm^3 de la solución de NaOH 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. Inmediatamente después de haberse enfriado los recipientes se filtra la solución del residuo del agregado.

Después 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

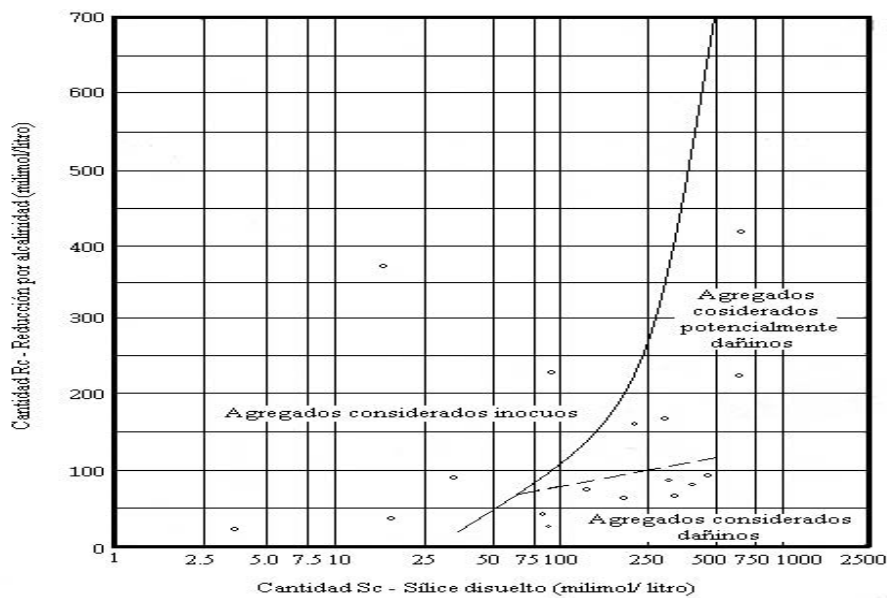
con agua hasta 200 cm³ en un frasco volumétrico. Se conserva esta solución diluida para la determinación de la sílice disuelta y la reducción en alcalinidad, con las fórmulas y procedimientos dados por la norma.

1.3.2.4 Interpretación de los resultados

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

A continuación se muestra la división entre agregados inofensivos y dañinos

Figura 1. División entre agregados inocuos y dañinos



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

Los resultados del ensayo, podrían ser incorrectos para agregados que contienen carbonatos de calcio, magnesio o hierro ferroso, tal como calcita, dolomita, magnesita o siderita; o silicatos de magnesio tal como serpentina.

Para determinar la presencia de minerales de este tipo, se podrá realizar un examen petrográfico de los agregados.

2 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS BANCOS

Los bancos en estudio se escogieron debido a su importancia referente a su ubicación geográfica y volumen de extracción. En uno de ellos se extrae agregado grueso y fino, ubicado en Aldea Vásquez (Km.170) carretera interamericana CA-1 Totonicapán limitante al sur con Nahualá, Sololá y el otro donde solamente se extrae agregado fino se ubica en el río Samalá específicamente en el municipio de San Cristóbal en el departamento de Totonicapán, además porque no se tiene conocimiento de la caracterización de estos bancos, en lo referente a ensayos de laboratorio y otras características.

Debido a las condiciones geológicas del lugar, la extracción del agregado grueso y fino en uno de los bancos se realiza por medio de una cantera propiedad de la empresa Solel Boneh en aldea Vásquez y el agregado fino del otro banco del río Samalá en San Cristóbal Totonicapán es extraído de forma rudimentaria, y las personas que residen esta área, se dedican principalmente a la extracción del mismo.

Se tomaron muestras de material manufacturado, una de agregado fino y otra de grueso directamente del lugar de trituración, luego que el material fuera llevado allí desde la fuente, la otra muestra de agregado fino proviene del río Samalá (en San Cristóbal, municipio de Totonicapán). Ver figura 2.

2.1 Localización

Uno de los bancos escogidos se localiza en aldea Vásquez limitante al sur con Nahualá, Sololá (banco A) en el kilómetro 170 carretera Interamericana

2.2 Descripción geológica de los bancos

La geología se refiere a los orígenes de los suelos, la era de inicio de su formación, y además se pueden identificar las fallas sísmicas y los volcanes que se encuentran en cada departamento.

En Totonicapán, se pueden encontrar en gran parte de su territorio, rocas volcánicas de gran tamaño, predominantemente Mio-Plioceno, incluye tobas, coladas de lava, material lahárico, y sedimentos volcánicos, del período terciario (Tv). Se encuentra un área del período cuaternario, donde predominan los rellenos y cubiertas gruesas de ceniza y pómez de origen diverso (Qp).

En relación al río Samalá, la mayor parte de la superficie de la cuenca está compuesta principalmente por aluviones, terrazas aluviales y planicies de inundación. Estos patrones se encuentran desde la parte alta de la cabecera de cuenca, en los departamentos de Quetzaltenango y Totonicapán, pero se acentúa mucho más desde la parte media cuando los ríos Izcayá y Nima I se unen al Samalá aumentando su caudal y aportando material volcánico del volcán Santa María y del volcán Santiaguito para la formación de lahares fríos y calientes, respectivamente. Según el Ministerio de Comunicaciones en el río Samalá se han encontrado cantos rodados plutónicos que varían entre granito y cuarzo-diorita, cerca de Las Pilas, en la planicie costera a más o menos veinticinco kilómetros del litoral. El origen de estas rocas se desconoce, ya que no se ha visto rocas plutónicas a lo largo del curso del río. Sin embargo debe recordarse que el río Samalá ha cortado cañones espectaculares, localmente con profundidades de mil metros, de manera que es razonable esperar que en este río se encuentren diversos materiales, arrastrados en su trayecto.

Figura 3. Fotografía del lugar de extracción del agregado fino y grueso aldea Vásquez.



Figura 4. Fotografía apilamiento de rocas



Figura 5. Fotografía de trituradora



Figura 6. Fotografía de apilamiento de los agregados



Figura 7. Fotografía de entrada al río Samalá en San Cristóbal, Totonicapán



Figura 8. Fotografía de forma rudimentaria de extracción de agregado fino



Figura 9. Fotografía de apilamiento de agregado fino en el río Samalá



Figura 10. Fotografía de carga del agregado fino.



3 ENSAYOS DE LABORATORIO

Los ensayos se realizan con el propósito de establecer las propiedades físicas, mecánicas, químicas y petrográficas de agregados fino y grueso para concreto. Se obtuvieron tres muestras de agregados directamente del lugar de extracción, dos del banco ubicado en aldea Vásquez y una del banco ubicado en el río Samalá. Estas muestras fueron llevadas a la sección de concretos del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, donde se realizaron los ensayos de propiedades físicas (ASTM C-33), mecánicas (ASTM C-131), químicas (ASTM C-289) y bondad del agregado grueso o sulfato de sodio (ASTM C-88). El examen petrográfico (ASTM C-295) se realizó en el Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas como parte del análisis de propiedades químicas y mineralógicas.

Además del análisis petrográfico, también se realizó un análisis químico de óxidos para caracterizar la muestra de roca, una parte de este análisis se realizó en el Laboratorio de Química Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala y otra parte en el Laboratorio Técnico del Ministerio de Energía y Minas.

Los ensayos que comprenden la determinación de las propiedades físicas que se realizaron para el agregado grueso fueron: peso específico, peso unitario, porcentaje de vacíos, porcentaje de absorción y granulometría, y para el agregado fino se realizaron además de los anteriores los ensayos de contenido de materia orgánica y porcentaje de finos. Para las propiedades mecánicas se utilizó el ensayo en la máquina de los Ángeles y el ensayo de bondad o sulfato de sodio.

Además, se realizó el ensayo de reactividad potencial de reducción por alcalinidad y sílice disuelta en el Área de Química Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala. El examen petrográfico se realizó utilizando un microscopio estereoscópico, con el cual se clasificaron los minerales y componentes de las muestras de agregados fino y grueso según el número de tamiz.

Debido a que tanto el agregado fino como el grueso son materiales de trituración del mismo banco de aldea Vásquez, la información del examen petrográfico se correlacionó con el análisis de óxidos (CaO , MgO , Al_2O_3 , Fe_2O_3 y SiO_2) para tener un dictamen más preciso de las propiedades de esta roca como agregado para concreto. Los informes de los ensayos para agregados, se encuentran en el anexo.

3.1 Tabulación y análisis de los resultados

A continuación se presentan los resultados de las pruebas de laboratorio y su análisis respectivo con base en la teoría expuesta en la primera parte de este trabajo.

3.1.1 Resultados de los ensayos de agregados según los requerimientos de la norma ASTM C-33

Se procedió a realizar los ensayos básicos de calidad y requerimientos en el Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala conforme lo especifica la norma ASTM C-33, la información obtenida se muestra y analiza en los siguientes subtítulos. Los informes entregados por el Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala se encuentran en el anexo.

