



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

**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**

**Carlos Enrique Pinto Alonzo
Asesorado por Ing. Civil José Gabriel Ordóñez Morales**

Guatemala, octubre de 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**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**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

CARLOS ENRIQUE PINTO ALONZO

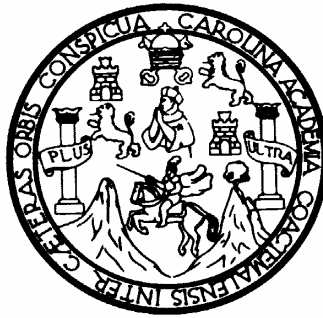
ASESORADO POR ING. CIVIL JOSÉ GABRIEL ORDÓÑEZ MORALES

AI CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2004

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA**



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Francisco Estuardo Ruiz Cruz
EXAMINADOR	Ing. Ronald Estuardo Galindo Cabrera
EXAMINADOR	Ing. Wuilliam Ricardo Yon Chavarría
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

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:

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

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 16 de marzo de 2004.

Carlos Enrique Pinto Alonzo

DEDICATORIA

A mis padres Manuel Pinto + Myra Alonso	Especialmente a mi madre a quien amo con todo el corazón
Mi esposa Ligia	Sin ti no hubiera sido posible, para ti especialmente
Mis hijas Karla, Ligia y Myra	Por su paciencia
Mis hermanos Bianka, Manuel y Jorge	Por su cariño y apoyo

AGRADECIMIENTOS

Ingeniero José Gabriel Ordoñez	Por su amistad y colaboración en la elaboración de este trabajo
Arquitecto Arturo Iglesias	Por animarme a continuar
Ingenieros Samuel Rojas, Jorge Maldonado, Leones Paiz	Para que se recuerden de lo que quedó pendiente
Ingeniero Héctor Carranza	Por sus consejos, gran amistad y cariño
Ingeniero Jorge Pérez +	Que estés bien
Ingeniero Raúl Salguero	Por su valiosa colaboración
Doctor Rodrigo Verdugo	Por su gran amistad
Arquitecto José Pedro Guirola	Por su apoyo y amistad

Mis amigos

Jorge González (lacho)

Carlos Aldana (bechil)

Rolando Ríos (horse)

Ada Lima

Patricia Pereira

Víctor Hernández (geñero)

Federico Pinillos (animal)

Fernando Verdugo (topsy)

Jhonny Gaitan (gay-tan)

Sergio Gaitan (puzunque)

Juan Antonio Morataya (zipitio)

Eduardo Oliva (bebuardo)

Por esos momentos inolvidables que hemos
vivido durante nuestra amistad

A las empresas e instituciones

MONOLIT, S.A.

CONCARZA

CII

CESEM

Por su apoyo

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	IV
GLOSARIO	VII
RESUMEN	XI
OBJETIVOS	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. MARCO TEÓRICO	1
1.1 Descripción general de la norma ASTM C 33-01.....	1
1.1.1 Agregado fino	1
1.1.1.1 Granulometría.....	2
1.1.1.2 Sustancias nocivas para el agregado fino.....	3
1.1.1.3 Contenido de materia orgánica.....	4
1.1.2 Agregado grueso.....	4
1.1.2.1 Granulometría.....	5
1.1.2.2 Sustancias nocivas en el agregado grueso.....	5
1.1.3 Absorción y contenido de humedad, peso específico y peso unitario.....	7
1.1.3.1 Absorción y contenido de humedad.....	7
1.1.3.2 Peso específico.....	8
1.1.3.3 Peso unitario.....	9
1.2 Descripción general de la norma ASTM C 295-01.....	10
1.2.1 Importancia y usos de los exámenes petrográficos.....	11
1.2.2 Toma de muestras.....	11
1.2.3 Toma de muestras en canteras en operación.....	12
1.2.4 Arena y grava natural.....	12

1.2.5	Examen de grava natural.....	13
1.2.5.1	Clasificación de la roca.....	14
1.2.5.2	Condiciones de las muestras.....	15
1.2.5.3	Registros.....	16
1.2.6	Examen de arena natural.....	17
1.2.7	Examen de roca triturada.....	18
1.2.8	Examen de roca anaquel o roca expuesta.....	18
1.2.9	Examen de núcleos de perforación.....	18
1.2.10	Informes y cálculos.....	19
1.3	Especificaciones adicionales para agregados, método para evaluar la reactividad de los agregados.....	20
1.3.1	Para agregado grueso.....	20
1.3.2	Para agregado fino.....	22
1.3.3	Componentes del cemento Pórtland.....	23
2.	DESCRIPCIÓN Y LOCALIZACIÓN DE LOS BANCOS SELECCIONADOS.....	25
2.1	Descripción de los bancos.....	25
2.2	Aspectos geológicos de la zona.....	28
2.3	Tipo de banco.....	29
2.4	Localización.....	29
3.	ENSAYOS DE LABORATORIO.....	31
3.1	Tabulación y análisis de resultados.....	32
3.1.1	Resultados de la norma ASTM C 33.....	32
3.1.1.1	Agregado fino clasificado del banco Rocjá.....	32
3.1.1.2	Agregado fino no clasificado del banco Rocjá....	34
3.1.1.3	Agregado fino del banco San Cristóbal.....	36
3.1.1.4	Agregado grueso clasificado.....	38

3.1.1.5	Agregado grueso no clasificado.....	40
3.1.2	Ensayos para determinar componentes y propiedades mineralógicas.....	43
3.1.2.1	Ensayo de reactividad potencial ASTM C 289....	43
3.1.2.2	Examen petrográfico.....	44
3.1.2.2.1	Examen petrográfico del banco Rocj.....	44
3.1.2.2.2	Examen petrográfico de San Cristóbal.....	46
4.	ELABORACIÓN DE MEZCLAS Y MORTEROS PARA VERIFICAR LA RESISTENCIA MECÁNICA.....	49
4.1	Ensayo de concreto a compresión.....	49
4.1.1	Banco Rocj: Agregado clasificado.....	49
4.1.2	Banco Rocj: Agregado no clasificado.....	51
4.2	Ensayo de morteros a compresión.....	52
4.2.1	Banco Rocj: Agregado fino clasificado.....	53
4.2.2	Banco Rocj: Agregado fino no clasificado.....	54
4.2.3	Agregado fino de San Cristóbal.....	55
4.3	Ensayo de morteros a tensión.....	56
4.3.1	Banco Rocj: Agregado fino clasificado	56
4.3.2	Banco Rocj: Agregado fino no clasificado.....	57
4.3.3	Agregado fino de San Cristóbal.....	58
	CONCLUSIONES.....	59
	RECOMENDACIONES.....	61
	BIBLIOGRAFÍA.....	63
	ANEXOS.....	65

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Proceso de extracción en el banco Rocjá.....	27
2.	Panorámica del banco Rocjá.....	27
3.	Extracción de agregado fino en San Cristóbal.....	28
4.	Localización y acceso a los bancos en estudio.....	30
5.	Curva granulométrica del agregado fino clasificado de Rocjá.....	33
6.	Curva granulométrica del agregado fino no clasificado de Rocjá.....	35
7.	Curva granulométrica del agregado fino San de San Cristóbal.....	37
8.	Curva granulométrica del agregado grueso clasificado.....	39
9.	Curva granulométrica del agregado grueso no clasificado.....	41
10.	Componentes minerales de la muestra de Rocjá para cada número de tamiz.....	45
11.	Informe de la norma C 33 para el agregado fino clasificado.....	67
12.	Informe de la norma C 33 para el agregado fino no clasificado.....	68
13.	Informe de la norma C 33 para el agregado fino de San Cristóbal.....	69
14.	Informe de la norma C 33 para el agregado grueso clasificado.....	70
15.	Informe de la norma C 33 para el agregado grueso no clasificado.....	71
16.	Informe de desgaste por abrasión del agregado clasificado.....	72
17.	Informe de desgaste por abrasión del agregado no clasificado.....	73
18.	Informe de la evaluación de óxidos y sulfatos de San Cristóbal.....	74
19.	Informe de la evaluación de óxidos de Rocjá.....	75
20.	Informe del contenido de sílice de Rocjá.....	76
21.	Informe de reactividad potencial del banco Rocjá.....	77
22.	Informe de reactividad potencial del banco San Cristóbal.....	78

23.	Informe de la resistencia de cilindros de concreto.....	79
24.	Informe de la resistencia de morteros a tensión y compresión.....	80

TABLAS

I.	Límites de granulometría según la norma ASTM C 33-01.....	2
II.	Clasificación de la arena por su módulo de finura.....	3
III.	Límites de sustancias nocivas en agregados finos	3
IV.	Cantidad de material en unidades de peso para realizar el cuarteo en el ensayo de contenido de humedad.....	8
V.	Composición y constitución del cemento Pórtland.....	23
VI.	Granulometría del agregado fino clasificado de Rocjá.....	33
VII.	Características físicas del agregado fino clasificado de Rocjá.....	34
VIII.	Granulometría del agregado fino no clasificado de Rocjá	35
IX.	Características físicas del agregado fino no clasificado de Rocjá.....	36
X.	Granulometría del agregado fino San Cristóbal.....	37
XI.	Características físicas del agregado fino San Cristóbal.....	38
XII.	Granulometría del agregado grueso clasificado	39
XIII.	Características físicas del agregado grueso clasificado.....	40
XIV.	Granulometría del agregado grueso no clasificado.....	41
XV.	Características físicas del agregado grueso no clasificado.....	42
XVI.	Resultados del ensayo de reactividad potencial.....	44
XVII.	Número de partículas por tamiz.....	46
XVIII.	Resultados del ensayo a compresión del concreto utilizando agregado clasificado.....	50

XIX. Resultados del ensayo a compresión del concreto utilizando agregado no clasificado.....	52
XX. Resultados de mortero a compresión para el agregado fino clasificado.....	53
XXI. Resultados de mortero a compresión para el agregado fino no clasificado.....	54
XXII. Resultados de mortero a compresión para el agregado fino del banco San Cristóbal.....	55
XXIII. Resultados de mortero a tensión para el agregado fino clasificado de Rocjá.....	56
XXIV. Resultados de mortero a tensión para el agregado fino clasificado de Rocjá 57.....	57
XXV. Resultados de mortero a tensión para el agregado fino de San Cristóbal.....	58

GLOSARIO

Agregado	Es el material inerte que, unido con un aglomerante en una masa conglomerada, forma concreto o mortero. Estos se dividen según su tamaño en finos y gruesos, el límite es el tamiz de 4.75 mm de abertura.
Álcalis	Hidróxidos que se forman cuando elementos alcalinos entran en contacto con el agua. En el cemento Pórtland estos elementos alcalinos son el sodio y el potasio.
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 continentales.
Arenisca	Roca sedimentaria formada por arena de cuarzo cuyos granos están unidos por un cemento silíceo, arcilloso, calizo o ferruginoso que le comunica mayor o menor dureza.

ASTM	Siglas que corresponden a la entidad <i>AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS</i> (Sociedad americana para pruebas y materiales).
Calcita	Carbonato de calcio, muy abundante, que cristaliza en formas del sistema hexagonal, generalmente blanco puro, a veces transparente.
Cuarzo	Mineral formado por la sílice, su fórmula química es SiO_2 , de fractura concoidea, brillo vítreo, incoloro cuando es puro, y de color que varía según las sustancias con que está mezclado y tan duro que raya el acero. Es el mineral más abundante y frecuente de la corteza terrestre.
Diaclasa	Superficie de ruptura en una roca, a lo largo de la cual no se ha producido desplazamiento entre los bloques originados.
Dolomita	Roca semejante a la caliza y formada por el carbonato doble de calcio y magnesio. Es más común que la verdadera caliza

Evaporita	Tipo de roca sedimentaria formada a partir de los residuos de antiguos mares o lagos evaporados en lugares áridos. Entre las evaporitas se incluyen los yesos, las halitas, las anhidritas y cualquier tipo de roca formada por precipitación en un ambiente evaporítico.
Lignito	Carbón mineral cuya composición es 60 a 75% de carbono, 20 a 30% de oxígeno y 5.5% de hidrógeno.
Mortero	Mezcla constituida por agua, arena y un aglomerante como el cemento Pórtland. Puede contener además un aditivo.
Hormigón	Mezcla compuesta de agregados de distintos tamaños y cemento. En Guatemala se le llama concreto.
Rocas sedimentarias	Rocas compuestas por materiales provenientes de otras rocas, formadas por la acumulación y consolidación de materia mineral pulverizada, depositada por la acción del agua. Las rocas sedimentarias se clasifican según su origen en detríticas o químicas.

RESUMEN

Se escogieron dos bancos de agregados el departamento de Alta Verapaz, uno localizado en Tactic y el otro en San Cristóbal Verapaz con el objetivo de determinar sus atributos como agregados para la fabricación de concretos y morteros.

Se tomaron dos muestras de agregado fino y grueso del banco Tactic, mientras que de San Cristóbal se tomó solamente una muestra, ya que en este banco sólo se extrae agregado para levantados y repellos de muros. Estas muestra fueron analizadas según las especificaciones de la Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales, aplicando tres de ellas. De esta forma se evaluaron las propiedades físicas, mecánicas y químicas, encontrándose que los agregados de los bancos Tactic y San Cristóbal son de buena calidad para ser usados en la construcción con cemento Pórtland, ya que no son reactivos, no contienen materia orgánica y tienen buena resistencia mecánica. El único inconveniente hallado fue la graduación granulométrica, sin embargo, se considera que sobre este aspecto se puede tener control.

Para verificar su resistencia mecánica en uso, se elaboraron pruebas de concreto y mortero, las cuales fueron ensayadas a compresión y tensión, encontrándose que todos los especímenes ensayados cumplieron con los requisitos que establecen las normas.

OBJETIVOS

- **General**

Determinar las propiedades físicas, mecánicas y mineralógicas de dos bancos de agregados ubicados en los municipios de Tactic y San Cristóbal Verapaz, en el departamento de Alta Verapaz.

- **Específicos**

1. Analizar y comparar las muestras obtenidas de los bancos, de acuerdo a los procedimientos y especificaciones que establece la norma ASTM C 33-01 para conocer sus propiedades físicas y mecánicas.
2. Identificar los componentes mineralógicos de las rocas que forman estos agregados por medio del examen petrográfico, para identificar posibles minerales o sustancias reactivas con los componentes del cemento Pórtland.
3. Ubicar y caracterizar los dos bancos de agregados en los municipios de Tactic y San Cristóbal Verapaz.
4. Elaborar mezclas de concreto y mortero para verificar la resistencia mecánica de dichos agregados en condiciones de uso.