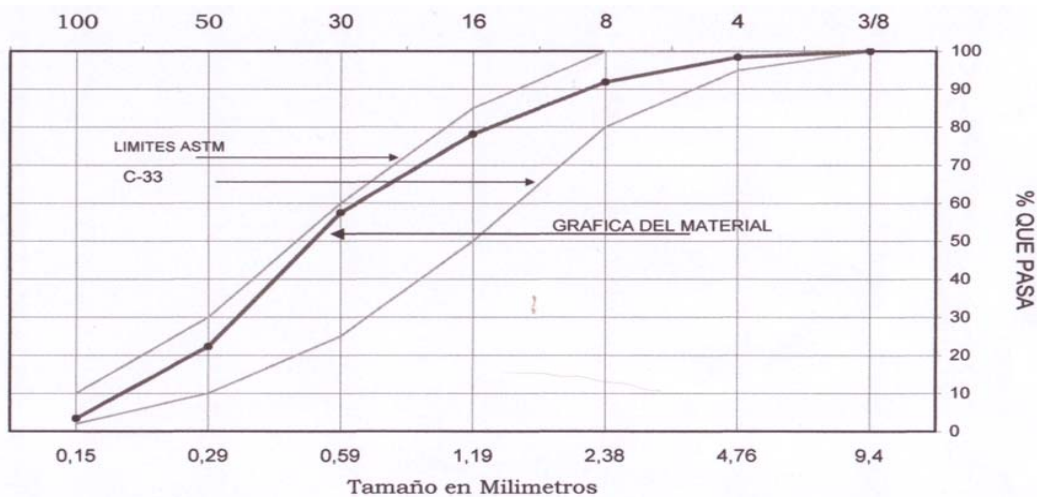
3.1.1.1 Agregado fino

En esta parte se analizan los resultados de los nueve ensayos de las propiedades físicas del agregado fino. Para este propósito se presentan los resultados de la siguiente forma: en las tablas VI y VII se muestran los porcentajes en peso de partículas que pasan cada tamiz. En las figuras 11 y 12 las curvas granulométricas, luego en las tablas VIII y IX se muestran las características físicas de las muestras del río Samalá y aldea Vásquez respectivamente.

Tabla VI. Granulometría del agregado fino del río Samalá.

Tamiz No.	Porcentaje que pasa
3/8" (9.5 mm)	100.00%
No. 4 (4.75 mm)	98.40%
No. 8 (2.36 mm)	91.91%
No. 16 (1.18 mm)	78.14%
No. 30 (600 µm)	57.50%
No. 50 (300 µm)	22.30%
No. 100 (150 µm)	3.42%

Figura 11. Curva granulométrica del agregado fino del río Samalá



Fuente: Informe de la norma ASTM C-33 para agregado fino entregado por el CII.

Tabla VII. Características físicas del agregado fino del río Samalá

Peso específico	2.47
Peso unitario (kg/m ³)	1342.24
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1261.81
Porcentaje de vacíos	45.67%
Porcentaje de absorción	2.08%
Contenido de materia orgánica	4
Porcentaje que pasa el tamiz 200	1.60%
Módulo de finura	2.48

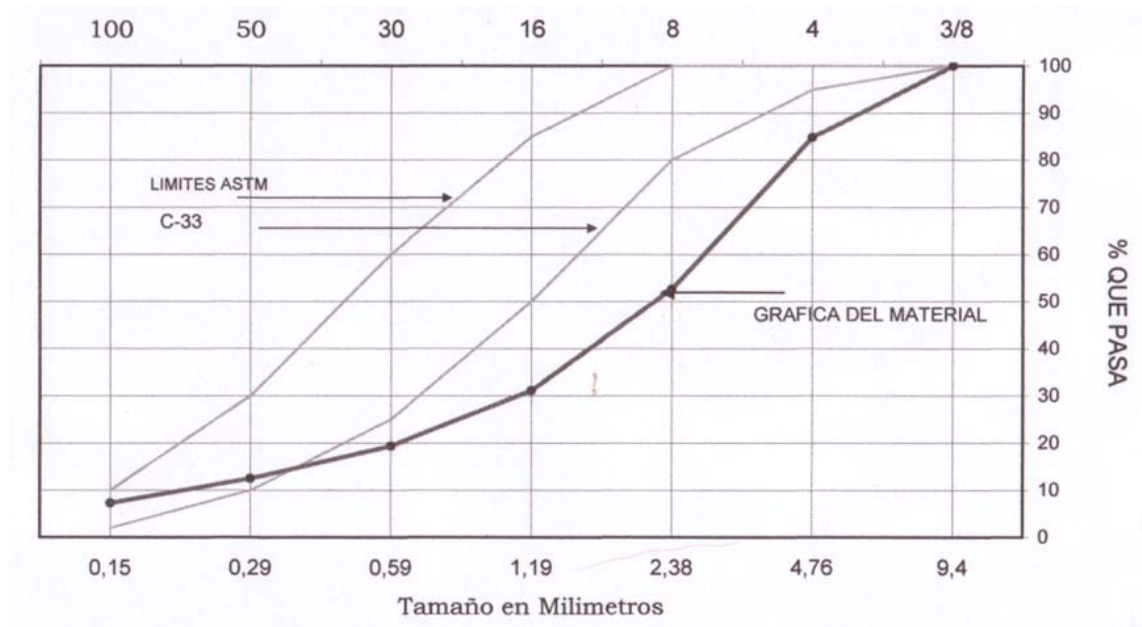
Según los límites que establece la especificación ASTM C-33, del análisis de los resultados que aparecen en las tablas VI y VII se puede decir que

- El contenido de materia orgánica según la clasificación colorimétrica fue 4, por lo tanto no cumple con el límite que es 3.
- El porcentaje que pasó por el tamiz 200 fue 1.60%. El límite cuando se trata de arena es hasta 7 %, por lo tanto si cumple.
- El módulo de finura es 2.48, la especificación indica que debe estar entre 2.3 y 3.1. Por lo tanto sí cumple porque el valor esta dentro del rango.
- Como puede observarse en la figura 11, la granulometría se encuentra dentro de los límites. Por lo tanto la granulometría en general está dentro de la especificación.

Tabla VIII. Granulometría del agregado fino de aldea Vásquez

Tamiz No.	Porcentaje que pasa
3/8" (9.5 mm)	100.00%
No. 4 (4.75 mm)	84.78%
No. 8 (2.36 mm)	52.56%
No. 16 (1.18 mm)	31.16%
No. 30 (600 μm)	19.34%
No. 50 (300 μm)	12.47%
No. 100 (150 μm)	7.29%

Figura 12. Curva granulométrica del agregado fino de aldea Vásquez



Fuente: Informe de la norma ASTM C-33 para agregado fino entregado por el CII

Tabla IX. Características físicas del agregado fino de aldea Vásquez

Peso específico	2.60
Peso unitario (kg/m ³)	1683.32
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1452.34
Porcentaje de vacíos	35.36%
Porcentaje de absorción	2.02%
Contenido de materia orgánica	1
Porcentaje que pasa el tamiz 200	10.08%
Módulo de finura	3.92

Según los límites que establece la especificación ASTM C-33, del análisis de los resultados que aparecen en las tablas VIII y IX se puede decir que

- El contenido de materia orgánica según la clasificación colorimétrica fue 1, por lo tanto cumple con el límite que es 3.
- El porcentaje que pasó por el tamiz 200 fue 10.08%. El límite cuando se trata de arena manufacturada es hasta 7 %, por lo tanto no cumple.
- El módulo de finura es 3.92, la especificación indica que debe estar entre 2.3 y 3.1. No cumple.
- Como puede observarse en la figura 12, la granulometría se cumple en dos tamices (100 y 50) y en los demás no. Por lo tanto la granulometría en general no está dentro de la especificación.

El peso específico, peso unitario y porcentaje de absorción son características físicas propias de cada material que sirven para elaborar la mezcla de concreto.

Como se observa el agregado fino del banco del río Samalá cumple con la mayoría de las especificaciones estándar que da la norma ASTM C-33, sin embargo el contenido de materia orgánica sobrepasa el límite, en relación al agregado fino del banco de aldea Vásquez, no cumple las especificaciones estándar que da la norma ASTM C-33, por lo tanto ambos son considerados inadecuados para ser usados como agregado fino para concreto.

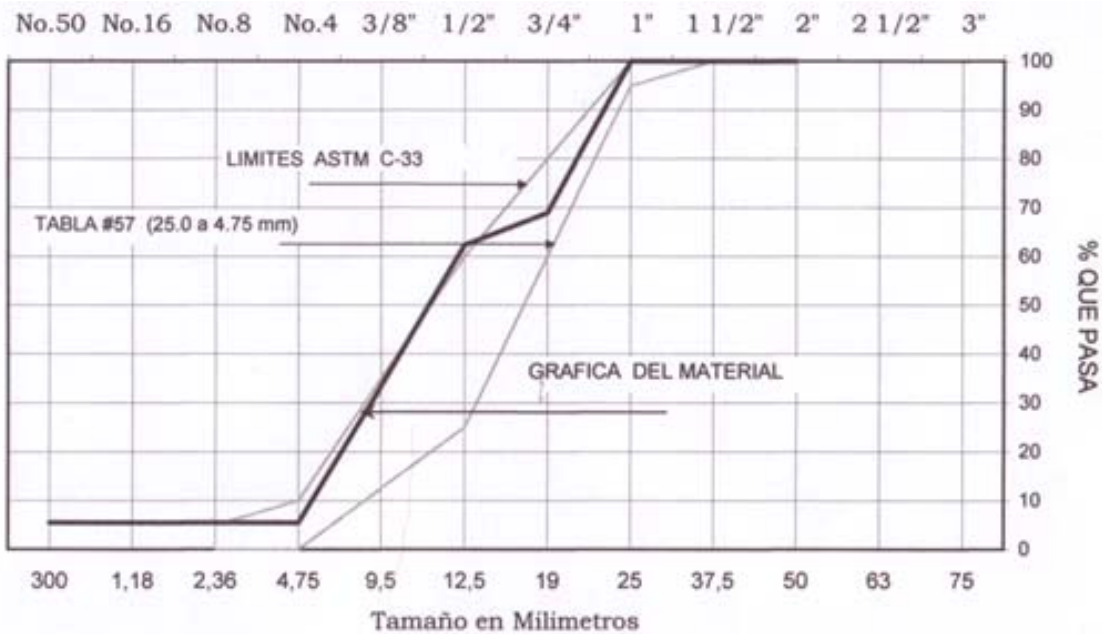
3.1.1.2 Agregado grueso

Para determinar las propiedades físicas del agregado grueso se realizaron seis pruebas de laboratorio, los resultados de éstas se muestran en la tabla X y tabla XI, además, en la figura 13 se observa la curva granulométrica con los límites que establece la norma C-33 indicados.

Tabla X. Granulometría del agregado grueso de aldea Vásquez

Tamiz No.	Porcentaje que pasa
1 ½ pulgadas.	100.00%
1 pulgadas.	100.00%
¾ pulgadas.	68.90%
½ pulgadas.	62.30%
⅜ pulgadas.	33.40%
¼ pulgadas.	5.46%
1/8 pulgadas.	5.46%

Figura 13. Curva granulométrica del agregado grueso



Fuente: Informe de la norma ASTM C-33 para agregado grueso entregado por el CII

Tabla XI. Características físicas del agregado grueso de aldea Vásquez

Peso específico	2.58
Peso unitario (kg/m ³)	1510.36
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1379.21
Porcentaje de vacíos	41.53
Porcentaje de absorción	2.15

Según los límites que establece la especificación ASTM C-33, se puede observar en la figura 13 que la granulometría está dentro de los límites en 5 tamices (2", 1 1/2", 1", 3/4", 3/8",) y está fuera en 1 (3/4"), por lo tanto si cumple con las especificaciones establecidas en la norma antes mencionada.

El resto de propiedades físicas proporcionadas en el informe del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala son propias del material y son consideradas al realizar la mezcla de concreto, en este caso se puede ver que se trata de un material muy poroso y absorbente debido al alto porcentaje de vacíos (41.53), posee gran resistencia a la degradación mecánica como se verá a continuación.

3.1.2 Resultados de los ensayos de agregados según los requerimientos de la norma ASTM C-131

Se tamizó una cantidad representativa del material y según los porcentajes retenidos en cada tamiz se clasificó el tipo de desgaste como “B”. Al realizar el ensayo utilizando la máquina de los Ángeles se obtuvo un desgaste del 19.7 por ciento, la norma establece que no debe ser más del 50 por ciento, por lo tanto si cumple e indica que se tiene un agregado grueso con dureza y tenacidad apta para concreto estructural.

3.1.3 Resultados de los ensayos de agregados según los requerimientos de la norma ASTM C-289

El ensayo de reactividad potencial se le aplicó a una muestra de cada banco, en el caso de aldea Vásquez tanto el agregado fino como el grueso están hechos de la misma roca con las mismas propiedades químicas. El resultado del ensayo de reactividad potencial en ambas muestras fue inocuo, lo cual indica que los minerales silícicos que posee esta roca no producirán una reacción dañina con los álcalis del cemento Pórtland, aunque el agregado proveniente de aldea Vásquez casi cruza el límite para ser catalogado como dañino por su alto contenido de silicio.

Sin embargo, esta norma aclara en su tercer inciso que la información obtenida con este ensayo no es completamente fiable en todos los casos y debe complementarse con otros métodos (ASTM C-295 y/o ASTM C-227).

3.1.4 Resultados de los ensayos de agregados según los requerimientos de la norma ASTM C-295

El análisis petrográfico se realizó para las muestras obtenidas de cada banco, en dos partes, la primera fue el análisis con un microscopio estereoscópico del agregado fino en el Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas de la Universidad de San Carlos de Guatemala, y la segunda fue un análisis químico de óxidos para determinar el tipo de roca que constituía la muestra de agregado de aldea Vásquez, en el caso de la muestra del río Samalá no es necesario realizar el análisis químico debido a que contiene material diverso. Los resultados se presentan y analizan a continuación iniciando con el agregado fino y luego el agregado grueso.

3.1.4.1 Agregado fino

Utilizando el material tamizado del ensayo de granulometría se realizó el análisis petrográfico para cada número de tamiz, haciendo cuarteos y contando un mínimo de 150 partículas cuando se disponía de ellas. Luego se clasificó el tipo de partículas y minerales que contenía cada muestra utilizando un microscopio estereoscópico, las partículas se clasificaron en seis tipos, estos son: riolitas, andesitas, pómez, escoria volcánica, vidrio volcánico y el mineral hornblenda. A continuación se muestra el porcentaje de material retenido en cada tamiz (tablas XII y XV) y los resultados de la caracterización de partículas (tablas XIII, XIV, XVI y XVII), con sus respectivas gráficas (figuras 14 y 15) del río Samalá y aldea Vásquez respectivamente.

Tabla XII. Porcentaje de agregado fino retenido en cada tamiz del río Samalá

Tamiz No.	Porcentaje retenido
3/8" (9.5 mm)	0.00%
No. 4 (4.75 mm)	1.60%
No. 8 (2.36 mm)	6.49%
No. 16 (1.18 mm)	13.77%
No. 30 (600 µm)	20.64%
No. 50 (300 µm)	35.20%
No. 100 (150 µm)	18.88%
Fondo	3.42%
Total	100%

Tabla XIII. Conteo de los tipos de partículas que componen el agregado fino del río Samalá

TIPO	NUMERO DE PARTÍCULAS POR TAMIZ					
	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100
POMES	22	93	45	59	18	2
VIDRIO	0	1	9	25	73	62
CUARZO	7	26	53	41	45	52
ANDESITA	20	32	39	22	20	31
HORNBLENDA	0	0	2	3	3	6
	49	152	148	150	159	153

Tabla XIV. Porcentaje de partículas que componen el agregado fino por tamiz del río Samalá

TIPO	PORCENTAJE DE PARTÍCULAS POR TAMIZ					
	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100
POMES	44,90	61,18	30,41	39,33	11,32	1,31
VIDRIO	0,00	0,66	6,08	16,67	45,91	40,52
CUARZO	14,29	17,11	35,81	27,33	28,30	33,99
ANDESITA	40,82	21,05	26,35	14,67	12,58	20,26
HORNBLENDA	0,00	0,00	1,35	2,00	1,89	3,92
	100	100	100	100	100	100

Como puede observarse, los resultados mostrados en las tablas XII, XIII y XIV indican que la muestra de material está formada por distintas partículas entre las que sobresalen, alto contenido de pómez, le sigue el cuarzo y la andesita, esto se debe a que en un río se acarrear todo tipo de materiales. Para una mejor interpretación de los resultados obtenidos, se ha elaborado la gráfica de la figura 14 que muestra la distribución de los diferentes tipos de partículas por número de tamiz.

Figura 14. Distribución de los diferentes componentes del agregado fino según el número de tamiz del río Samalá