INTRODUCCIÓN

La construcción de obras de concreto en el departamento de Alta Verapaz ha tenido un incremento considerable en los últimos años, y debido a la falta de información acerca de las propiedades y características de los agregados empleados, se utilizan materiales para la elaboración de mezclas de los cuales se ignoran sus propiedades.

En Guatemala se utilizan las normas ASTM para conocer y analizar las propiedades de los agregados para la elaboración de concreto y morteros. Estas normas tienen como objetivo establecer un control de calidad en materiales de construcción al analizar sus propiedades físicas, mecánicas y mineralógicas. Para este fin existe cierta cantidad de normas y especificaciones dirigidas directamente a agregados, de las cuales en este trabajo de graduación se aplicaron las siguientes: especificaciones generales sobre agregados, ensayo de reactividad potencial y el examen petrográfico, ASTM C 33, C 289 y C 295 respectivamente.

Además de los ensayos para el análisis de agregados, las normas ASTM recomiendan la elaboración de pruebas de concreto y mortero para verificar el desempeño de los agregados en condiciones de uso. Estas pruebas y sus resultados se presentan en la cuarta parte de este documento.

1. MARCO TEÓRICO

En esta parte se describen los lineamientos teóricos necesarios para el análisis y caracterización de los agregados de los bancos en estudio, según lo especifican las normas de la Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales ASTM (por sus siglas en inglés).

1.1 Descripción general de la norma ASTM C 33-01

Esta norma se emite bajo la designación C 33; el número que sigue a la designación inmediata indica el año de adopción original o en el caso de revisión, el año de última revisión.

Esta especificación define los requisitos de graduación y calidad de los agregados fino y grueso que serán usados para concreto estructural, por lo que es considerada adecuada para asegurar materiales satisfactorios para la mayoría de hormigones. Está reconocido que, para ciertos trabajos o en ciertas regiones puede haber diferentes restricciones. Por ejemplo, donde la estética es más importante deben considerarse más los límites restrictivos con respecto a las impurezas que mancharían la superficie del concreto.

1.1.1 Agregado fino

Los agregados finos pueden ser de origen natural, arenas manufacturadas, de roca triturada o bien una combinación de todas.

1.1.1.1 Granulometría

El agregado fino deberá estar graduado dentro de los límites que se muestran en la tabla I, y se clasificará según su módulo de finura tal y como aparece en la tabla II.

Tabla I. Límites de granulometría según la norma ASTM C 33-01

Tamiz	Porcentaje que pasa
3/8" (9.5 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 μm)	25 a 60%
No. 50 (300 μm)	10 a 30%
No. 100 (150 μm)	2 a 10%

Fuente: **Normas de la asociación Americana para el Ensayo de Materiales, Vol.004-03. Pág. 10**

El agregado fino no deberá tener más de 45 por ciento retenido entre 2 tamices consecutivos y su módulo de finura deberá estar entre 2.3 y 3.1. Si el agregado no cumple con estos requisitos puede utilizarse siempre y cuando cumpla con la prueba de esfuerzo del mortero que establece la norma C 87, donde es aceptada si después de los siete días la prueba presenta el 95% de su resistencia de diseño.

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 – 2.2 gramos
Muy fina	1.5 gramos

Fuente: **Gaitán Orozco, Análisis mineralógico y examen petrográfico de agregado fino para concreto de tres bancos de la región central del país. Pág. 25**

1.1.1.2 Sustancias nocivas para el agregado fino

En la prueba para agregado fino, la norma indica los porcentajes límites de sustancias nocivas permisibles, como se muestra en la tabla III.

Tabla III. Límites de sustancias nocivas 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 μ m):	
Concreto sujeto a abrasión	3.0 ^A
cualquier otro concreto	5.0 ^A
Carbón y lignito:	
cuando la apariencia del concreto es de importancia	0.5
cualquier otro concreto	1.0

Fuente: **ASTM, Vol.004-03. Pág. 11**

1.1.1.3 Contenido de materia orgánica

El contenido de impurezas orgánicas puede determinarse por medio de la prueba colorimétrica de impurezas orgánicas, donde, si ésta produce un color más oscuro de lo habitual (mayor que el número 3), será aceptado siempre y cuando se compruebe que el color oscuro se debe a la presencia de pequeñas partículas de carbón, lignito u otras partículas discretas similares.

La cantidad de impurezas orgánicas en los agregados finos no deberá exceder los valores de la tabla III.

Cuando el agregado fino no cumpla con estos requerimientos puede llegar a ser aceptado, con la condición que el concreto tenga propiedades similares a un concreto fabricado con agregados de la misma fuente y que éste haya dado resultados satisfactorios al ser expuesto a un ambiente con características similares.

1.1.2 Agregado grueso

El agregado grueso está formado fundamentalmente por gravas, gravas trituradas, piedra triturada, escoria de explosión, de concreto de cemento hidráulico, o bien de la combinación de las anteriores, con las características que establece la norma.

Aunque se ha utilizado concreto de cemento hidráulico triturado como agregado con informes de resultados satisfactorios, su uso puede requerir algunas precauciones adicionales. Puede aumentarse el índice máximo de humedad debido a la aspereza de la clase de agregado.

El uso de este tipo de agregado puede causar una baja resistencia con respecto a la resistencia del elemento sometido a cambios de temperatura, puede también causar una degradación de las propiedades del concreto en el momento del mezclado, manipulación, o en el momento de colocarlo.

El agregado proveniente de roca triturada puede tener partículas susceptibles a elementos alcalinos, al ataque de sulfatos y materia orgánica especialmente en los poros de un concreto de reciente fabricación.

1.1.2.1 Granulometría

Los agregados gruesos deben conformar los requerimientos descritos en la norma para el número de tamiz especificado. El tamaño del agregado se encuentra en función a las necesidades específicas para el diseño del concreto.

Para llevar un control de la calidad, el productor debe desarrollar una medida de granulometría de una fuente en particular, así también los medios de producción, controlar que en promedio la granulometría se encuentre dentro de los límites de tolerancia razonables. Los agregados gruesos deben acomodarse o apilarse como mínimo en dos tamaños de forma separada.

1.1.2.2 Sustancias nocivas en el agregado grueso

Las especificaciones de los límites de sustancias nocivas en los agregados gruesos a utilizar en la fabricación de concreto se designan por el tipo de agregado, la severidad de la abrasión y otros elementos a los que serán expuestos, similares al agregado fino, ver tabla III.

Los límites correspondientes de abrasión de los agregados gruesos deben tomarse en cuenta para tener resultados satisfactorios en función del lugar y el tipo de concreto a utilizar. Si se efectúa una selección indebida del agregado a emplear, puede ser la causa de un gasto no necesario si los materiales que se necesitan no se encuentran en la localidad.

Si se efectúa una selección de agregados con límites bajos de aceptación, puede que los mismos actúen de forma insatisfactoria, y causar un prematuro deterioro del concreto.

Puede también fabricarse concreto con diferentes tipos de agregados gruesos, cuando estos se encuentren dentro de los límites admisibles de resistencia de diseño, las especificaciones pueden llegar a requerir que se utilice un solo tipo de agregado grueso que se encuentre de forma separada de agregados de otro tipo que puedan contener características que dañen o alteren el concreto, sobre todo en proyectos pequeños.

Como el agregado grueso a utilizar en concreto se encuentra sujeto al aumento de humedad, y una prolongada exposición a la atmósfera, no debe contener materiales que puedan reaccionar de forma nociva con los álcalis del cemento, en cantidades que puedan causar una expansión excesiva del mortero de concreto.

Los agregados gruesos difícilmente sobrepasan los límites establecidos en la tabla III, por lo que pueden llegar a ser aceptados si un concreto realizado con un material similar y de la misma fuente ha reflejado un funcionamiento con resultados satisfactorios cuando es sometido a condiciones similares para las que se pretende utilizar los agregados en estudio.

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

1.1.3.1 Absorción y contenido de humedad

La humedad de un agregado está compuesta por humedad de saturación (o bien de absorción) y humedad libre o superficial. Para corregir el peso del material al hacer mezclas de concreto, es necesario obtener el porcentaje de humedad contenida además del porcentaje de absorción del agregado.

Un cambio de contenido de humedad del 1%, si no se compensa puede cambiar el asentamiento del concreto en 1.5 pulgadas y la resistencia en 300 lbs./plg². Los agregados pueden estar en alguno de los cuatro estados siguientes:

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

Para proporcionar mezclas de concreto, todos los cálculos deben basarse en agregado en condición seco-saturada.

Debe tomarse una muestra relativa del material a evaluar, por medio del cuarteo de la misma, considerando el peso necesario de acuerdo con la tabla IV.

Tabla IV. Cantidad de material en unidades de peso para realizar el cuarteo en el ensayo de contenido de humedad

Tamaño de agregado	Peso de la muestra
Menor de 4.76 μm	200 gramos
De 4.76 a 19.0 μm	500 gramos
De 19.0 a 38.1 μm	1000 gramos
Mayor a 38.1 μm	1000 gramos

Fuente: **Gaitan Orozco, Análisis mineralógico y examen petrográfico de agregado fino para concreto de tres bancos de la región central del país. Pág. 22**

Es imposible que los agregados vengan en condición ideal pero puede llegarse a ella por una simple operación aritmética: humedad superficial = humedad total - factor de absorción. Para los agregados gruesos la absorción se puede determinar de acuerdo con la norma ASTM C 127 y para los agregados finos conforme a la norma ASTM C 128.

1.1.3.2 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 el 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, 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.

1.1.3.3 Peso unitario

El peso unitario de un material es el peso de éste con respecto a su volumen. Este término es el usado en las especificaciones de la ASTM. Se aplica a condiciones de trabajo, tomando como volumen unitario el pie cúbico o metro cúbico.

Al determinar el peso unitario se observa que éste está influenciado por el grado de asentamiento (vacíos) y por el contenido de humedad, por lo que se calcula con el material seco o con distintos grados de humedad, asentado o suelto según indicación de la norma ASTM C 29.

1.2 Descripción general de la norma ASTM C 295-01

Esta norma se emite bajo la designación C 295; el número que sigue a la designación inmediata indica el año de adopción original, o en el caso de revisión, el año de última revisión.

Esta guía perfila los procedimientos y técnicas que deben utilizarse para el examen petrográfico de muestras de materiales propuestos para el uso de los agregados en el hormigón.

La roca y los minerales se deberán nombrar según la nomenclatura descriptiva C 294, de la manera más apropiada y de acuerdo a esta guía.

Los procedimientos específicos empleados en el examen petrográfico de cualquier muestra, dependerán en gran parte del propósito del examen y la naturaleza de la muestra. En la mayoría de los casos el examen requerirá el uso de microscopía óptica.

Los exámenes petrográficos completos para propósitos particulares pueden requerir exámenes de agregados o de componentes seleccionados por medio de los procedimientos adicionales, como la difracción de la radiografía (XRD) el análisis diferencial térmico (DTA), el espectroscopio infrarrojo, u otro examen del electrón al microscopio (SEM), análisis de rayos x para la dispersión de energía (EDX). En algunos casos, tales procedimientos son más rápidos y fiables que los métodos del microscopio.

La identificación de los materiales constituyentes de una muestra es usualmente un paso necesario para poder determinar lo que se puede esperar acerca de la conducta del material en el uso que se le va a dar, pero la identificación no es un fin en sí misma. El valor de cualquier examen petrográfico dependerá en gran parte de la representatividad de las muestras examinadas, la integridad y exactitud de la información así como la habilidad del petrógrafo de poner en correlación estos datos con los del examen, proporcionarán datos acerca de la fuente y propuestas para el uso del material.

1.2.1 Importancia y usos de los exámenes petrográficos

Los exámenes petrográficos son hechos con los siguientes propósitos:

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

1.2.2 Toma de muestras

El examen petrográfico debe realizarse bajo la supervisión de un geólogo que se encuentre familiarizado con los requisitos necesarios para la toma de muestras de agregados para concreto, cumpliendo con los requisitos de la práctica D 75. Debe considerarse la localización exacta de donde fue tomada la muestra, la geología del sitio y deben recolectarse otros datos pertinentes con la muestra.

La cantidad del material realmente estudiada en el examen petrográfico se encuentra en función de la naturaleza del examen y la calidad del material a evaluar en la muestra.

1.2.3 Toma de muestras en canteras en operación

Cuando se cuenta con material apilado y en disposición, la muestra representativa no debe tomarse por menos de 45 kilogramos (100 libras) o bien 300 piezas o segmentos de cualquier tamaño, de cualquier material a examinar. Debe efectuarse una selección de los apilamientos existentes y de esta forma tomar las muestras más representativas y con las características del agregado más grande.

1.2.4 Arena y grava natural

Las muestras de grava y arena natural para el examen petrográfico deben encontrarse secas, de acuerdo con el método de la práctica C 136, para proporcionar muestras de acuerdo con el tamaño del tamiz.

En el caso de las arenas debe tomarse una cantidad adicional que debe probarse de acuerdo a la norma C 117, esto debe considerarse para evaluar en peso seco y sin exceso de humedad la cantidad de material que pasa por el tamiz de 75 micrómetros o el tamiz No.200.

Deben proporcionarse los resultados del análisis de los tamices de cada una de las pruebas de acuerdo con el método C 136, para que la persona que realizará el examen petrográfico pueda utilizarlos.

Cada fragmento del material que es retenido por el tamiz debe ser examinado de forma separada, iniciando por el material retenido en el tamiz de la medida más grande que se tenga disponible, así se hace más fácil el reconocimiento de rocas de gran tamaño.

El rompimiento de un lecho de roca de gran magnitud puede generar rocas de diferentes tamaños o bien de forma aparente con partículas de pequeños tamaños.

Algunas partículas pueden ser identificadas fácilmente por medio de la utilización de un microscopio estereoscópico donde, de forma separada, se toman las partículas de mayores tamaños.

El número de partículas a tomar de cada uno de los tamices para ser examinado, será determinado por la precisión que se tenga para obtener los resultados de las muestras menos abundantes. Asumiendo que el campo de prueba y el laboratorio que realiza los procedimientos es exacto y fiable, el número de partículas a examinar, identificar, y de la estimación de los componentes que se encuentren en cantidades pequeñas.

Los valores que sugiere este método son mínimos, ellos están basados en la experiencia y en consideraciones estadísticas.

1.2.5 Examen de grava natural

El recubrimiento, los guijarros o cantos rodados, deben examinarse para establecer si existen recubrimientos exteriores, y si estos existen, debe determinarse si consisten en materiales dañinos para el concreto (yeso, fácilmente las sales solubles y la materia orgánica).