GRAFICA DE DISTRIBUCIÓN DE PARTÍCULAS DEL RÍO SAMALA

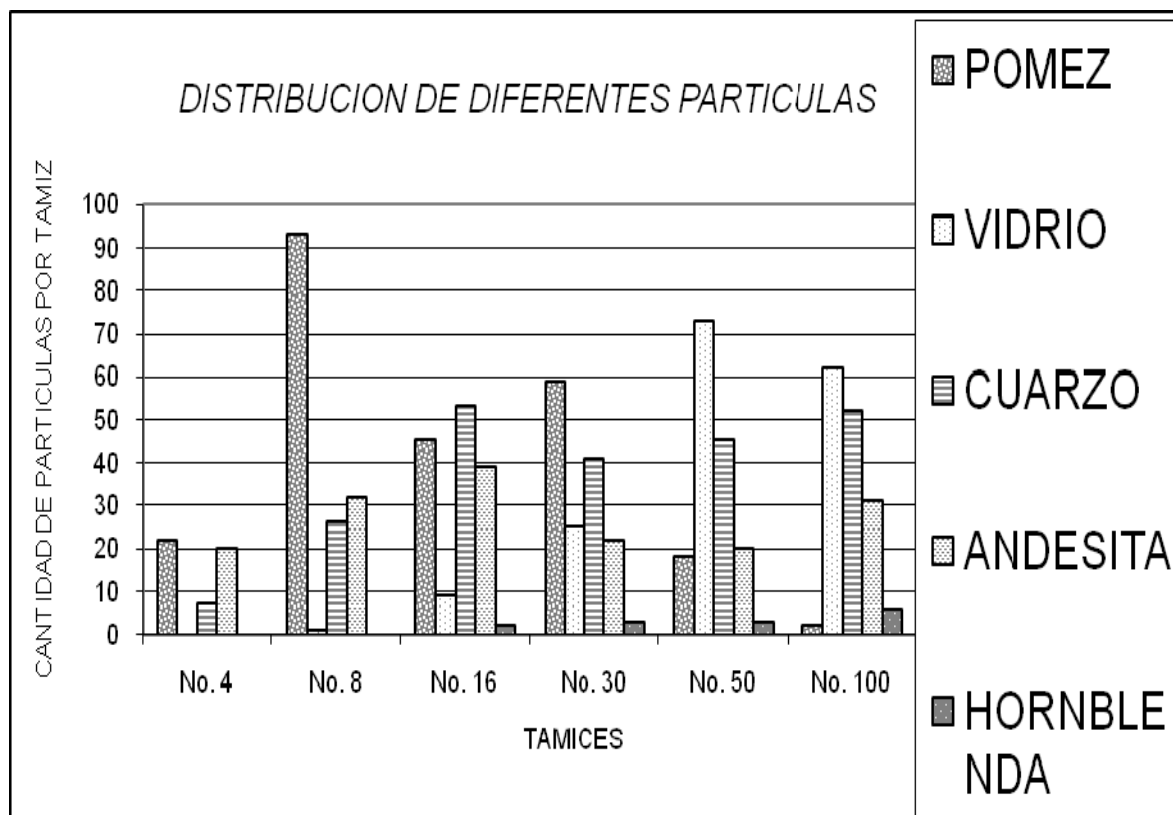


Tabla XV. Porcentaje de agregado fino retenido en cada tamiz de aldea Vásquez

Tamiz No.	Porcentaje retenido
3/8" (9.5 mm)	0.00%
No. 4 (4.75 mm)	15.22%
No. 8 (2.36 mm)	32.22%
No. 16 (1.18 mm)	21.40%
No. 30 (600 µm)	11.82%
No. 50 (300 µm)	6.87%
No. 100 (150 µm)	5.18%
Fondo	7.29%
Total	100%

Tabla XVI. Conteo de los tipos de partículas que componen el agregado fino de Aldea Vásquez

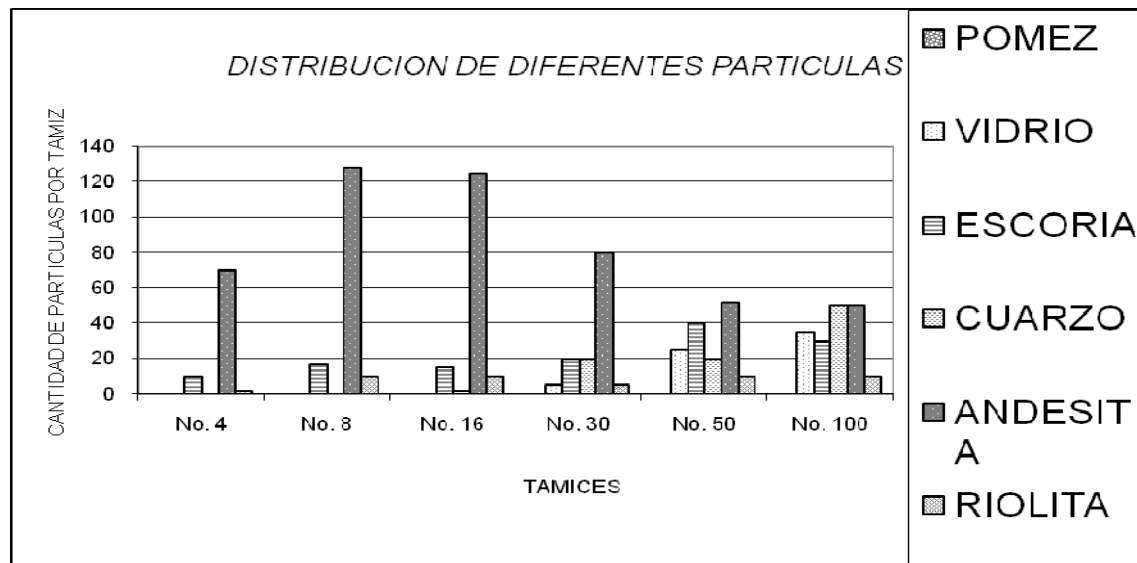
TIPO	NUMERO DE PARTÍCULAS POR TAMIZ					
	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100
POMEZ	0	0	0	0	0	0
VIDRIO	0	0	0	5	25	35
ESCORIA	10	17	15	20	40	30
CUARZO	0	0	2	20	20	50
ANDESITA	70	128	125	80	52	50
RIOLITA	2	10	10	5	10	10
	82	155	152	130	147	175

Tabla XVII. Porcentaje de partículas que componen el agregado fino por tamiz de aldea Vásquez

TIPO	PORCENTAJE DE PARTÍCULAS POR TAMIZ					
	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100
POMEZ	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
VIDRIO	0,00	0,00	0,00	3,85	17,01	20,00
ESCORIA	12,20	10,97	9,87	15,38	27,21	17,14
CUARZO	0,00	0,00	1,32	15,38	13,61	28,57
ANDESITA	85,37	82,58	82,24	61,54	35,37	28,57
RIOLITA	2,44	6,45	6,58	3,85	6,80	5,71
	100	100	100	100	100	100

Como puede observarse, los resultados mostrados en las tablas XV, XVI y XVII indican que la muestra está compuesta principalmente de andesita, roca con alto contenido de sílice que es considerada reactiva. Además, la muestra está compuesta en promedio de casi el 20 por ciento de cuarzo y vidrio volcánico dañinos para el concreto.

Figura 15. Distribución de los diferentes componentes del agregado fino según el número de tamiz de aldea Vásquez



3.1.4.2 Agregado grueso

Como primer paso del análisis del agregado grueso, se caracterizó la roca macroscópicamente, de esta forma se contó con una guía al realizar el análisis químico de óxidos, con el cual se determinó el tipo exacto de roca y así se pudo conocer la composición mineralógica de forma precisa. Las características macroscópicas son las siguientes

- Tipo: roca ígnea
- Subtipo: extrusiva o volcánica
- Color: gris oscuro
- Textura: porfirítica
- Estructura: traquítica (microscópica)
- Nombre: andesita

Cabe mencionar que la andesita es una roca volcánica (ígnea extrusiva) característica de las rocas que surgen cerca de cadenas montañosas.

3.1.4.2.1 Composición química

El análisis químico se realizó en el Laboratorio de Química Industrial (CaO, MgO, Al₂O₃ y Fe₂O₃) del CII y en el Laboratorio Técnico del Ministerio de Energía y Minas (SiO₂). Los informes entregados por los laboratorios se presentan en el anexo, los resultados se muestran en la tabla XVIII

Tabla XVIII. Composición química del agregado grueso

Óxido	Porcentaje
CaO	2.16
MgO	6.32
Al ₂ O ₃	0.53
Fe ₂ O ₃	29.2
SiO ₂	57.50

Al igual que la caracterización macroscópica, la composición química de la muestra caracteriza a la roca como una Andesita, según bibliografía consultada (*Igneous and Metamorphic Petrology, apéndice D*). Esta roca se considera no apta para ser usada como agregado para concreto debido a que su nivel de sílice es elevado y podría provocar las reacciones químicas expansivas que fueron descritas en el marco teórico.

4 PRINCIPALES NORMAS RELACIONADAS Y SU FACTIBILIDAD DE APLICACIÓN

En este trabajo se han abordado cuatro normas para analizar de forma completa los agregados en estudio, evaluando propiedades físicas, mecánicas y químicas. Sin embargo, las normas ASTM son muy específicas cuando se trata de un agregado, utilizado para un propósito en particular, es aquí donde se debe definir qué ensayos realizar.

Además de las normas incluidas en la especificación ASTM C-33 y las normas ASTM C-295, ASTM C-289 y ASTM C-131, se consideran para el objetivo de este trabajo como normas complementarias o en algunos casos como sustitutas de las aplicadas (en función del tipo de material que se estudia), las normas que se describen y analizan a continuación.

3.2 Bondad de los agregados por el uso de sulfato de sodio o sulfato de magnesio, ASTM C-88

Este ensayo determina la resistencia a la desintegración del agregado, cuando está sujeto a la acción del clima en el concreto u otras aplicaciones. Esto se logra sumergiendo la muestra en soluciones saturadas de sulfato de sodio o sulfato de magnesio, seguido de un secado al horno para secar total o parcialmente la sal en los espacios permeables de los poros. Proporciona una información valiosa para determinar la bondad de los agregados sujetos a la acción de la intemperie, particularmente cuando no hay información adecuada del historial climático y de formación geológica.

El método de la bondad de agregados provee un procedimiento para hacer una estimación preliminar de la calidad de los agregados. Los valores obtenidos pueden ser comparados con la especificación ASTM C-33, que fue diseñada para indicar las características apropiadas que deben tener los agregados. La precisión del valor del desgaste de este método es baja, por lo que no es adecuado para rechazar agregados sin una confirmación de otras pruebas relacionadas con el servicio específico que se pretende.

Figura 16. Resultados de los ensayos de agregados según los requerimientos de la norma ASTM C-88

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)	-----	-----	-----	-----	-----
3/4" (19.05 mm)	3/8" (9.52 mm)	37.69	1000.7	985.2	1.55	0.58
3/8" (9.52 mm)	No. 4 (4.76 mm)	56.83	300	292.3	2.57	1.46
	Fondo	5.46	-----	-----	-----	-----
TOTALES		99.98	1301	-----	-----	2.04

Como puede observarse en la figura 16 el material no sufre gran porcentaje de desintegración y como se había afirmado en los resultados de la norma ASTM C-33 es un material que posee gran resistencia a la degradación mecánica, con dureza y tenacidad apta para concreto estructural.

4.1.1 Factibilidad de aplicación

Esta prueba brinda resultados rápidos y la norma indica que solamente son preliminares, por lo que deben ser comparados con la especificación ASTM C-33, ya que la ASTM C 88 no es por si misma lo suficientemente fiable como para determinar la calidad del agregado, además debe tenerse cuidado para fijar los límites de los resultados de esta norma en cualquier especificación, debido a que el ensayo varía considerablemente en el porcentaje de masa perdida dependiendo de la sal que sea utilizada y de la calidad del agregado.

4.2 Método de la barra de mortero para determinar la reactividad potencial de los álcalis en combinaciones cemento-agregados, ASTM C-227

Este método de ensayo sirve para determinar la expansión potencial debida a reactividad de los álcalis en las combinaciones de cemento y agregados, midiendo la expansión desarrollada por las combinaciones en barras de mortero, durante el almacenaje bajo condiciones específicas por el ensayo.

Se reconocen dos tipos de reactividad de los álcalis con los agregados: la primera es la reacción álcali-sílice, que involucra ciertas rocas silíceas, minerales y vidrio natural o artificial y la segunda es la reacción álcali-carbonato que involucra dolomita, calcita y calizas dolomíticas. Este método no se recomienda cuando se trata de álcali-carbonato, debido a que la expansión en esta reacción es mucho más pequeña que la producida por el álcali-sílice teniendo a largo plazo los mismos efectos perjudiciales.

4.2.1 Factibilidad de aplicación

Esta norma sólo puede ser usada para la reacción álcali-sílice y es complementaria a la de reactividad potencial por el método químico y el análisis petrográfico, posee la ventaja de medir físicamente las expansiones producidas por las reacciones químicas, condición que ninguno de los otros dos ensayos logra para este tipo de reacción. Este ensayo es idóneo para una cantera que aún está en fase de estudios previos a la explotación y tiene potencial para producir por muchos años, ya que su realización toma largo tiempo, desde un mínimo de un año para tener suficiente información, hasta varios años después si se desea. Por otro lado, si se requiere información sobre agregados que ya han sido usados, el análisis petrográfico brinda información rápida aunque no cuantitativa de los daños que pueden causar los minerales dañinos.

Si bien el método de la barra de mortero puede dar una buena idea sobre reactividad en los primeros años de un concreto, no permite establecer qué sucederá varias décadas después de su elaboración.

4.3 Reactividad potencial de los álcalis en rocas carbonáticas, ASTM C-586

Este método de prueba cubre la determinación de las características expansivas de las rocas carbonáticas mientras están sumergidas en una solución de hidróxido de sodio (NaOH) a temperatura controlada. Los cambios de longitud que se observa ocurren durante tal inmersión indican el nivel general de reactividad de las rocas. Este método está concebido como provisional más que como una especificación que deba cumplirse y solamente busca suplir información de registros de servicio de agregados, de exámenes petrográficos y otras pruebas.

4.3.1 Factibilidad de aplicación

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

4.4 Cambio potencial de volumen en combinaciones de cemento-agregados, ASTM C-342

Esta prueba cubre la determinación de la expansión potencial de combinaciones cemento-agregados, midiendo la expansión lineal desarrollada en barras de mortero sujetas a variaciones de temperatura y saturación de agua, bajo condiciones prescritas por el método.

Se ha encontrado que este método de prueba en algunos casos produce expansiones significativas cuando el cemento tiene pequeñas cantidades de álcalis, y en otros casos donde el agregado no es presuntamente reactivo a los álcalis. Ha sido sugerido que este método mide fenómenos de interacción, posiblemente efectos de microfracturamiento que son en algunos casos de origen físico y en otros quizá químico.

4.4.1 Factibilidad de aplicación

Tal y como lo dice esta norma, muchas veces agregados aparentemente inocuos sufren cambios de volumen que no tienen que ver necesariamente con las propiedades químicas, si no mas bien con las propiedades físicas como la temperatura y saturación de agua.

Hasta ahora no se había considerado este tipo de expansiones para los bancos en estudio de este trabajo, por lo que sería muy útil tener la información completa acerca de este fenómeno. La duración de las mediciones en este ensayo es de 52 semanas.

CONCLUSIONES

1. Conforme a la recopilación de los resultados y a la caracterización de los bancos se determina que ambas muestras de agregado fino no cumplen con algunas de las especificaciones de las normas correspondientes por lo tanto son consideradas inadecuadas para mezcla de concreto.
2. El agregado grueso cumple con el límite de desgaste proporcionado por la norma ASTM C-131 por lo tanto este agregado podría ser utilizado para la fabricación de concretos.
3. Conforme al análisis petrográfico fino y el análisis de óxidos del agregado grueso de Aldea Vásquez, se encontró que están formados principalmente de andesita, cuarzo y vidrio volcánico. En el caso del agregado fino proveniente del río Samalá, se encontró que está formado por un alto contenido de pomez, cuarzo y andesita, no recomendables para el concreto porque pueden dañarlo provocando agrietamientos debido a que son minerales vivos que cambian su forma según el tiempo transcurre.
4. Se analizó la factibilidad de aplicación de cuatro normas consideradas las más importantes para que el ensayo de éstas brindaría información más amplia del desempeño de los agregados en estudio, no obstante, las cuatro normas aplicadas bastaron para dar un dictamen sobre la calidad de los agregados.

RECOMENDACIONES

1. Tomar en cuenta la granulometría de los agregados según la especificación ASTM C-33 al realizar la trituración de las rocas o su extracción de ríos.
2. Realizar un análisis petrográfico de concretos de distintas edades para comprobar si realmente los agregados de la Aldea Vásquez y el Río Samalá son reactivos.
3. Buscar fuentes alternas de agregados y realizar los exámenes de calidad correspondientes antes que inicie la explotación, en este aspecto podría contarse con la ayuda de estudiantes de Ingeniería Civil que realizan EPS o trabajos de graduación.
4. Hacer del conocimiento de los usuarios la calidad de los agregados, publicando en la página de internet de la facultad de ingeniería un resumen del contenido de este documento, así como brindar una copia del presente a las autoridades correspondientes en el ramo de la construcción del departamento de Totonicapán a fin de que puedan darle el uso adecuado.

BIBLIOGRAFÍA

1. American Society for Testing and Materials. Annual Book of ASTM Standards. Volumen 04.02. EEUU.1990, 804 pp.
2. Beltranena, Emilio. Agregados para concreto. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de ingeniería, 1952. 255 pp.
3. García Makepeace, Ana Lucrecia. Evaluación de Calidad de los agregados en el Departamento de Huehuetenango para su utilización en la producción de concreto. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2006. 63 pp.
4. Pinto Alonso, Carlos Enrique. Caracterización de bancos para agregados de concreto y morteros, ubicados en los municipios de Tactic y San Cristóbal Verapaz, en el departamento de Alta Verapaz. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2004. 65 pp.
5. Román Ávila, Luis Rolando. Examen petrográfico y análisis mineralógico de los bancos de materiales de la ciudad de Chimaltenango. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2003. 63 pp.
6. Salguero Girón, Raúl Armando. Examen de calidad de agregados para concreto de dos bancos en la ciudad de Quetzaltenango. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2004. 55 pp.
7. Villegas Cancinos, Dionisio. Normas para la descripción y examen petrográfico de los componentes minerales de los agregados para concreto. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1992. 29 pp.

ANEXOS

A continuación se presentan los informes originales de los ensayos de laboratorio entregados por el Centro de Investigaciones de Ingeniería, estos son: especificaciones generales ASTM C-33 para agregado fino y grueso y desgaste por abrasión para el agregado grueso (ASTM C-131), reactividad potencial de las dos muestras de agregados (ASTM C-289), el ensayo de bondad de agregado grueso (ASTM C-88), el análisis de óxidos (CaO, MgO, Al₂O₃ y Fe₂O₃), los informes originales de los ensayos petrográficos de agregado fino y grueso (ASTM C-295) entregados por el Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas. Por último se muestra el informe del contenido de silicio proporcionado por el Laboratorio Técnico del Ministerio de Energía y Minas.