También debe determinarse de forma cualitativa la firmeza de las capas de pequeñas partículas.

1.2.5.1 Clasificación de la roca

Los fragmentos de roca deben ser clasificados por medio del método visual, esto puede realizarse si existe uno o más grupos de fragmentos que sean fácilmente identificables y separados de forma manual, ya sea en una superficie natural, una superficie fracturada, una superficie perforada o un examen de acidez.

En las rocas de grano fino es necesario realizar el examen por medio de la utilización del microscopio estereoscópico para verificar la existencia de sustancias dañinas para el concreto, si estos elementos no pudieran ser identificados por este método, significa que deben ser identificados por el petrógrafo por medio de la utilización del microscopio.

La cantidad de grano fino en una muestra será determinada por la cantidad de este material que se necesite para un trabajo determinado. Deben tomarse en consideración los registros existentes de exámenes que se hayan realizado en muestras de la misma fuente, normalmente esto, refleja el trabajo a nivel microscópico que debe realizarse a las muestras para obtener la información que se necesite, en función de la necesidad de los trabajos a efectuar.

1.2.5.2 Condiciones de las muestras

Deben examinarse las muestras por grupos separados según el tipo de grano, para determinar si es necesario realizar una separación según condición física.

Debe notarse si existe un grupo de partículas de forma reconocible en condición agrupada, ya que normalmente se encuentran partículas con diferente grado de desgaste en diferentes grupos, que deben ser clasificadas en categorías basadas en su condición y comportamiento con el concreto.

Las categorías por las cuales se clasifican son:

- Erosionado y denso
- Moderadamente erosionado

O bien pueden clasificarse de la siguiente forma:

- Denso
- Poroso (poroso deleznable)

Normalmente no es factible reconocer más de tres condiciones en función del tipo de roca, ya que normalmente el reconocimiento de una o dos condiciones pueden ser suficientes. Cuando existe un componente importante en grandes cantidades, a veces requiere una separación en cuatro grupos según su condición.

Un ejemplo puede ser el contenido de cuarzo cuando se encuentra en grandes cantidades en las arenas gruesas, ya que puede encontrarse como denso, cuarzo deleznable, cuarzo volcánico, cuarzo poroso o como cuarzo altamente deleznable.

La determinación de cualquiera de las cuatro características anteriores en un examen puede dar a conocer el comportamiento que tengan los agregados en el concreto.

1.2.5.3 Registros

Debe realizarse una descripción de cada uno de los tipos de roca, para los que se sugiere determinar los rasgos siguientes:

- Forma de la partícula
- Apariencia y textura de la partícula
- Tamaño del grano
- Estructura interior, incluso la observación del tamaño del poro, revestimiento del grano y su procedencia
- Color
- Composición mineral
- Condición física general del tipo de roca en la muestra
- Capas o incrustaciones
- Presencia de sustancias o componentes conocidos que podrían causar algún tipo de reacción química que afecte al concreto

Cuando se haya concluido con el examen o bien se haya completado, las notas deben contener la información suficiente para realizar las tablas correspondientes y su descripción.

Las tablas deben mostrar la condición y composición de las muestras separadas por tamices, el peso y granulometría de la muestra en el momento de haber sido recibida.

1.2.6 Examen de arena natural

El procedimiento para el examen de la arena natural es similar al examen de grava, la diferencia, está solamente en, el tamaño de las partículas.

Se sugiere que la muestra sea extendida en un piso, un plato con fondo de vidrio, fórceps para la manipulación de los granos y aguja para disecar. La identificación de granos en el tamaño de arenas gruesas es a menudo más fácil cuando los granos simplemente se sumergen en agua. El análisis de la reducción de las partículas sumergidas muestran rasgos de un diagnóstico que no puede darse cuando el grano se encuentra seco.

Existen varias excepciones a estas generalidades, donde el examen es difícil. El examen incluye el de la superficie natural (seco y húmedo), el examen de una superficie fracturada (seco y húmedo), el de una superficie perforada y la prueba de ácidos. Si después de realizar todas estas evaluaciones el grano no es identificado, el petrógrafo debe recurrir a la utilización del microscopio estereoscópico, también si se sospecha que la muestra contiene sustancias que puedan reaccionar en el concreto.

La pregunta de la reacción con los álcalis (Sodio y Potasio) en la mezcla de cemento Pórtland es importante, se indican más consideraciones al procedimiento. Si el tamaño de las arenas gruesas contiene finos y rocas ígneas, deben seleccionarse varias partículas típicas de cada variedad de muestras de roca para un examen más completo.

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

1.2.7 Examen de roca triturada

El procedimiento del examen a seguir es similar al examen de las arenas naturales, con énfasis en la cantidad del grado de fractura, la cantidad y la naturaleza del polvo de rocas desarrolladas por el funcionamiento de la trituración. Si se encuentra disponible el banco donde fue extraída la muestra, el examen puede reflejar información que puede ser de utilidad.

1.2.9 Examen de roca anaquel o roca expuesta

El procedimiento del examen a seguir en este tipo de roca debe ser el estudio de las rocas de forma individual. La muestra consiste de una cantidad relativamente grande de roca fracturada, es deseable que se examine la muestra completa, ya que se determina de esta forma la variedad relativa de las partículas presentes en la muestra, y evalúa cada una antes del proceso. El proceso subsiguiente debe ser igual al de la roca triturada.

1.2.10 Examen de núcleos de perforación

Cada núcleo deberá ser examinado y tendrá su respectivo registro de muestra, la longitud del núcleo recuperado, las pérdidas del mismo, espaciamiento de fracturas y diaclasas, tipos litológicos, alteración de los tipos, condiciones rígidas y variantes en la condición tenacidad-dureza, coherencia, porosidad, tamaño y textura del grano, variaciones en los tipos de roturas y presencia de elementos capaces de reaccionar en deterioro del concreto.

Si el tamaño de la muestra lo permite, debe considerarse la posibilidad que la roca se encuentre en los límites con respecto al tamaño máximo requerido. Si la superficie de la muestra examinada se encuentra húmeda es más fácil reconocer las características y cambios en su litología. La mayoría de la información requerida generalmente puede obtenerse por medio de una evaluación visual, pruebas de rayado, ácido o golpeado el núcleo con un martillo.

En el caso de rocas con granulometría fina, es necesario examinar partes del núcleo empleando el microscopio estereoscópico o preparando secciones delgadas de porciones seleccionadas. Algunas consideraciones y procedimientos son más idóneos para rocas con un cierto tipo de partículas.

1.2.10 Informes y cálculos

El informe del examen petrográfico debe exponer de forma resumida los datos esenciales para identificar la muestra, indicando la fuente, propósito, uso, e incluyendo una descripción de las propiedades de los elementos que componen la muestra, según el examen realizado. 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.

Deben darse a conocer los hallazgos y las posibles conclusiones, en términos que sean comprensibles para las personas que tomen la decisión de la conveniencia del material para ser usado como agregado en el concreto.

Cuando en una muestra no se tiene la certeza de los elementos que podrían causar daño al concreto, debe hacerse saber ese tipo de características de forma cualitativa y su posible magnitud de forma cuantitativa.

Debe mencionarse todos los elementos que se consideren desfavorables para el concreto, también si la muestra fue tomada en condiciones desfavorables.

El informe, sin embargo, no debe incluir conclusiones de otras cosas que sean ajenas a los hallazgos en el examen de la muestra, a menos que sean datos adicionales que puedan servir como un apoyo para las conclusiones.

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

1.3 Especificaciones adicionales para agregados, método para evaluar la reactividad de los agregados

Se han propuesto varios métodos para evaluar el potencial de reactividad de los agregados. Sin embargo, estos métodos propuestos no han proporcionado una información cuantitativa sobre el grado de reactividad de los agregados, ya que deben basarse en el juicio y en la interpretación de los datos de la prueba y el examen de estructuras concretas que contienen una combinación de agregados gruesos y finos, su consolidación y su utilización en un trabajo específico.

1.3.6 Para agregado grueso

Los resultados de las siguientes pruebas ayudan a determinar las propiedades y características reactivas del agregado:

- Práctica C 295: se reconocen varios materiales que reaccionan con los álcalis del cemento, estos incluyen las formas de sílice, como cuarzo traslúcido, ópalo pasando por la prueba de ácidos (ricos en sílice), vidrio volcánico, andesitas, zeolitas. La determinación de la presencia y las cantidades de estos materiales por medio de los exámenes petrográficos son útiles para la evaluación del potencial de álcalis. Algunos de esos materiales dan como resultado un agregado con reacciones nocivas si se presentan en cantidades del 1.0% o menor.
- Método de prueba C 227: los resultados de este método de prueba, cuando son realizados con un cemento con alto contenido de álcalis, dan la información de la probabilidad de reacciones perjudiciales. El volumen de álcalis en el cemento debe encontrarse entre el 0.6% y el 0.8%, expresado en óxido de sodio. Las combinaciones de agregado y cemento que de forma común han provocado una expansión excesiva en esta prueba deben considerarse potencialmente reactivas. Mientras la línea de la expansión y la no expansión no se define claramente, en general se considera que la expansión es excesiva si excede de 0.05% en una prueba a tres meses, o 0.1% en una prueba a seis meses.
- Método de prueba C 289: este ensayo describe un método químico para determinar la reactividad potencial de un agregado con los álcalis del cemento Pórtland. Los resultados de este método pueden ser obtenidos rápidamente, y aunque no son completamente fiables en todos los casos, proveen datos valiosos muestran la necesidad de obtener información adicional a través de los métodos C 227 y C 295.

- Método de prueba C 586: este método se utiliza para determinar la reactividad potencial de los álcalis en rocas carbonáticas, cubre la determinación de las características expansivas de las rocas carbonáticas mientras éstas están sumergidas en una solución de hidróxido de sodio (NaOH) a temperatura controlada. Los cambios de longitud observables que ocurren durante tal inmersión indican el nivel general de reactividad de las rocas. Este método está concebido como provisional más que como una especificación que deba cumplirse y solamente busca suplir información de registros de servicios de los agregados, de exámenes petrográficos y de otras pruebas.
- Método de prueba C 342: este método está enfocado principalmente a determinar el potencial de expansión en la combinación de cemento y agregado, sujeto a las variaciones de temperatura y saturación de agua.

1.3.7 Para agregado fino

Las partículas retenidas del tamaño grueso de 600 micrómetros (tamiz No.30) deben reducirse de acuerdo con el procedimiento del método C 702, realizando mezclas continuas hasta reducirla a una muestra de por lo menos 150 partículas. Debe realizarse un examen de cada una de las muestras reducidas.

Deben realizarse también pruebas en el agregado fino, con la finalidad de que reflejen el comportamiento del concreto cuando es sometido a cambios de temperatura según el método de la norma C 666.

En función de la calidad del concreto, debe tomarse en cuenta como un aspecto fundamental, las posibles reacciones que los componentes de los agregados provoquen cuando sean mezclados con el cemento.

El conocimiento de los componentes del cemento puede ser de gran ayuda para determinar si los componentes de los agregados afectan al concreto.

1.3.8 Componentes del cemento Pórtland

En la tabla siguiente se identifican los componentes principales del cemento Pórtland que comúnmente es utilizado para la elaboración de concreto.

Tabla V. Composición y constitución del cemento Pórtland

Componente	Forma química	Composición (%)
Sílice	SiO ₂	14 – 22
Alumina	Al ₂ O ₃	4 – 7
Óxido de hierro	Fe ₂ O ₃	2 – 4
Cal	CaO	62 – 65
Sulfato	SO ₃	1.5 – 2
Magnesio	MgO	1 – 4
Óxidos alcalinos	Na ₂ O + K ₂ O	0.3 – 1

Fuente: **Muñoz Espinosa, Evaluación de propiedades físico mecánicas en concreto. Pág.**

2 DESCRIPCIÓN Y LOCALIZACIÓN DE LOS BANCOS SELECCIONADOS

En esta parte se describen las características físicas de los bancos de agregados en estudio, además se hace una descripción de la geología regional como guía para la elaboración de ensayos y exámenes o bien para referencia de estudios posteriores o anteriores. Por último, se presenta la ubicación de los sitios y sus rutas de acceso.

2.1 Descripción de los bancos

Para realizar esta caracterización de agregados para concreto y morteros se escogieron dos bancos, uno donde se extrae agregado fino y grueso y el otro donde solamente se extrae arena para mortero, estos se denominan Rocjá y San Cristóbal respectivamente y están ubicados en el departamento de Alta Verapaz. Los bancos a caracterizar se escogieron debido a la importancia de su ubicación geográfica y volumen de extracción, además, se escogieron porque no se tiene conocimiento de ensayos aplicados a estos bancos para conocer el desempeño de dichos agregados.

En el banco Rocjá se tomaron dos muestras de cada agregado, esto se debió a que la extracción se hace de dos formas, a la primer muestra se le ha llamado agregados clasificados, termino que se refiere al tipo de extracción.

Ésta se hace removiendo y clasificando rocas de todo tamaño que luego en algunos casos son trituradas cuando son demasiado grandes, por tal motivo los agregados producidos tienen una mejor distribución de tamaños aparente y no han tenido contacto con los agentes atmosféricos, por lo que se esperaría que estos no estén contaminados ni alterados. Además existe la posibilidad de controlar la granulometría de los mismos en el proceso de trituración.

A la segunda muestra se le ha llamado agregados no clasificados y se refiere a que la extracción se hace simplemente apilando los materiales que son desprendidos con poco esfuerzo por medios mecánicos. En estos no se posee ningún control sobre la granulometría y están expuestos a cambios físicos y químicos debidos a la intemperie. Este tipo de extracción es posible debido a las condiciones geológicas del lugar, en el cual la roca se encuentra altamente fracturada (ver figura 1 y 2).

En el caso del banco San Cristóbal la extracción del agregado se hace por medio del desprendimiento de material utilizando piochas y barretas como se muestra en la figura 3, en este banco sólo se produce agregado fino para la elaboración de mortero para levantado.

Figura 1. Proceso de extracción manual en el banco Rocjá



Figura 2. Proceso de extracción mecánica del banco Rocjá



Figura 3. Extracción de agregado fino en San Cristóbal



2.2 Aspectos geológicos de la zona

Los bancos en estudio se encuentran en la provincia central del cinturón montañoso de Guatemala dentro del denominado bloque maya, el cual forma parte de la Placa de norte América. Esta zona es afectada por el sistema de fallamiento Chixoy-Polochic, en ella afloran las formaciones Chochal que consiste en caliza fosilífera y dolomita; Todos Santos compuesta por conglomerado, arenisca arcósica, arenisca fina, limolita; y Cobán que consiste de calizas de grano fino, muy recristalizadas, encontrándose algunas veces masivas y muy fracturadas. Esta caliza es de color negrusco al intemperismo y gris en muestra sana, muchas veces contiene vetas características de calcita.