Figura 17. Informe de ensayos de agregado fino del río Samalá, según los requerimientos de la norma ASTM C-33

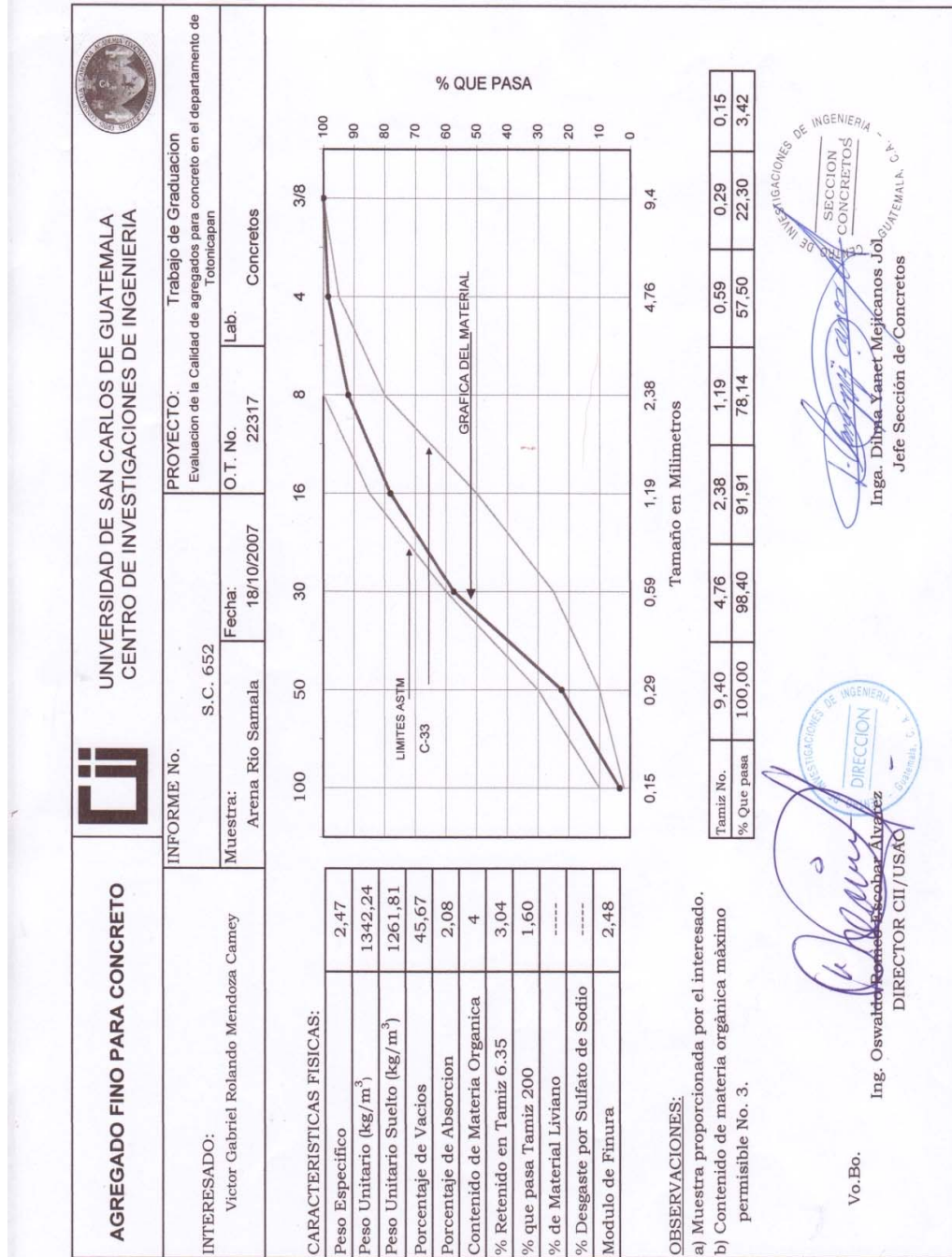


Figura 18. Informe de los ensayos de agregado fino de aldea Vásquez, según los requerimientos de la norma ASTM C-33

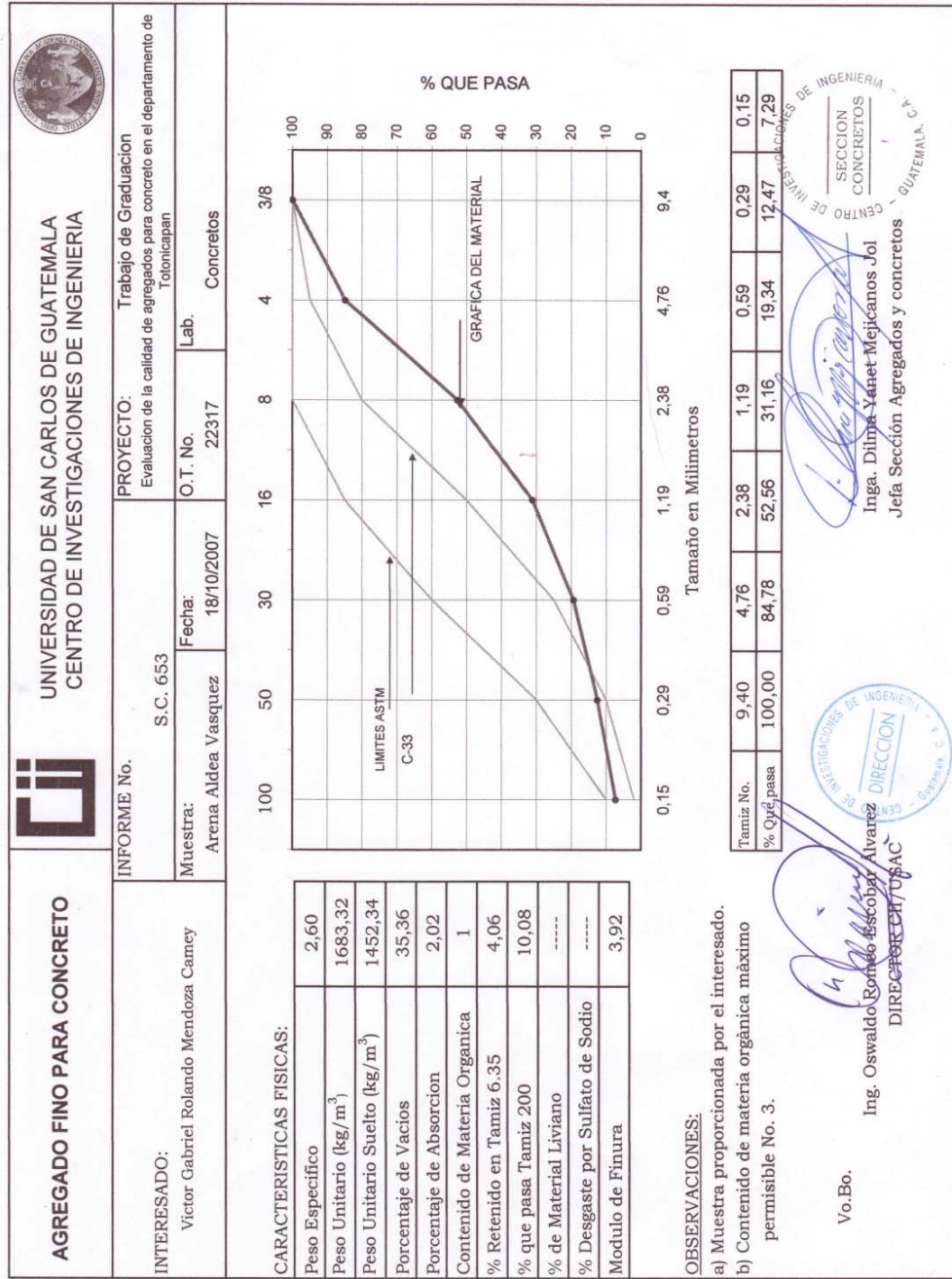


Figura 19. Informe de los ensayos de agregado grueso de aldea Vásquez, según los requerimientos de la norma ASTM C-33