2.3 Tipo de banco

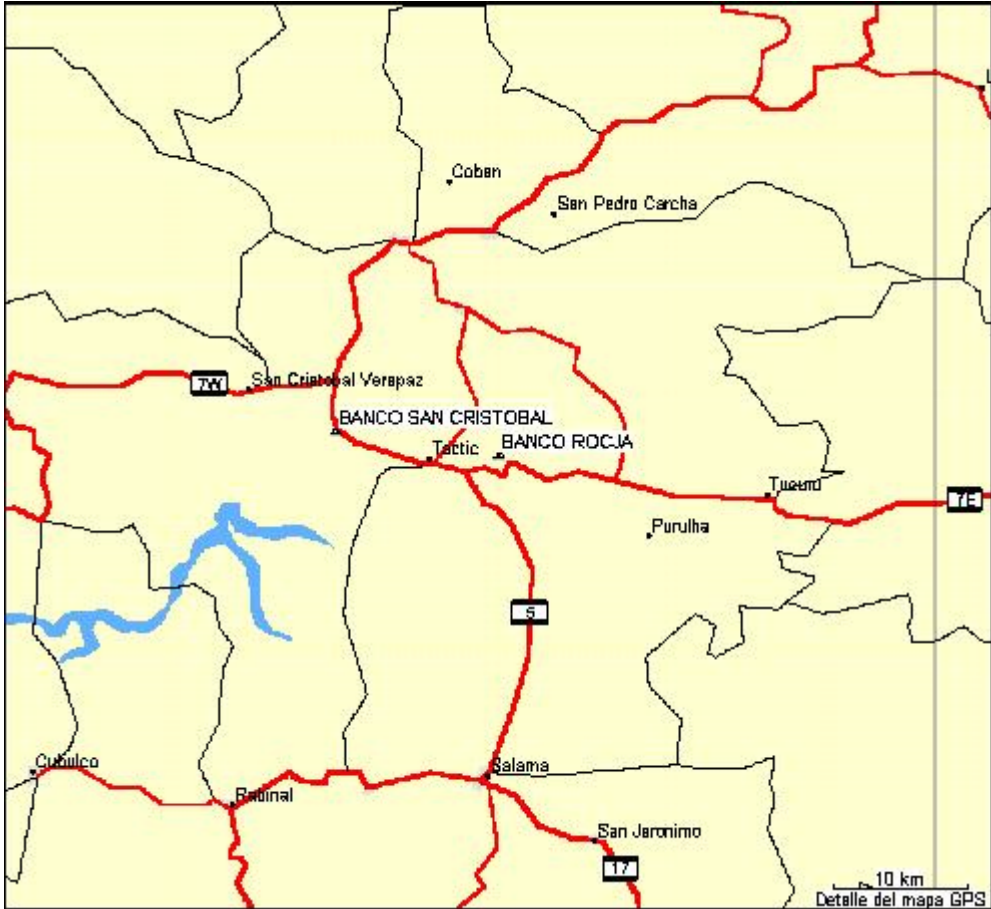
Ambos bancos están formados de rocas sedimentarias no clásticas o químicas. El banco Rocjá está conformado por calizas masivas muy fracturadas de color gris oscuro con vetas de calcita, por lo que de acuerdo a la información geológica de la zona se concluye que forma parte de la formación Cobán. El banco San Cristóbal está formado por evaporitas amarillas de estructura terrosa (ver figura 3).

2.4 Localización

Estos bancos se localizan en los municipios de Tactic y San Cristóbal Verapaz en el Departamento de Alta Verapaz. El banco Rocjá se localiza en las coordenadas UTM. 15p 7893050 y 1695478 a una altura de 1556 msnm, mientras que el banco San Cristóbal se localiza en las coordenadas UTM 15p 7766920 y 1697066 a una altura de 1429.1 msnm.

El acceso a los bancos es por la carretera CA 14 que conduce hacia Cobán Alta Verapaz. Para el banco Rocjá se toma el cruce de San Julián en el km 180, el banco se encuentra 4 km más adelante siguiendo la ruta paralela al río Polochic. Para el banco San Cristóbal se cruza en el km 191.725 hacia la finca Valparaiso, éste se localiza 5 km adelante. Las rutas de acceso pueden verse en el mapa de la figura 4.

Figura 4. Localización y acceso a los bancos en estudio



Fuente: **MapSource versión 4.10.2 Beta**

3 ENSAYOS DE LABORATORIO

Se obtuvieron tres muestras de agregados directamente del lugar de extracción, dos del banco Rocj; (agregados clasificados y no clasificados) y una del banco San Cristóbal, la cual consistía solamente en arena para la elaboración de mortero para levantado.

Las muestras fueron llevadas a la sección de concretos del Centro de Investigaciones de Ingeniería donde se practicaron los ensayos de agregados con base en las normas ASTM para conocer sus distintas propiedades. Para analizar las propiedades físicas se practicaron las pruebas de granulometría, peso específico, peso unitario, peso unitario suelto, porcentaje de vacíos, porcentaje de absorción y contenido de materia orgánica. Además de estos ensayos también se analizaron las propiedades mecánicas del agregado grueso utilizando la prueba de desgaste por abrasión e impacto en la Máquina de Los ngeles.

Para conocer la propiedades químicas de estos agregados, se aplicó a las tres muestras el ensayo de reactividad potencial según la norma ASTM C 289 y además se realizó el examen petrográfico en el Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas, utilizando un microscopio estereoscópico, el cual se complementó con un análisis de óxidos realizado en el Laboratorio de Química Industrial del CII (CaO , MgO y SO_4^-) y el laboratorio de química del Ministerio de Energía y Minas (SiO_2).

3.3 Tabulación y análisis de resultados

En esta parte se muestran los resultados de los ensayos y pruebas de laboratorio y su análisis respectivo en base a la teoría presentada en el marco teórico.

3.3.1 Resultados de la norma ASTM C 33

Se realizaron las pruebas básicas de agregados según la especificación ASTM C 33 a las tres muestras de agregados en estudio. El orden en el que se presentan los resultados es el siguiente: primero se analiza el agregado fino iniciando con las muestras de Rocjá y luego San Cristóbal, continuando con el análisis del agregado grueso.

3.3.1.1 Agregado fino clasificado del banco Rocjá

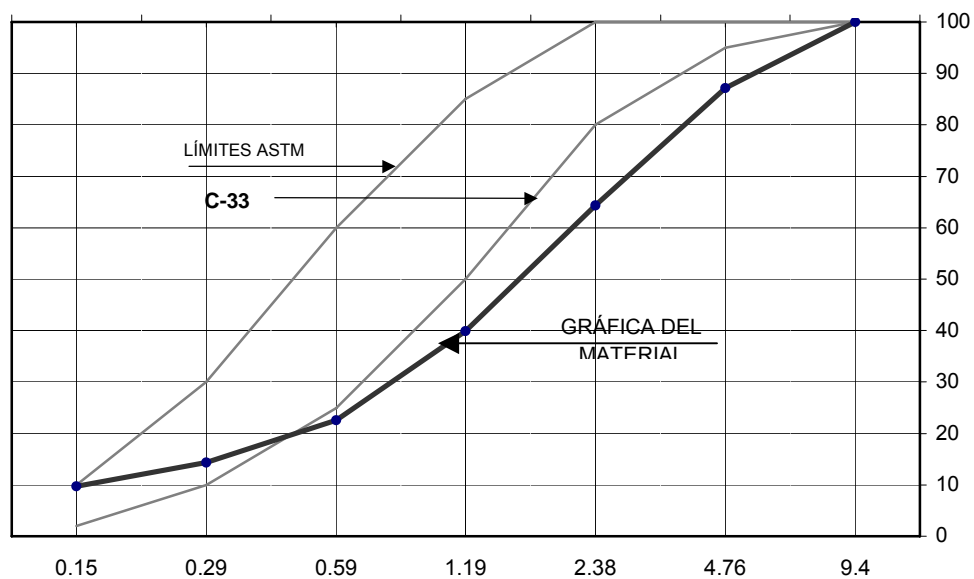
A continuación se presentan y analizan los resultados de los nueve ensayos de laboratorio que exige la especificación C 33 para el agregado fino.

En la tabla VI se muestra la granulometría del agregado clasificado del banco Rocjá y su curva granulométrica en la figura 5, el resto de las propiedades físicas se presentan en la tabla VII, para luego hacer el análisis respectivo.

Tabla VI. Granulometría del agregado fino clasificado de Rocjá

Tamiz No.	Porcentaje que pasa
3/8" (9.5 mm)	100.00
No. 4 (4.75 mm)	87.16
No. 8 (2.36 mm)	64.28
No. 16 (1.18 mm)	39.91
No. 30 (600 µm)	22.58
No. 50 (300 µm)	14.34
No. 100 (150 µm)	9.76

Figura 5. Curva granulométrica del agregado fino clasificado de Rocjá



Fuente: Informe de la norma ASTM C 33 para agregado fino clasificado del banco Rocjá entregado por el CII

Tabla VII. Características físicas de agregado fino clasificado de Rocjá

Peso específico	2.83
Peso unitario compactado(kg/m ³)	1972.21
Peso unitario Suelto (kg/m ³)	1841.19
% de vacíos	30.26
% de absorción	0.57
Contenido de materia orgánica	-
% que pasa el tamiz 200	7.98
Módulo de finura	3.62

Análisis de resultados:

La prueba colorimétrica indicó que el agregado no contiene materia orgánica. El porcentaje que pasa el tamiz no. 200 sobrepasa al límite especificado, el cual es 7 para arena manufacturada. El módulo de finura debe estar entre 2.3 y 3.1, por lo tanto no cumple esta condición. En la gráfica de la figura 1 se puede observar que la granulometría se cumple solamente en los dos últimos tamices, por lo que se trata de una arena muy gruesa que 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.

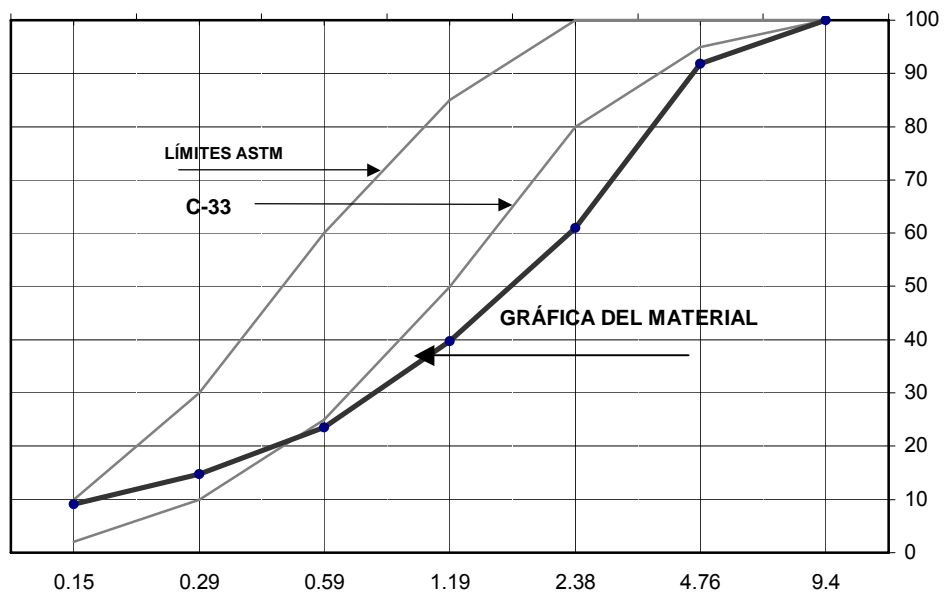
**3.3.1.2 Agregado fino no clasificado del banco
Rocjá**

Los resultados de la granulometría del agregado fino no clasificado se muestran en la tabla VIII y figura 6, sus características físicas en la tabla IX y seguidamente se hace el análisis de dicha información.

Tabla VIII. Granulometría del agregado fino no clasificado de Rocjá

Tamiz No.	Porcentaje que pasa
3/8" (9.5 mm)	100.00
No. 4 (4.75 mm)	91.81
No. 8 (2.36 mm)	61.01
No. 16 (1.18 mm)	39.77
No. 30 (600 μm)	23.54
No. 50 (300 μm)	14.76
No. 100 (150 μm)	9.15

Figura 6. Curva granulométrica del agregado fino no clasificado de Rocjá



Fuente: Informe de la norma ASTM C-33 para agregado fino no clasificado del banco Rocjá entregado por el CII

Tabla IX. Características físicas del agregado fino no clasificado de Rocjá

Peso específico	2.85
Peso unitario compactado (kg/m ³)	1951.28
Peso unitario Suelto (kg/m ³)	1837.85
% de vacíos	31.55
% de absorción	0.47
Contenido de materia orgánica	-
% que pasa el tamiz 200	9.83
Módulo de finura	3.60

Análisis de resultados:

La prueba colorimétrica indicó que el agregado de la muestra obtenida no contiene materia orgánica. El porcentaje que pasa el tamiz no. 200 sobrepasa al límite especificado, el cual es 5. El módulo de finura debe estar entre 2.3 y 3.1, por lo tanto tampoco se cumple esta condición.

En la gráfica de la figura 6 se puede observar que la granulometría se cumple solamente en los dos últimos tamices, lo que indica que esta arena posee una granulometría prácticamente igual a la arena clasificada.