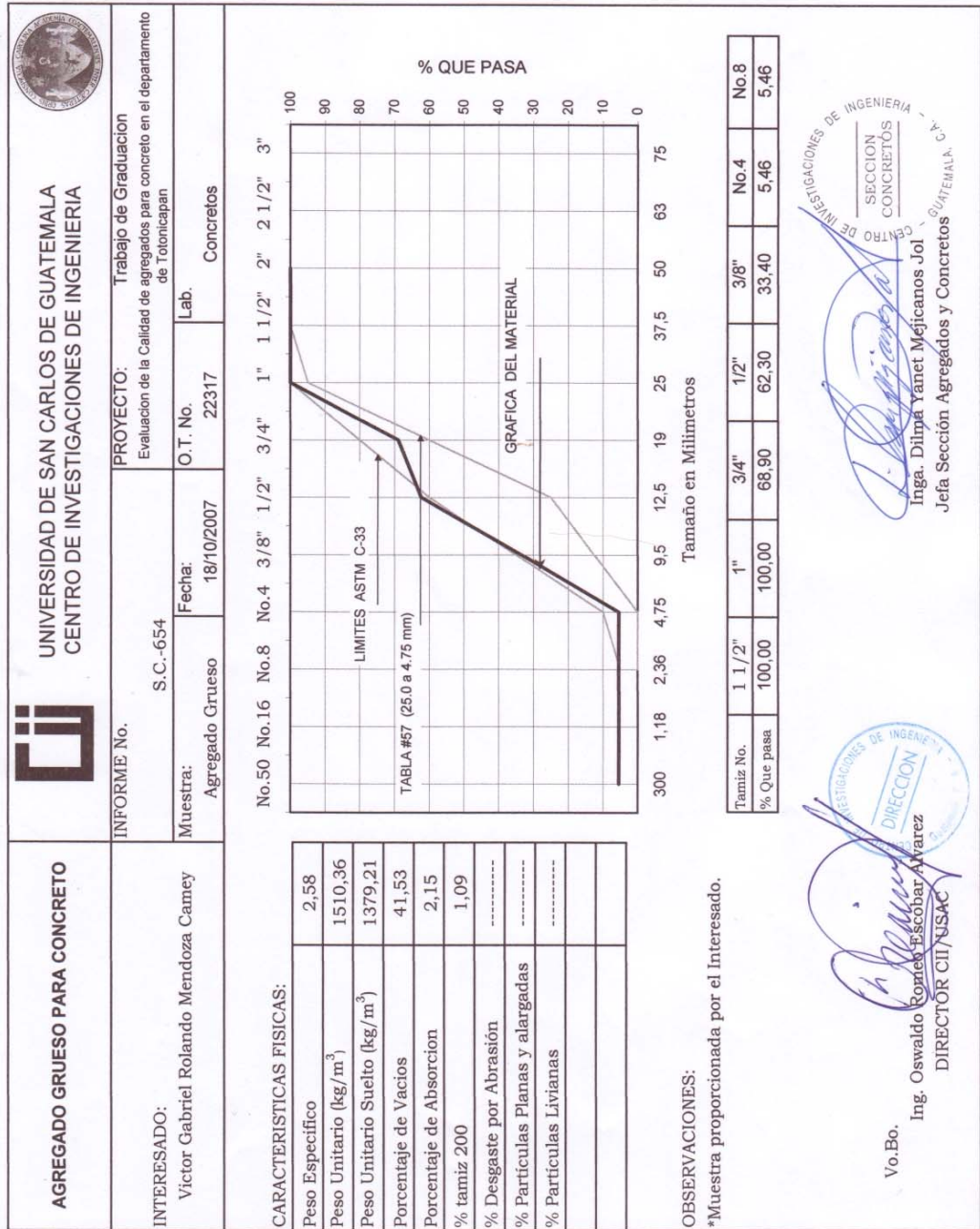


Figura 20. Informe de los ensayos de agregados, según los requerimientos de la norma ASTM C-131



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



INFORME No. S.C. 657 O.T. No. 22317

INTERESADO: Victor Gabriel Rolando Mendoza Carney
 ASUNTO: ENSAYO DE DESGASTE POR ABRASION EN MAQUINA DE LOS ANGELES PARA AGREGADO GRUESO.
 PROYECTO: Trabajo de Graduacion: Evaluacion de la calidad de los Agregados para concreto en el departamento de Totonicapan
 PROCEDENCIA: Departamento de Totonicapan
 FECHA: 18 de octubre de 2007.

REFERENCIAS	MUESTRAS			
	1	2	3	4
1. Norma de Ensayo	ASTM C-131	*****	*****	*****
2. Graduación	"B"	*****	*****	*****
3. % Desgaste	19,7	*****	*****	*****

OBSERVACIONES: a) Muestra proporcionada por el interesado.

ATENTAMENTE,



Vo.Bo.
Ing. Oswaldo Romeo Escobar Alvarez
Director CI/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 21. Informe de los ensayos de agregados, según los requerimientos de la norma ASTM C-289



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



O.T. No 22318.
No. Informe Lab. 60-07

Interesado: Víctor Gabriel Rosendo Mendoza
Muestra: 2 muestras de Agregado (Grueso y Fino).
Fecha: Guatemala, 14 de noviembre de 2007

Determinación de la reactividad potencial de un agregado para concreto según norma ASTM C-289.

MUESTRA*	Silice disuelto (mmol/L)	Reducción Alcalina (mmol/L)	RESULTADO
Agregado Grueso Aldea Vásquez	40.86 +/- 2.30	76.65 +/- 11.73	INOCUO
Agregado Fino Río Samalá	7.95 +/- 6.32	295.70 +/- 36.39	INOCUO

* Muestra proporcionada por el interesado

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

Vo.Bo. Ing. Oswaldo Romeo Escobar Álvarez
Director
Centro de Investigaciones de Ingeniería CI/USAC

Figura 22. Resultado gráfico de los ensayos de agregados, según los requerimientos de la norma ASTM C-289



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

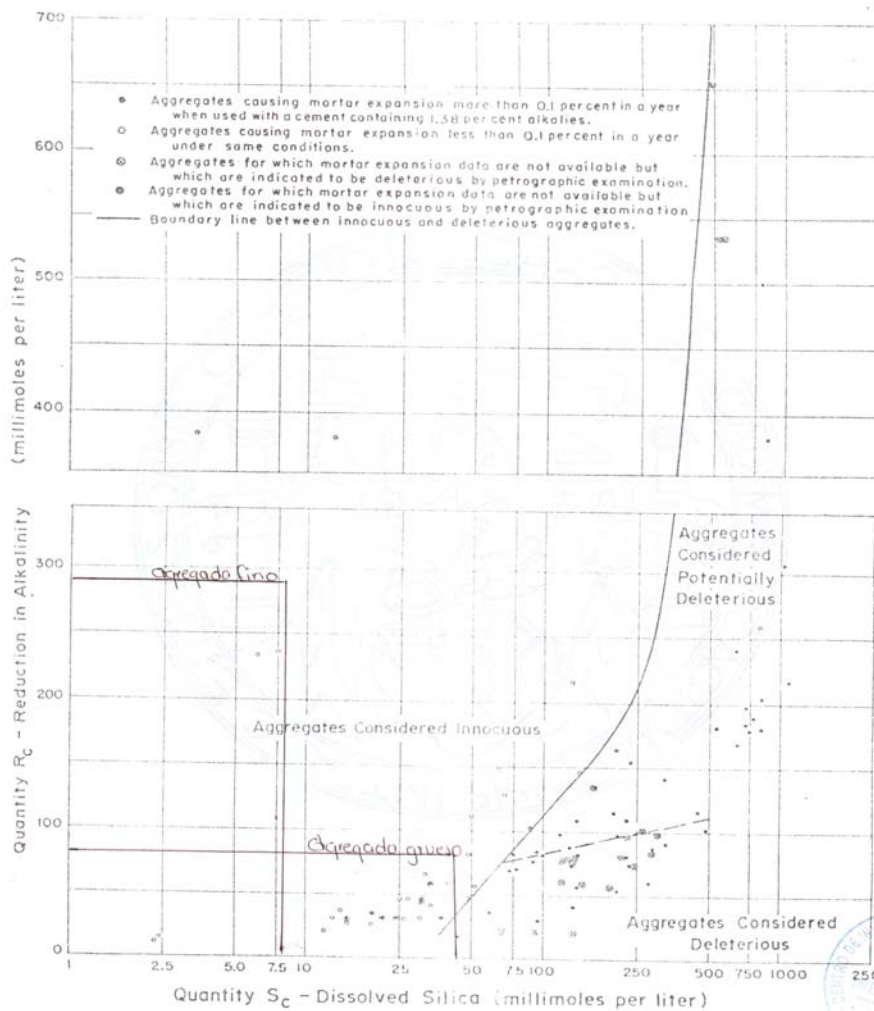


FIG. 2 Illustration of Division Between Innocuous and Deleterious Aggregates on Basis of Reduction in Alkalinity Test

Figura 23. Informe de los ensayos de agregados, según los requerimientos de la norma ASTM C-88



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



INFORME No. S.C. - 688

O.T.No. 22317

INTERESADO: Victor Gabriel Rolando Mendoza

ASUNTO: Ensayo de bondad en Agregado grueso

MATERIAL: Agregado Grueso

PROYECTO: Trabajo de Graduacion "Evaluacion de la calidad de agregados para concreto en el departamento de Totonicapan"

PROCEDENCIA: Aldea Vasquez
Solución utilizada: Sulfato De Sodio

FECHA: 27 de Octubre de 2007.

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)	-----	-----	-----	-----	-----
3/4" (19.05 mm)	3/8" (9.52 mm)	37.69	1000.7	985.2	1.55	0.58
3/8" (9.52 mm)	No. 4 (4.76 mm)	56.83	300	292.3	2.57	1.46
	Fondo	5.46	-----	-----	-----	-----
TOTALES		99.98	1301	-----	-----	2.04

OBSERVACIONES:
a) Muestra proporcionada por el interesado

Atentamente,

Vo.Bo.



Ing. Oswaldo Romeo Escobar Alvarez
Director CII/USAC





Inga. Dilma Yanet Mejicanos
Jefe 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 24. Resultados del análisis de óxidos del agregado grueso



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



O.T. No 22366.

No. Informe Lab. 61-07

Interesado: Víctor Gabriel Rolando Mendoza
Muestra: 1 muestras de Agregado Grueso
Fecha: Guatemala, 15 de noviembre de 2007

Determinación del contenido de oxido de calcio (CaO), oxido de magnesio (MgO), oxido de aluminio (Al_2O_3), oxido de hierro (Fe_2O_3) y oxido de Silicio (SiO_2)

PARAMETROS	Contenido (%)
Oxido de Calcio (Cao)	2.16 +/- 0.14
Oxido de Magnesio (MgO)	6.32 +/- 0.48
Oxido de Aluminio (Al_2O_3)	0.53 +/- 0.08
Oxido de Hierro (Fe_2O_3)	29.2 +/- 1.11
Residuo Insoluble (SiO_2 + impurezas)	61.14 +/- 1.23

* 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 25. Informe de los ensayos de agregado fino del río Samalá, según los requerimientos de la norma ASTM C-295

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

HOJA 1 / 4

ANALISIS PETROGRAFICO Y MINERALOGICO

MUESTRA : ARENA DEL RIO SAMALÁ

INTERESADO : VICTOR GABRIEL ROLANDO MENDOZA CAMEY

FECHA : 24 DE OCTUBRE DEL 2007

EVALUACIÓN PETROGRÁFICA PARA DETERMINAR NÚMERO DE PARTICULAS POR MEDIO DE MICROSCOPIO ESTEREOSCOPICO SEGÚN NORMA ASTM C- 295

TIPO	NUMERO DE PARTICULAS POR TAMIZ					
	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100
POMEZ	22	93	45	59	18	2
VIDRIO	0	1	9	25	73	62
CUARZO	7	26	53	41	45	52
ANDESITA	20	32	39	22	20	31
HORNBLENDA	0	0	2	3	3	6
	49	152	148	150	159	153

TIPO	PORCENTAJE DE PARTÍCULAS POR TAMIZ					
	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100
POMEZ	44,90	61,18	30,41	39,33	11,32	1,31
VIDRIO	0,00	0,66	6,08	16,67	45,91	40,52
CUARZO	14,29	17,11	35,81	27,33	28,30	33,99
ANDESITA	40,82	21,05	26,35	14,67	12,58	20,26
HORNBLENDA	0,00	0,00	1,35	2,00	1,89	3,92
	100	100	100	100	100	100

Ingeniero Julio Roberto Luna Aroche
Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas
Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala



Escuelas: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS), Posgrado Maestría en Sistemas Mención Construcción y Mención Ingeniería Vial. Carreras: Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería en Ciencias y Sistemas, Licenciatura en Matemática, Licenciatura en Física. Centros: de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM). Guatemala, Ciudad Universitaria, Zona 12, Guatemala, Centroamérica.

Figura 26. Informe de los ensayos de agregado fino de aldea Vásquez, según los requerimientos de la norma ASTM C-295

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



HOJA 2 / 4

FACULTAD DE INGENIERIA

MUESTRA : ARENA DE ALDEA VASQUEZ

INTERESADO : VICTOR GABRIEL ROLANDO MENDOZA CAMEY

FECHA : 24 DE OCTUBRE DEL 2007

EVALUACIÓN PETROGRÁFICA PARA DETERMINAR NÚMERO DE PARTICULAS POR MEDIO DE MICROSCOPIO ESTEREOSCOPICO SEGÚN NORMA ASTM C- 295

TIPO	NUMERO DE PARTÍCULAS POR TAMIZ					
	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100
POMEZ	0	0	0	0	0	0
VIDRIO	0	0	0	5	25	35
ESCORIA	10	17	15	20	40	30
CUARZO	0	0	2	20	20	50
ANDESITA	70	128	125	80	52	50
RIOLITA	2	10	10	5	10	10
	82	155	152	130	147	175

TIPO	PORCENTAJE DE PARTÍCULAS POR TAMIZ					
	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100
POMEZ	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
VIDRIO	0,00	0,00	0,00	3,85	17,01	20,00
ESCORIA	12,20	10,97	9,87	15,38	27,21	17,14
CUARZO	0,00	0,00	1,32	15,38	13,61	28,57
ANDESITA	85,37	82,58	82,24	61,54	35,37	28,57
RIOLITA	2,44	6,45	6,58	3,85	6,80	5,71
	100	100	100	100	100	100

Ingeniero Julio Roberto Luna Aroche
Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas
Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala



Escuelas: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS), Posgrado Maestría en Sistemas Mención Construcción y Mención Ingeniería Vial. Carreras: Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería en Ciencias y Sistemas, Licenciatura en Matemática, Licenciatura en Física. Centros: de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM). Guatemala, Ciudad Universitaria, Zona 12, Guatemala, Centroamérica.

Figura 27. Gráficas de distribución de partículas

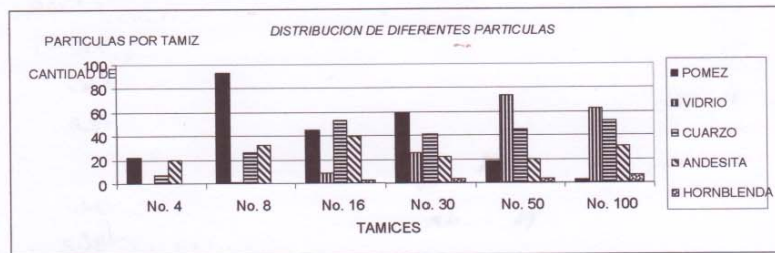
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



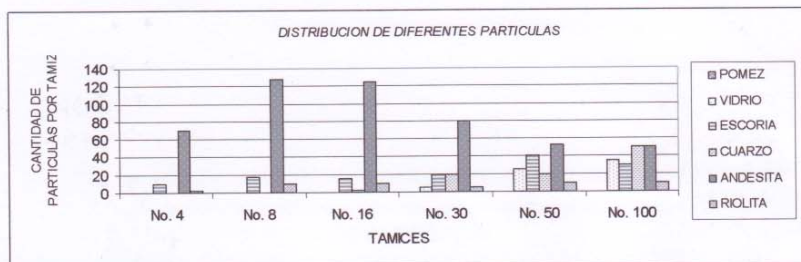
FACULTAD DE INGENIERIA

HOJA 3 / 4

GRAFICA DE DISTRIBUCIÓN DE PARTÍCULAS DEL RÍO SAMALA



GRAFICA DE DISTRIBUCIÓN DE PARTÍCULAS DE ALDEA VÁSQUEZ




Ingeniero Julio Roberto Luna Aroche
Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas
Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala



Escuelas: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS), Posgrado Maestría en Sistemas Mención Construcción y Mención Ingeniería Vial. Carreras: Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería en Ciencias y Sistemas, Licenciatura en Matemática, Licenciatura en Física. Centros: de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM). Guatemala, Ciudad Universitaria, Zona 12, Guatemala, Centroamérica.

Figura 28. Informe de caracterización macroscópica del agregado grueso de aldea Vásquez.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA




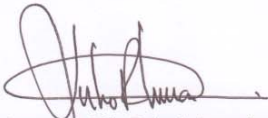
FACULTAD DE INGENIERIA

HOJA 4 / 4

MUESTRA : AGREGADO GRUESO DE ALDEA VÁSQUEZ
INTERESADO : VICTOR GABRIEL ROLANDO MENDOZA CAMEY
FECHA : 24 DE OCTUBRE DEL 2007
CARACTERIZACIÓN MACROSCÓPICA DE LA ROCA SEGÚN NORMA ASTM C- 295

- TIPO: ROCA ÍGNEA
- SUBTIPO: EXTRUSIVA O VOLCANICA
- COLOR: GRIS OSCURO
- TEXTURA: PORFIRÍTICA
- ESTRUCTURA: TRAQUITICA (MICROSCÓPICA)
- NOMBRE: ANDESITA

ANDESITA Es una roca volcánica (ígnea extrusiva) de composición intermedia y textura porfirítica (algunas veces afanítica), son las rocas características de los volcanes que surgen en, cerca o en relación con las grandes cadenas de montañas plegadas de la Tierra. Su nombre indica su ocurrencia en los Andes.



Ingeniero Julio Roberto Luna Aroche
Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas
Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala

Escuelas: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS), Posgrado Maestría en Sistemas Mención Construcción y Mención Ingeniería Vial. Carreras: Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería en Ciencias y Sistemas, Licenciatura en Matemática, Licenciatura en Física. Centros: de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM). Guatemala, Ciudad Universitaria, Zona 12, Guatemala, Centroamérica.

Figura 29. Resultados del análisis de silicio del agregado grueso

LABORATORIO TÉCNICO	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS REPUBLICA DE GUATEMALA	PAGINA 1 DE (1) MEM LAB-REP-1239-07 ORDEN No. L-562-07 GUATEMALA, 12-11-07									
RESULTADOS DE ANÁLISIS											
MUESTRA: Agregado PRESENTADA POR: Víctor Gabriel Mendoza Camey RESPONSABLE DEL MUESTREO: Desconocido PROCEDENCIA: USAC LOCALIZACION: 31 Av. "C" Lote 53 Zona 7 FECHA DE MUESTREO: Desconocida FECHA DE RECEPCION DE MUESTRA Y PAPELERIA: 30-10-07 FECHA DE ANALISIS: del 06 al 08-11-07 PRECIO DE ANALISIS: \$ 19.00 ANALISTA: Byron Rosales											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">DESCRIPCION</th> <th style="width: 20%;">TECNICA</th> <th style="width: 20%;">RESULTADOS (1)</th> <th style="width: 30%;">COMPUESTOS (2)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Silicio, % en peso</td> <td>E.A.A.</td> <td style="text-align: center;">26.87</td> <td style="text-align: center;">57.5 SiO₂</td> </tr> </tbody> </table>				DESCRIPCION	TECNICA	RESULTADOS (1)	COMPUESTOS (2)	Silicio, % en peso	E.A.A.	26.87	57.5 SiO ₂
DESCRIPCION	TECNICA	RESULTADOS (1)	COMPUESTOS (2)								
Silicio, % en peso	E.A.A.	26.87	57.5 SiO ₂								
Notas: Resultados válidos para la cantidad de muestra presentada al laboratorio Los resultados se presentan en forma elemental (1). El compuesto (2) se calculó por estequiometría. E.A.A. = Espectrometría de absorción atómica.											
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  Ing. Byron Rosales SECCION DE MINERALES </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;">  Vo. Bo. Ing. Mayra Villatoro COORDINADORA LABORATORIOS TÉCNICOS </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div>											

El presente informe no puede ser modificado ni reproducido sin autorización del Laboratorio Técnico.
 PBX (502) 2 477-0382 y (502) 2 476-0680 Fax (502) 2476-8506. Diagonal 17, 29-78, zona 11. Las Charcas, Guatemala, C. A. www.mem.gob.gt