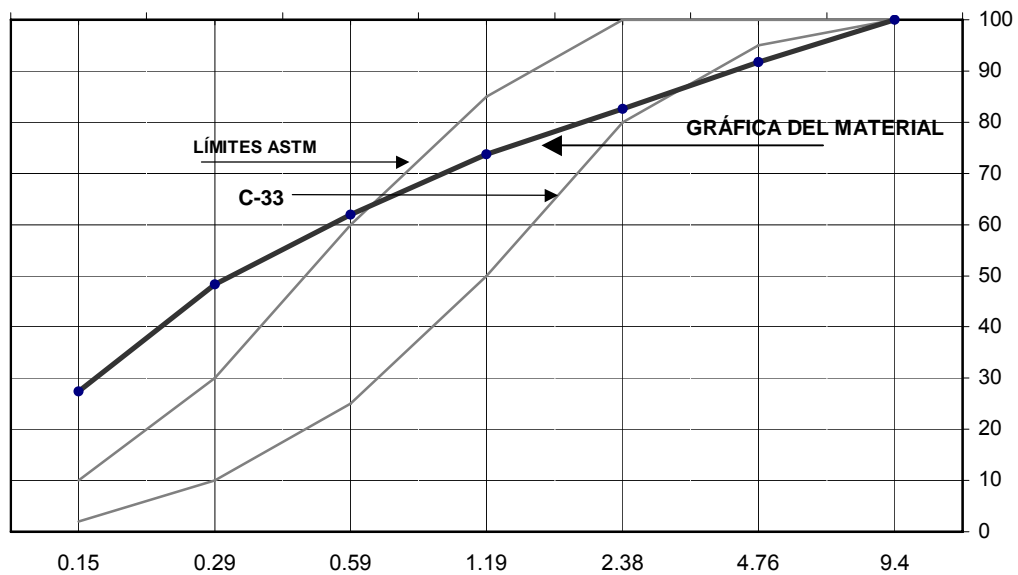
3.3.1.3 Agregado fino del banco San Cristóbal

Los resultados de la granulometría del banco San Cristóbal se muestran en la tabla X y figura 7, el resto de propiedades físicas se presentan en la tabla XI.

Tabla X. Granulometría del agregado fino de San Cristóbal

Tamiz No.	Porcentaje que pasa
3/8" (9.5 mm)	100.00
No. 4 (4.75 mm)	91.81
No. 8 (2.36 mm)	61.01
No. 16 (1.18 mm)	39.77
No. 30 (600 μm)	23.54
No. 50 (300 μm)	14.76
No. 100 (150 μm)	9.15

Figura 7. Curva granulométrica del agregado fino de San Cristóbal



Fuente: Informe de la norma ASTM C-33 para agregado fino del banco San Cristóbal

Tabla XI. Características físicas del agregado fino del banco San Cristóbal

Peso específico	2.67
Peso unitario compactado (kg/m ³)	1372.49
Peso unitario Suelto (kg/m ³)	1186.95
% de vacíos	48.61
% de absorción	0.79
Contenido de materia orgánica	-
% que pasa el tamiz 200	35.87
Módulo de finura	2.14

Análisis de resultados:

La prueba colorimétrica indicó que el agregado no contiene materia orgánica. El porcentaje que pasa el tamiz no. 200 sobrepasa por mucho al límite especificado, el cual es 5. El módulo de finura debe estar entre 2.3 y 3.1, por lo tanto no cumple esta condición a pesar de estar muy cerca del límite inferior. Sin embargo, en la curva granulométrica se observa que este agregado contiene demasiados finos, lo que producirá un mayor consumo de agua y por lo tanto una disminución en la resistencia. La granulometría en general está fuera de los límites a excepción de los tamices no. 8 y no 16.

3.3.1.4 Agregado grueso clasificado

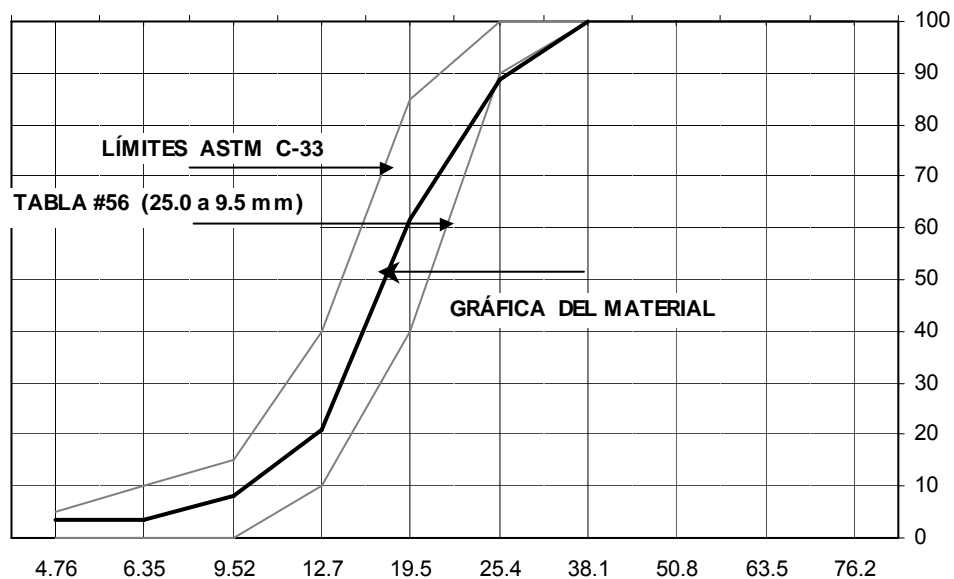
Se practicaron siete ensayos para el agregado grueso a las dos muestras de Rocjá en base a la especificación ASTM C 33, los resultados de estos se presentan a continuación en las tablas XII, XIII, XIV, XV y figuras 8 y 9.

Los resultados de las pruebas del agregado grueso clasificado se muestran en la tabla XII, tabla XIII y figura 8.

Tabla XII. Granulometría del agregado grueso clasificado

Tamiz No.	Porcentaje que pasa
2 in.	100.00
1 ½ in.	100.00
1 in.	88.80
¾ in.	61.79
½ in.	20.96
⅜ in.	8.01
¼ in.	3.44

Figura 8. Curva granulométrica del agregado grueso clasificado



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

Tabla XIII. Características físicas del agregado grueso clasificado

Peso específico	2.85
Peso unitario compactado (kg/m ³)	1601.43
Peso unitario Suelto (kg/m ³)	1459.29
% de vacíos	43.74
% de absorción	0.29
% de desgaste por abrasión	25.60

Análisis de resultados:

Según los límites que establece la norma C 33, se puede observar en la figura 4 que la granulometría está fuera de los límites solamente en un tamiz (1"), y está dentro en los 6 restantes. El resto de propiedades físicas que aparecen en la tabla XIII son propias de cada material y son consideradas al realizar la mezcla de concreto. En este caso puede observarse que se trata de un material con peso específico elevado al igual que el peso unitario y un porcentaje de absorción bajo, lo que indica que el material es bastante denso y poco poroso con una alta resistencia a la degradación mecánica como puede comprobarse en el porcentaje de desgaste por abrasión, el cual indica solamente un 25.6 por ciento, cuando la norma admite hasta un 50 por ciento.

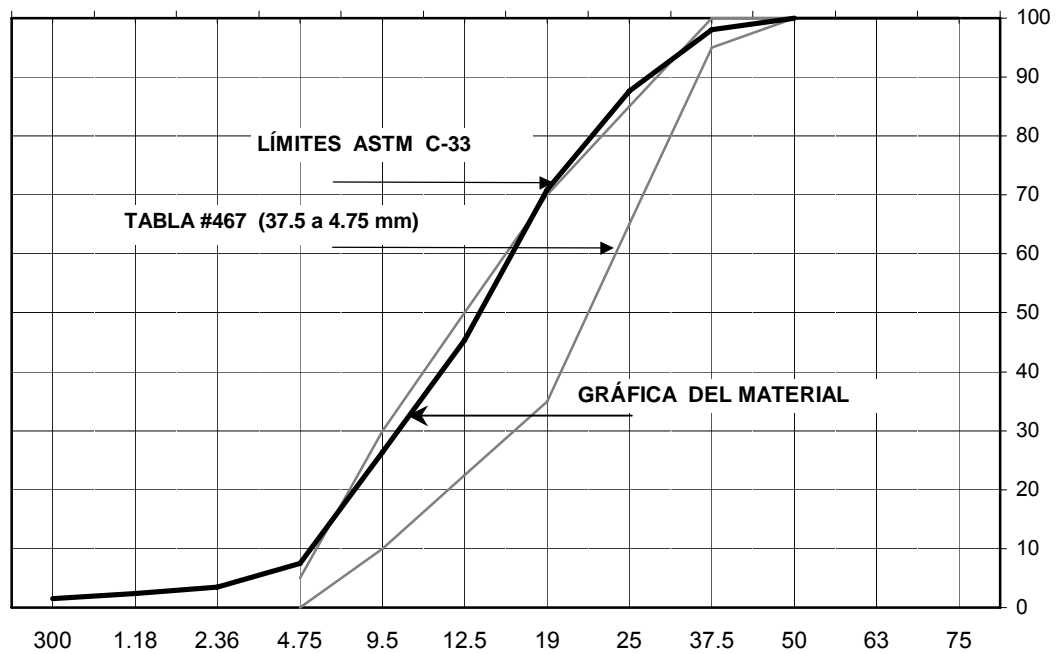
3.3.1.5 Agregado grueso no clasificado

Los resultados de las pruebas para el agregado grueso no clasificado se muestran en la tablas XIV y XV. La curva granulométrica se muestra en la figura 5.

Tabla XIV. Granulometría del agregado grueso no clasificado

Tamiz No.	Porcentaje que pasa
2 in.	100.00
1 ½ in.	98.03
1 in.	87.60
¾ in.	70.92
½ in.	45.35
⅜ in.	26.34
No. 4	7.48

Figura 9. Curva granulométrica del agregado grueso no clasificado



Fuente: Informe de la norma ASTM C 33 para agregado grueso no clasificado entregado por el CII

Tabla XV. Características físicas del agregado grueso no clasificado

Peso específico	2.88
Peso unitario (kg/m ³)	1712.93
Peso unitario Suelto (kg/m ³)	1545.29
% de vacíos	40.46
% de absorción	0.55
% de desgaste por abrasión	20.80

Análisis de resultados:

Se realizó una granulometría corrida del tamiz de dos pulgadas al No. 50, encontrando que el material es demasiado fino, y además está fuera de los límites en los tamices de una pulgada y tres cuartos. No obstante hay que recordar que este agregado fue denominado no clasificado debido a que simplemente es recolectado de las rocas fracturadas que por gravedad caen al suelo, sin embargo, posee una granulometría aceptable. El resto de las propiedades son muy parecidas a las del agregado grueso clasificado ya que se trata de la misma roca y al igual que dicha muestra, ésta también posee una buena resistencia a la degradación mecánica.

3.3.2 Ensayos para determinar componentes y propiedades mineralógicas

Para determinar los componentes y propiedades mineralógicas de las muestras se realizaron tres análisis, el primero fue el ensayo de reactividad potencial en el Laboratorio de Química Industrial del CII, el cual se efectuó para las tres arenas. Luego se realizó el examen petrográfico para conocer la

composición mineralógica de las muestras, sin embargo, por ser estas rocas sedimentarias el examen petrográfico tuvo que complementarse con un análisis químico para catalogar la muestra. En el caso de San Cristóbal se sustituyó, debido a la total homogeneidad de la muestra sin importar el tamaño del grano.

Para los ensayos de propiedades mineralógicas y químicas no fue necesario distinguir entre agregado fino y grueso, ya que dichas características son propias del tipo de roca, y para este caso en particular los agregados finos provienen de los agregados gruesos triturados.

3.3.2.1 Ensayo de reactividad potencial ASTM C 289

Se realizó el ensayo de reactividad potencial a tres muestras, para determinar la capacidad reactiva potencial de incremento de volumen a mediano y largo plazo de sus componentes silícicos con los álcalis (Na_2O y K_2O) del cemento Pórtland. Los resultados se muestran en la tabla XVI.

Tabla XVI. Resultados del ensayo de reactividad potencial, ASTM C 289

Muestra	Resultado
Rocjá: agregado clasificado	Inocuo
Rocjá: agregado no clasificado	Inocuo
San Cristóbal	Inocuo

3.3.2.2 Examen petrográfico

La primera parte del examen petrográfico consistió en una inspección macroscópica de las muestras, luego se realizó el análisis microscópico para el banco Rocjá en el Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas, posteriormente las muestras fueron llevadas a los laboratorios de química del CII y el Ministerio de Energía y Minas para realizar un análisis de óxidos con el cual se caracterizaron los dos tipos de roca.

3.3.2.2.1 Examen petrográfico del banco Rocjá

Debido a que estos agregados son triturados y provienen de la misma roca, el examen petrográfico se realizó considerando el agregado grueso y fino como una sola muestra. Para la caracterización de la roca se contó con el análisis de óxidos, el cual dio como resultado: 0.74 % de SiO₂, 34.87 % de CaO y 15.43 % de magnesio, lo cual se adapta a la composición química de una dolomita. Las características macroscópicas fueron las siguientes:

- Tipo: roca sedimentaria
- Subtipo: no clástica o química
- Color: gris oscuro con vetas de calcita
- Nombre: Dolomita

El análisis con microscopio estereoscópico de conteo de partículas se aplicó a los tamices No. 100, No. 50 y No. 30 y pudieron identificarse dos tipos de partículas, la roca identificada como dolomita propiamente y el mineral calcita. Para los tamices No. 4, No. 8 y No. 16 no podía distinguirse la división entre estas dos partículas por que los granos retenidos en estos tamices son muy

grandes. Los resultados de este análisis se muestran en la gráfica de la figura 5 en forma de porcentaje y el número de partículas en la tabla XVII.

Figura 10. Componentes minerales de la muestra de Rocjá para cada número de tamiz

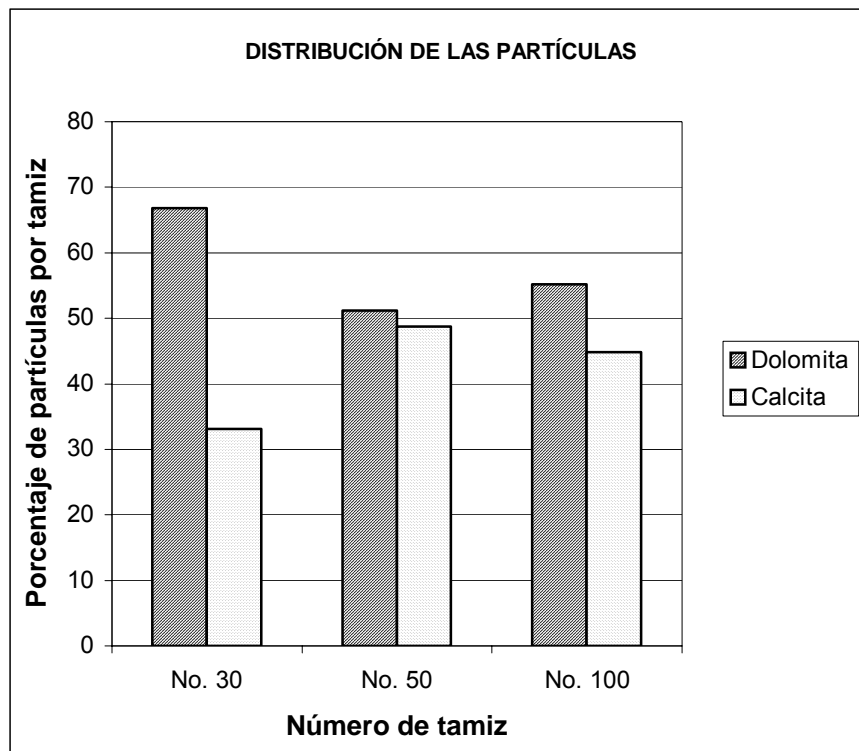


Tabla XVII. Número de partículas por tamiz

Tipo	Tamices		
	No. 30	No. 50	No. 100
Dolomita	117	104	112
Calcita	58	99	91
Total	175	203	203

La norma de clasificación de rocas y minerales para usos como agregados ASTM C 294, indica que la calcita (carbonato de calcio CaCO_3) es un componente inocuo en las rocas, mientras que en el caso de la dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) impone restricción cuando los cristales de son muy grandes, pues podrían producir reacciones expansivas. Sin embargo, este fenómeno no sucede para este caso donde los cristales de dolomita son microscópicos, por lo que esta roca es apta para ser usada como agregado para concreto desde el punto de vista mineralógico. Se recomienda investigar sobre registros del desempeño de estos agregados en especial en concretos de mucha edad.

3.3.2.2 Examen petrográfico de San Cristóbal

Para la muestra del banco San Cristóbal no se realizó el análisis microscópico, esto se debió a que la muestra presentaba una composición totalmente homogénea para todos los números de tamiz, por lo que no se distinguían minerales ni componentes distintos en el material aún al estar pulverizado. Para esta muestra solamente se realizó una inspección y caracterización visual, además del análisis químico de óxidos, el cual indicó que algunos de los componentes de la muestra de roca eran los siguientes: 0.16 % de CaO, 0.54 % de MgO y 12.39 de SO_4^- .

Las características macroscópicas de la muestra fueron:

Tipo: Sedimentaria

Subtipo: evaporita

Color: blanco amarillento

Dureza <2.5

Estructura: terrosa

Nombre: sedimento yesífero

Debido a la baja dureza de la roca y a su textura terrosa, ésta prácticamente se desintegra y pulveriza utilizando solamente la fuerza de la mano, por lo que es muy usada para repellos y cernidos, y a pesar de tener un gran consumo de agua por su fineza el mortero fabricado con ella posee una buena resistencia mecánica, tal y como pudo comprobarse en los ensayos de morteros (capítulo 4), esto se debe en gran parte a sus propiedades de roca yesífera.

4 ELABORACIÓN DE MEZCLAS Y MORTEROS PARA VERIFICAR LA RESISTENCIA MECÁNICA

Luego de haber realizado los ensayos propios de agregados, se procedió a comprobar su desempeño real fabricando mezclas de concreto y mortero, las cuales fueron elaboradas y probadas tal y como lo establecen las normas. Para contar con una verificación completa de la calidad de estos agregados se hicieron tres tipos de ensayos en la Sección de Morteros y Aglomerantes del CII, estos fueron: ensayo de concreto a compresión y ensayos de morteros a compresión y tensión.

4.3 Ensayo de concreto a compresión

Este ensayo se aplicó a las muestras del banco Rocjá para agregado clasificado y no clasificado. Se fabricaron cilindros de concreto como lo especifica la norma C 39 para una resistencia de 3000 psi (210 kg/cm²). Luego estos fueron curados y ensayados a los 7, 14 y 28 días. Los resultados se muestran a continuación.

4.3.1 Banco Rocjá: Agregado clasificado

Se fabricó la mezcla con las características siguientes:

- Proporción de la mezcla (en peso): 1: 2.79: 3.03 :0.56
- Arena: Pu suelto 1,841.19 kg/m³
- Grava Pu suelto 1,459.29 kg/m³
- F'c = 3,000 lbs

- Asentamiento: 5 Plg.
- Contenido de aire: 0.7%
- Pu concreto: 2,526.33 kg/m³
- Cemento UGC (4000 psi o 281 kg/cm²)

Los cilindros fueron ensayados en parejas como lo indica la norma, de esta forma puede tenerse un punto de comparación en caso de un error al realizar el ensayo. Los resultados de las pruebas se muestran en la tabla XVII.

Tabla XVIII. Resultados del ensayo a compresión del concreto utilizando agregado clasificado

Cilindro	Edad	Peso (kg.)	Área (cm ²)	Carga (lbs)	Carga (kg)	f'c (kg/cm ²)
A	7	13.85	179.07	58000	26308.35	146.90
B	7	13.8	181.45	56000	25401.17	139.98
A	14	13.7	179.55	70000	31751.46	176.83
B	14	13.7	178.13	71500	32431.85	182.06
A	28	13.8	180.98	76000	34473.02	190.47
B	28	13.85	186.99	71000	32205.06	172.22

Interpretación de resultados

Puede verse que la resistencia máxima alcanzada a los 28 días fue de 190 kg/cm², este valor difiere en 10 por ciento al valor esperado de 210 kg/cm² considerado al fabricar la mezcla, como se sabe en base a la teoría y a la práctica este valor de 190 kg/cm² irá aumentando eventualmente hasta alcanzar el valor esperado cuando el concreto tenga una mayor edad.

Sin embargo, estos cilindros de prueba deberían haber alcanzado un valor más cercano al valor esperado, considerando también que el segundo cilindro de prueba solamente alcanzó 172 kg/cm^2 , difiriendo en un 18 por ciento del valor esperado, esto se debe principalmente a la granulometría del agregado, la cual se analizó en el tercer capítulo de este trabajo y pudo observarse que tanto el agregado fino como el grueso no estaban dentro de los límites establecidos, provocando que el concreto tenga mas vacíos entre agregados lo cual a su vez provoca una menor densidad y por lo tanto menor resistencia.

4.3.2 Banco Rocj: Agregado no clasificado

La mezcla elaborada con agregados no clasificados se fabricó con las siguientes características:

- Proporción de la mezcla (en peso): 1: 2.59: 3.30:0.56
- Arena: Pu suelto $1,873.85 \text{ kg/m}^3$
- Grava Pu suelto $1,545.29 \text{ kg/m}^3$
- $F'c = 3,000 \text{ psi}$
- Asentamiento: $4\frac{1}{2}$ Plg.
- Contenido de aire: 0.7%
- Pu concreto: $2,420.73 \text{ kg/m}^3$
- Cemento UGC (4000 psi o 281 kg/cm^2)

Tabla XIX. Resultados del ensayo a compresión del concreto utilizando agregado no clasificado

Cilindro	Edad	Peso (kg.)	Área (cm²)	Carga (lbs)	Carga (kg)	f'c (kg/cm²)
A	7	13.7	179.07	42500	19277.67	107.64
B	7	13.7	179.07	49000	22226.02	124.11
A	14	13.45	180.02	60000	27215.54	151.17
B	14	13.3	174.36	64000	29029.91	166.48
A	28	13.65	181.45	61000	27669.13	152.48
B	28	13.5	182.65	68500	31071.07	170.10

Interpretación de resultados

Los resultados de estos ensayos fueron bastante bajos en comparación al valor esperado, esto en parte se debe a la granulometría y también a que el contenido de agua se excedió como pudo comprobarse en la prueba de asentamiento, la cual indicó 4½ Plg. Cuando debía ser de 4 pulgadas para alcanzar la resistencia esperada.

4.4 Ensayo de morteros a compresión

El ensayo de mortero a compresión se realizó fabricando cubos de mortero en proporción 1:3 tal y como lo especifica el método de prueba ASTM C 109, ensayando tres cubos a la vez a los 7, 14 y 28 días. El cemento utilizado fue el UGC.

4.4.1 Banco Rocj: Agregado fino clasificado

Se fabricaron nueve cubos de mortero utilizando arena clasificada en proporción 1:3, los resultados de los ensayos se muestran en la tabla XX. Las cantidades en peso de materiales fueron 740 gr. cemento, 2035 gr. arena y 373 ml de agua.

Tabla XX. Resultados de mortero a compresión para el agregado fino clasificado

Cubos	Edad	rea (cm ²)	Carga (kg)	f'c (kg/cm ²)
C1	7	25.80	9100	352.62
C2	7	25.80	8200	317.75
C3	7	25.80	9000	348.75
C1	14	25.80	8500	329.37
C2	14	25.80	9650	373.93
C3	14	25.80	9500	368.12
C1	28	25.80	10250.93	397.22
C2	28	25.80	11340	439.42
C3	28	25.80	10886.32	421.84

Interpretación de resultados

Los cubos de mortero ensayados a los 28 días alcanzaron una resistencia máxima promedio de 419 kg/cm². La especificación ASTM C 91 indica que la resistencia mínima para mortero debe ser de 205 kg/cm² a los 28 días, por lo que se concluyó que la arena clasificada del banco Rocj es de excelente calidad para este tipo de trabajo.

4.4.2 Banco Rocj: Agregado fino no clasificado

Las cantidades de material utilizadas para este ensayo fueron 740 gr. de cemento, 2035 gr. de arena y 377 ml. de agua. Los resultados de la prueba a compresi3n se muestran en la tabla XXI.

Tabla XXI. Resultados de mortero a compresi3n para el agregado fino no clasificado

Cubos	Edad	rea (cm ²)	Carga (kg)	f'c (kg/cm ²)
C1	7	25.80	6300	244.12
C2	7	25.80	5400	209.25
C3	7	25.80	5300	205.37
C1	14	25.80	7000	271.25
C2	14	25.80	6900	267.37
C3	14	25.80	7000	271.25
C1	28	25.80	7800	302.25
C2	28	25.80	9500	368.12
C3	28	25.80	9600	372.00

Interpretaci3n de resultados

El mortero fabricado con arena no clasificada alcanz3 una resistencia promedio a los 28 días de 347 kg/cm², 17 por ciento menor que el mortero de arena clasificada, esto se debe principalmente a la granulometría de la muestra, a pesar de esto aun sobrepasa el límite indicado por la norma (205 kg/cm²) en casi un 60 por ciento.

4.4.3 Agregado fino de San Cristóbal

Las cantidades de material en peso utilizadas para elaborar la mezcla de mortero para el ensayo a compresión de la muestra de San Cristóbal fueron 740 gr. cemento, 2035 gr. arena y 520 ml de agua. Los resultados de la prueba se muestran a continuación en la tabla XXII.

Tabla XXII. Resultados de mortero a compresión para el agregado fino del banco San Cristóbal

Cubos	Edad	Área (cm ²)	Carga (kg)	f'c (kg/cm ²)
C1	7	25.80	4400	170.50
C2	7	25.80	4300	166.62
C3	7	25.80	4500	174.37
C1	14	25.80	5100	197.62
C2	14	25.80	4800	186.00
C3	14	25.80	5400	209.25
C1	28	25.80	5850	226.74
C2	28	25.80	5940	230.23
C3	28	25.80	5990	232.17

Interpretación de resultados

El mortero San Cristóbal alcanzó una resistencia promedio de 230 kg/cm², por lo tanto si cumple con la especificación de la norma C 91.

4.5 Ensayo de morteros a tensión

Se elaboraron los ensayos a tensión según la norma ASTM C 190, la cual describe el procedimiento de fabricación de los morteros y elaboración de briquetas para ensayo. Como lo indica la norma, se ensayaron tres briquetas por cada prueba a los 7, 14 y 28 días.

4.5.1 Banco Rocjá: Agregado fino clasificado

Se fabricó mortero en proporción 1:3 utilizando cemento UGC (4000 psi o 281 kg/cm²), las cantidades de material para elaborar la mezcla fueron 450 gr. cemento, 1350 gr. arena y 227 ml de agua. Los resultados del ensayo de briquetas del agregado fino clasificado procedente del banco Rocjá se muestran en la tabla XXIII.

Tabla XXIII. Resultados de mortero a tensión para el agregado fino clasificado de Rocjá

Briqueta	Edad	Área	Carga (kg)	f'c (kg/cm²)
B1	7	6.45	240.91	37.35
B2	7	6.45	213.64	33.12
B3	7	6.45	236.36	36.65
B1	14	6.45	254.55	39.46
B2	14	6.45	245.45	38.05
B3	14	6.45	240.91	37.35
B1	28	6.45	313.64	48.63
B2	28	6.45	290.91	45.10
B3	28	6.45	300.00	46.51

Interpretación de resultados

La norma ASTM C 190 indica que para este ensayo la resistencia mínima a tensión debe ser igual o mayor a 25 kg/cm^2 a los 28 días para cemento tipo I (4000 psi). La resistencia promedio en la prueba a 28 días fue de 46 kg/cm^2 superando en 45 por ciento la condición que establece la norma.

4.5.2 Banco Rocj: Agregado fino no clasificado

Las cantidades de material en peso utilizadas para la mezcla 1:3 fueron: 450 gr. cemento, 1350 gr. arena y 230 ml de agua. Los resultados del ensayo de briquetas del agregado fino no clasificado del banco Rocj se muestran en la tabla XXIV.

Tabla XXIV. Resultados de mortero a tensión para el agregado fino no clasificado de Rocj

Briqueta	Edad	rea	Carga (kg)	f'c (kg/cm^2)
B1	7	6.45	222.73	34.53
B2	7	6.45	222.73	34.53
B3	7	6.45	222.73	34.53
B1	14	6.45	231.82	35.94
B2	14	6.45	272.73	42.28
B3	14	6.45	259.09	40.17
B1	28	6.45	304.55	47.22
B2	28	6.45	295.45	45.81
B3	28	6.45	309.09	47.92

Interpretación de resultados

El mortero de agregado no clasificado de Rocjá obtuvo una resistencia promedio a tensión a los 28 días de 46 kg/cm^2 , por lo tanto cumple con la norma C 190.

4.5.3 Agregado fino de San Cristóbal

Las cantidades de material usadas fueron 450 gr. de cemento, 1350 gr. arena y 295 ml de agua. Se utilizó cemento UGC (4000 psi). Los resultados se muestran en la tabla XXV.

Tabla XXV. Resultados de mortero a tensión para el agregado fino de San Cristóbal

Briqueta	Edad	Área	Carga (kg)	f'c (kg/cm^2)
B1	7	6.45	136.36	21.14
B2	7	6.45	172.73	26.78
B3	7	6.45	177.27	27.48
B1	14	6.45	209.09	32.42
B2	14	6.45	177.27	27.48
B3	14	6.45	190.91	29.60
B1	28	6.45	204.55	31.71
B2	28	6.45	240.91	37.35
B3	28	6.45	213.64	33.12

Interpretación de resultados

Las briquetas de ensayo del mortero San Cristóbal tuvieron una resistencia promedio a los 28 días de 33 kg/cm^2 , por lo tanto se encuentran dentro del rango permitido ($25 \text{ kg/cm}^2 < f'c$).

CONCLUSIONES

1. De acuerdo con la especificación ASTM C33-01 los agregados de los bancos Rocjá y San Cristóbal tienen buenas propiedades físicas y mecánicas, solamente tienen inconveniente en la granulometría.
2. Para el banco Rocjá, las muestras de agregado grueso indicaron que éste se encuentra prácticamente dentro de los límites ASTM de granulometría. Mientras que el agregado fino de Rocjá presenta una granulometría y un módulo de finura que indican que el material es demasiado grueso, por lo que no rellenará los vacíos entre agregados producirá un concreto poco denso y por lo tanto con poca resistencia mecánica. Como se comprobó en el ensayo de concreto a compresión el cual no alcanzó la resistencia de diseño.
3. Se realizó la identificación petrográfica de las muestras y se encontró que estos agregados aparentemente no poseen minerales ni sustancias reactivas, así mismo, el informe de reactividad potencial confirma este resultado.
4. Para correlacionar la información de estos bancos con otros relacionados, se identificaron y geoposicionaron, se encontró que dichos bancos son de origen sedimentario no clástico o químico.

5. Los seis ensayos de mortero a compresión y tensión sobrepasaron los límites establecidos por las normas C 91 y C 190 hasta en un cien por ciento en el caso de la arena clasificada de Rocj, por lo que podrá hacerse una significativa reducción en el contenido de cemento de la mezcla para disminuir costos.
6. Las muestras de agregados finos clasificados y no clasificados de Rocj poseen prácticamente las mismas características, esto denota que a pesar de que al agregado clasificado tiene un proceso más elaborado de extracción no tiene un control de calidad en su granulometría.
7. La norma de clasificación de rocas y minerales para usos como agregados ASTM C 294, indica que la calcita (carbonato de calcio CaCO_3) es un componente inocuo en las rocas, mientras que en el caso de la dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) impone restricción cuando los cristales de dolomita son muy grandes, pues podrían producir reacciones expansivas. Sin embargo, este fenómeno no sucede para este caso donde los cristales de dolomita son microscópicos, por lo que el agregado del banco Rocj es apto para ser usado como agregado para concreto desde el punto de vista mineralógico.

RECOMENDACIONES

1. Controlar la granulometría de los agregados, especialmente en el banco Rocjá al realizar la clasificación del material para extracción.
2. Analizar e investigar el comportamiento de estos materiales, así como concretos de distintas edades en la zona en estudio para comprobar cómo se han desempeñado estos agregados a mediano y largo plazo tomando en cuenta las condiciones climáticas del lugar.
3. Investigar sobre otros bancos de agregados en la zona para crear un registro de sus ubicaciones y características en el área de Alta Verapaz.
4. Dar a conocer la información que aparece en este documento a todas las personas, empresas e instituciones involucradas en actividades relacionadas con la construcción, que utilizan los agregados estudiados, al igual que a potenciales usuarios de los mismos.
5. Elaborar prismas con unidades de mampostería para establecer el comportamiento real de los morteros elaborados con estos agregados.

BIBLIOGRAFÍA

1. ***American Society for Testing and Materials. Annual Book of ASTM Standards.*** Volumen 04.01, 04.02. y 04.05 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. Gaitan Orozco, Sergio. Análisis mineralógico y examen petrográfico de agregado fino para concreto de tres bancos en la región central del país. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería
4. Meza Ligorria, Edwin Lizandro. Cartografía geológica y estudio microfacial del límite entre las formaciones Todos Santos (Jurásico) y Cobán (Cretácico), Pueblo Viejo (Chixoy), Tactic, Alta Verapaz, Guatemala C.A. Tesis Ing. Civil. Cobán, Alta Verapaz, Centro Universitario del Norte -CUNOR-, 1997. 29 pp.
5. 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.

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, desgaste por abrasión para el agregado grueso (ASTM C 131), análisis de óxidos y sílice, reactividad potencial (ASTM C 289), ensayos de concreto a compresión (C 39) y mortero a compresión y tensión (ASTM C 109 Y 190).

Figura 11. Informe de la norma C 33 para el agregado fino clasificado

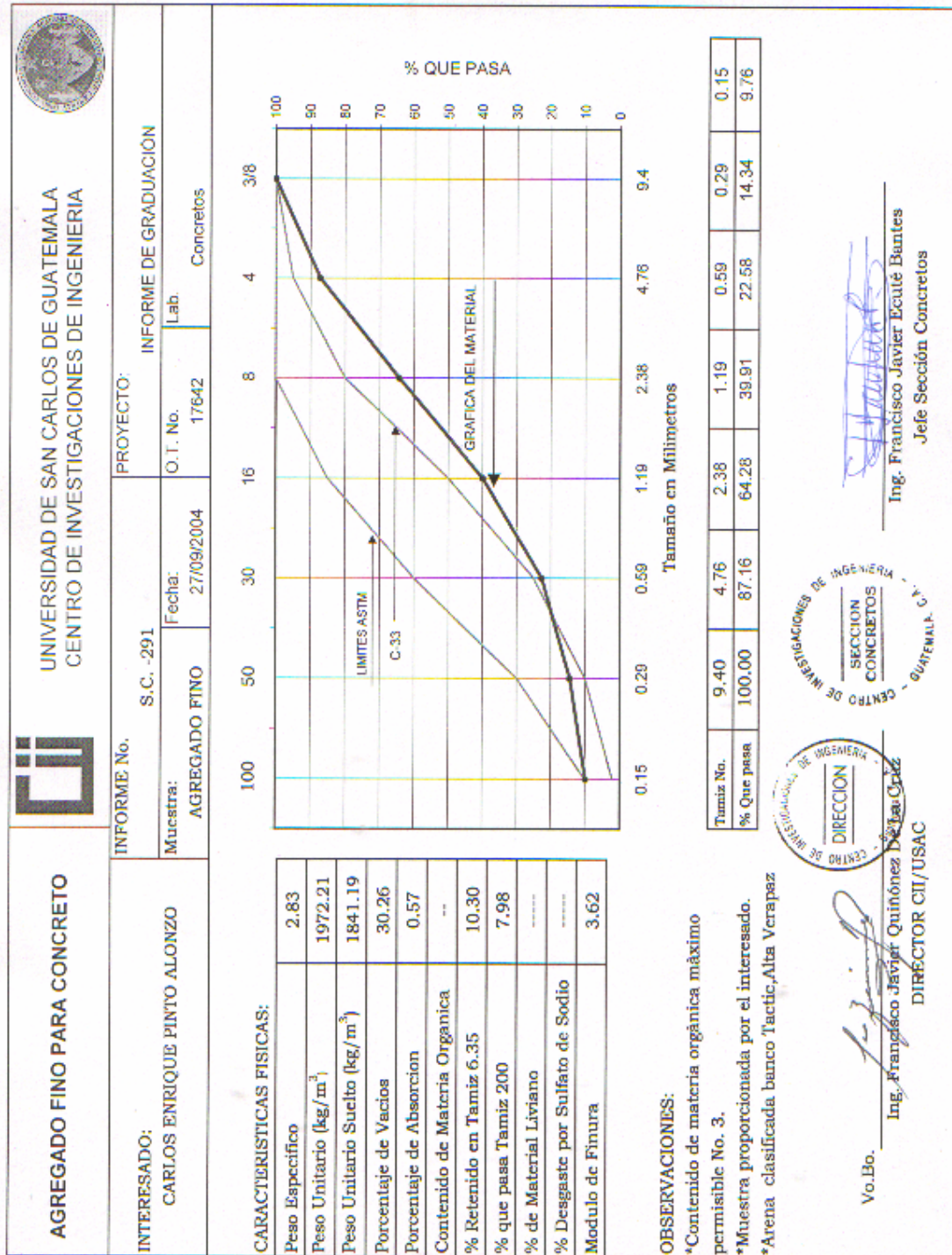


Figura 12. Informe de la norma C 33 para el agregado fino no clasificado

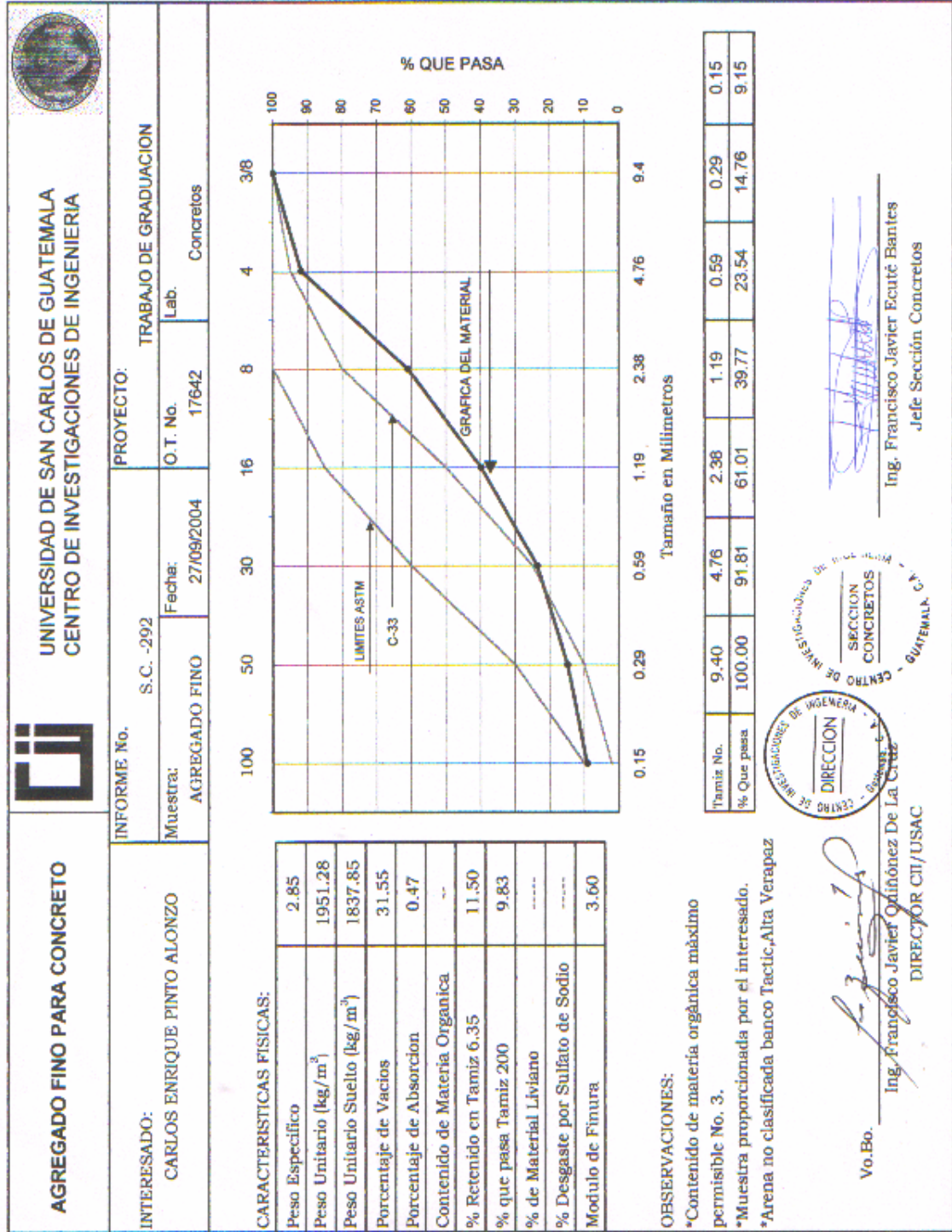


Figura 13. Informe de la norma C 33 para el agregado fino de San Cristóbal

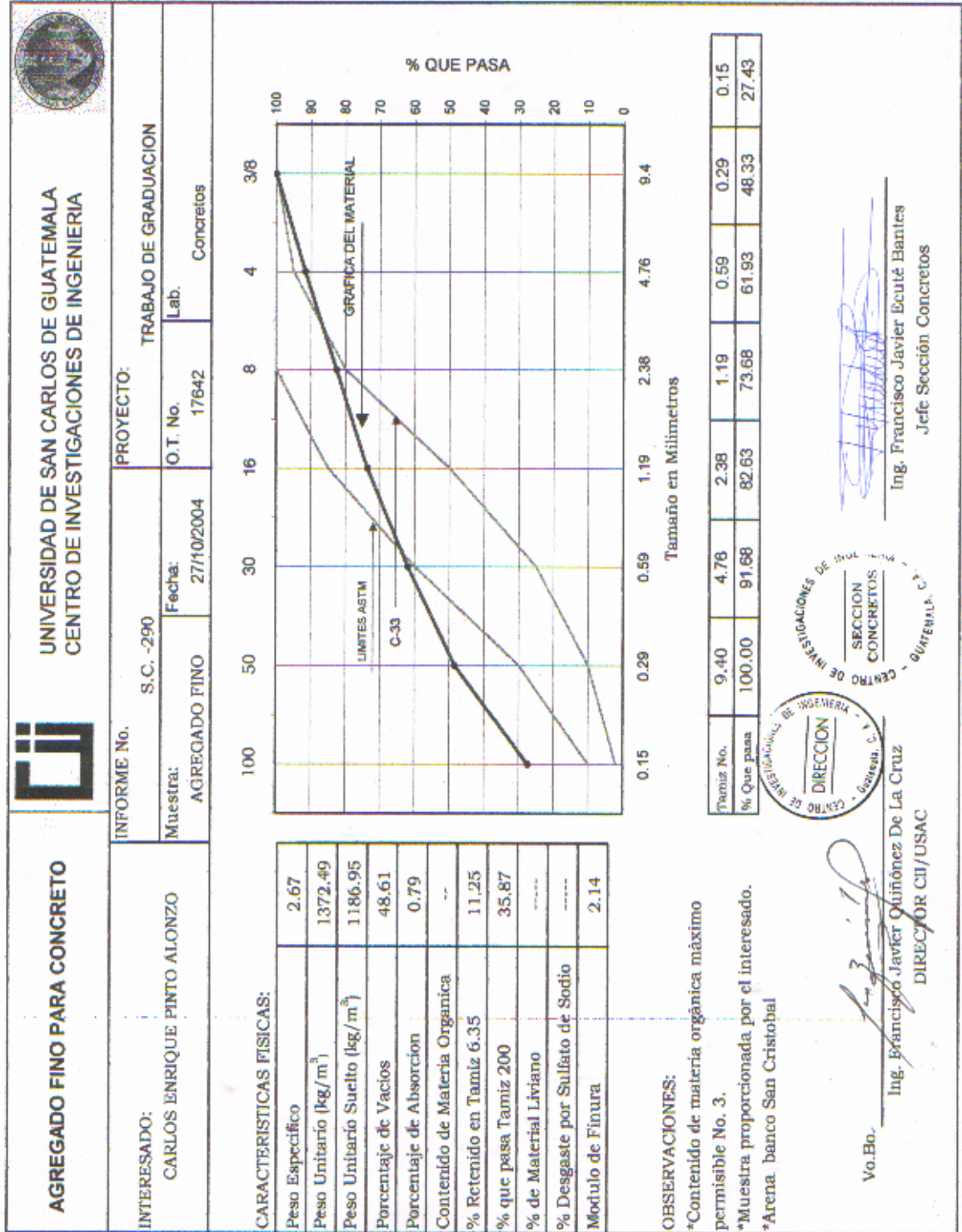


Figura 14. Informe de la norma C 33 para el agregado grueso clasificado

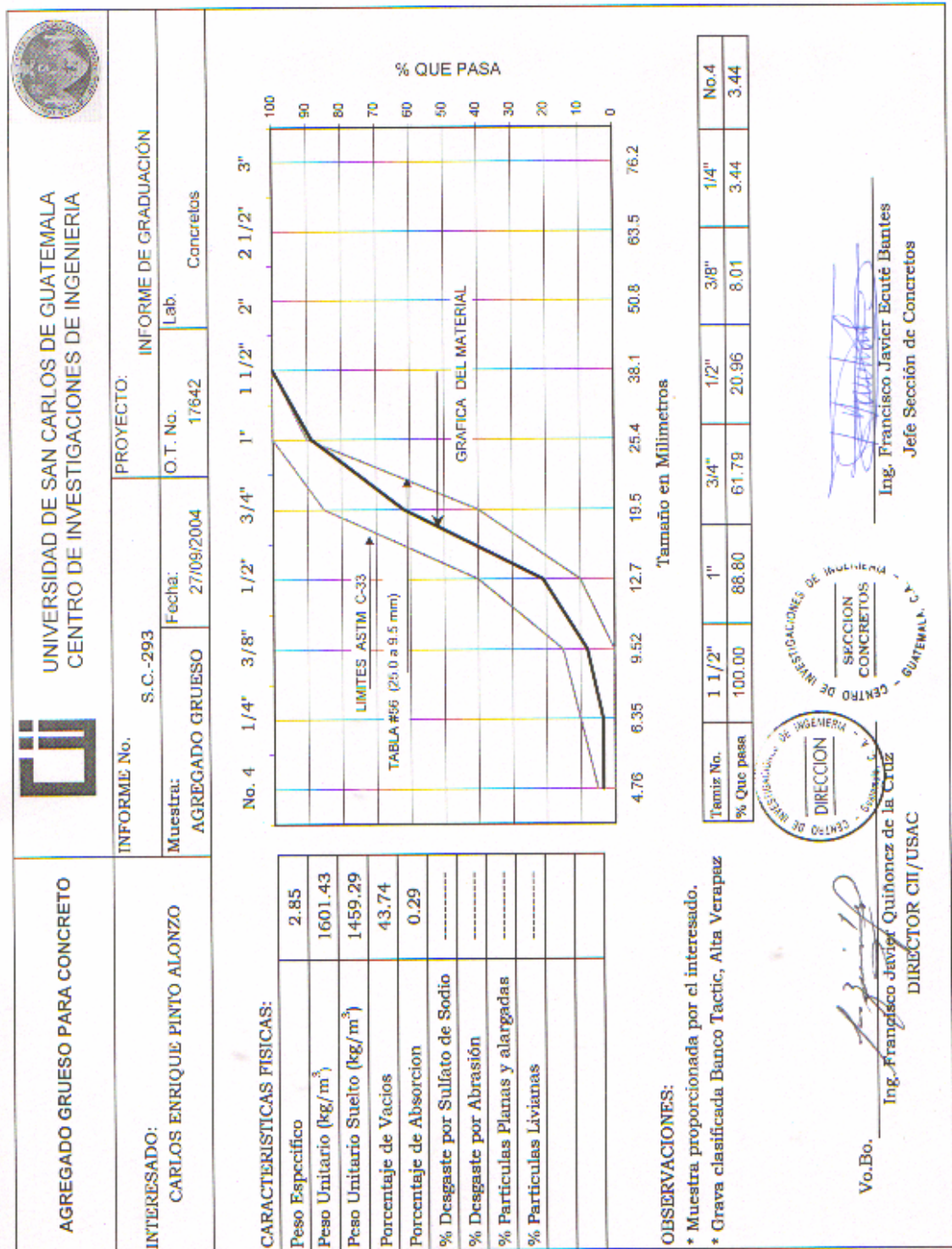


Figura 15. Informe de la norma C 33 para el agregado grueso no clasificado

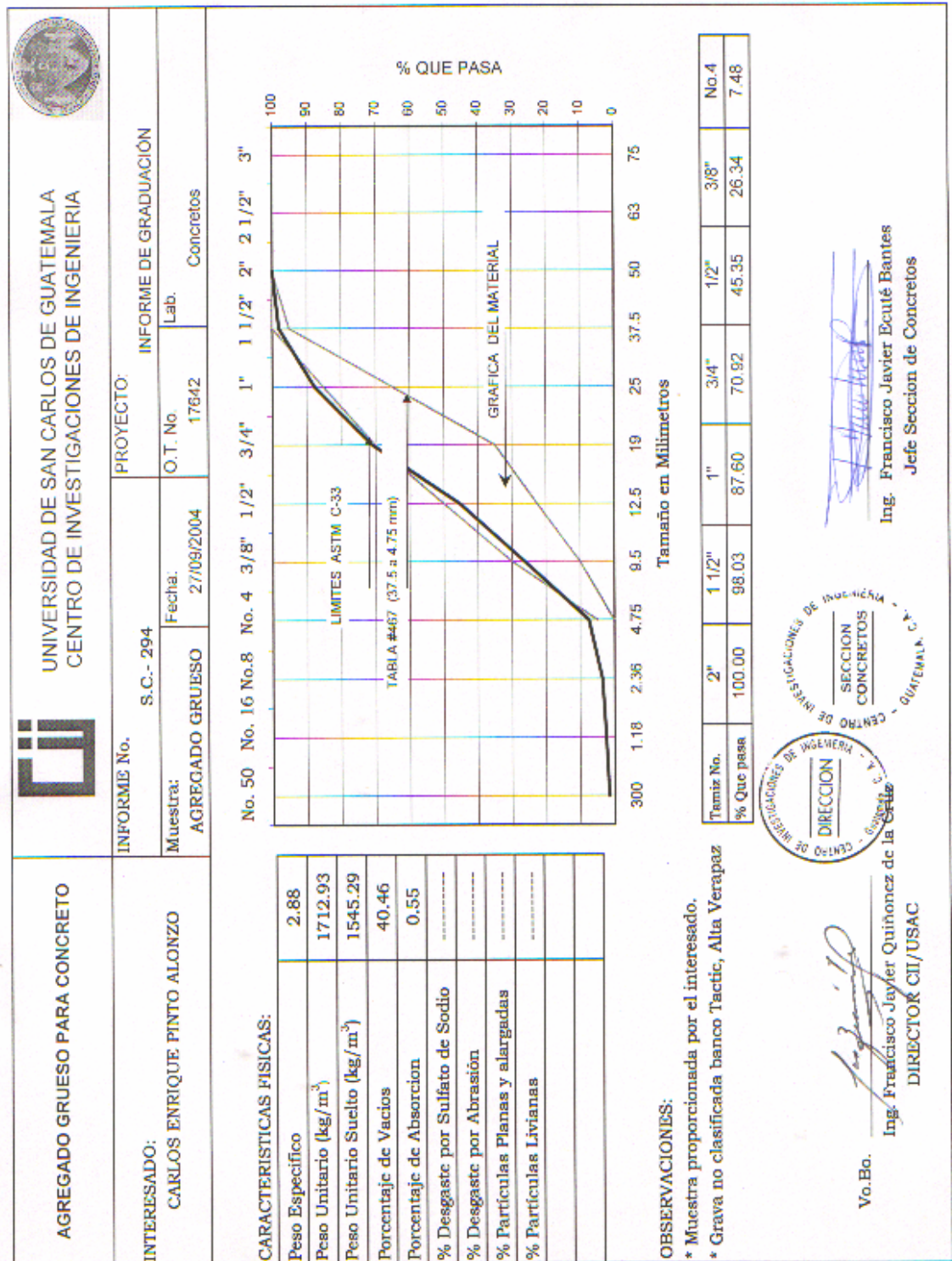




Figura 16. Informe de desgaste por abrasión del agregado clasificado



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



INFORME No. S.C. 299

O.T. No. 17642

INTERESADO: CARLOS ENRIQUE PINTO ALONZO

ASUNTO: ENSAYO DE DESGASTE POR ABRASION EN MAQUINA DE LOS ANGELES

PROYECTO: INFORME DE GRADUACION

PROCEDENCIA: BANCO ROCJA, TACTIC, ALTA VERAPAZ

FECHA: 27 Septiembre de 2004.


REFERENCIAS	MUESTRAS			
	1	2	3	4
1. Norma de Ensayo	ASTM C-131	*****	*****	*****
2. Graduación	'A'	*****	*****	*****
3. % Desgaste	25.6	*****	*****	*****

OBSERVACIONES: a) Muestra proporcionada por el interesado.
b) Material Clasificado.

ATENTAMENTE,

Vo.Bo. 

ING. FRANCISCO JAVIER QUIÑONEZ DE LA CRUZ
DIRECTOR CII/USAC



ING. FRANCISCO JAVIER ECUTE BANTES
JEFE SECCION CONCRETOS



FACULTAD DE INGENIERIA -USAC
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo 476-3992. Planta 443-9500 Ext. 1502. FAX: 476-3993
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Figura 17. Informe de desgaste por abrasión del agregado no clasificado



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



INFORME No. S.C. 300

O.T. No. 17642

INTERESADO: CARLOS ENRIQUE PINTO ALONZO
ASUNTO: ENSAYO DE DESGASTE POR ABRASION EN MAQUINA DE LOS ANGELES
PROYECTO: INFORME DE GRADUACION
PROCEDENCIA: BANCO ROCJA, TACTIC, ALTA VERAPAZ
FECHA: 27 Septiembre de 2004.

REFERENCIAS	MUESTRAS			
	1	2	3	4
1. Norma de Ensayo	ASTM C-131	*****	*****	*****
2. Graduación	"B"	*****	*****	*****
3. % Desgaste	20.8	*****	*****	*****

OBSERVACIONES: a) Muestra proporcionada por el interesado.
b) Material no clasificado.

ATENTAMENTE,

Vo.Bo.

ING. FRANCISCO JAVIER QUIRÓNEZ DE LA CRUZ
DIRECTOR CII/USAC



ING. FRANCISCO JAVIER ECUTE BANTES
JEFE SECCION CONCRETOS



FACULTAD DE INGENIERIA -USAC
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo 476-3992, Planta 443-9500 Ext. 1502, FAX: 476-3993
E-mail: cii@ing.usac.edu.gt

Figura 18. Informe de la evaluación de óxidos y sulfatos de San Cristóbal



	CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA									
		O.T No. 17971 No. Informe Lab. 55-04								
Interesado:	Carlos E. Pinto									
Muestra:	2 muestras de grava.									
Fecha:	20 de septiembre de 2004									
<u>MUESTRA 1</u> Evaluación del porcentaje de Óxido de Calcio, Óxido de Magnesio y Sulfatos.										
<table border="1"><thead><tr><th>Parámetro**</th><th>Muestra*</th></tr></thead><tbody><tr><td>CaO (%)</td><td>0.16</td></tr><tr><td>MgO (%)</td><td>0.54</td></tr><tr><td>SO₄⁻ (%)</td><td>12.39</td></tr></tbody></table>			Parámetro**	Muestra*	CaO (%)	0.16	MgO (%)	0.54	SO ₄ ⁻ (%)	12.39
Parámetro**	Muestra*									
CaO (%)	0.16									
MgO (%)	0.54									
SO ₄ ⁻ (%)	12.39									
* muestra proporcionada por el interesado. ** base húmeda										
Página 1 de 2										
FACULTAD DE INGENIERIA -USAC Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12 Teléfono directo 476-3992, Planta 443-9500 Ext. 1502. FAX: 476-3993 Página web: http://cii.usac.edu.gt										

Figura 19. Informe de la evaluación de óxidos de Rocjá

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

O.T No. 17971
No. Informe Lab. 55-04

MUESTRA 2
Evaluación del porcentaje de Óxido de Calcio, Óxido de Magnesio.

Parámetro**	Muestra*
CaO (%)	34.87
MgO (%)	15.43

* muestra proporcionada por el interesado.
** base húmeda

Atentamente,


Ing. Cesar Alfonso Garcia Guerra
Jefe
Sección Química Industrial -CHI-






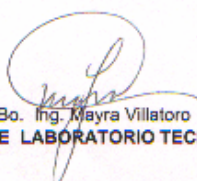


Vo. Bo. Ing. Francisco Javier Quimón de la Cruz
DIRECTOR
Centro de Investigaciones de Ingeniería -CHI-



Página 2 de 2

FACULTAD DE INGENIERIA -USAC
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo 476-3992, Planta 443-9500 Ext. 1502, FAX: 476-3993
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Figura 20. Informe del contenido de sílice de Rocjá

 MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS GUATEMALA, C. A.	LABORATORIO TECNICO RESULTADOS DE ANALISIS	PAGINA 1 DE (1) LAB-REP-1040-04 Num. <u>ORDEN L- 454-04</u> Guatemala, 17-09-04						
MUESTRA: Grava Banco Rocja PRESENTADA POR: Carlos Enrique Pinto Alonzo RESPONSABLE DEL MUESTREO: Desconocido FECHA DE MUESTREO: Desconocida FECHA DE RECEPCION DE MUESTRA Y PAPELERIA: 13-09-04 FECHA DE ANALISIS: Del 13 al 17-09-04 PRECIO DE ANÁLISIS: \$19.00 ANALISTA: Byron Rosales								
<table border="1" style="margin: auto;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">IDENTIFICACION DE LA MUESTRA</th> <th style="text-align: center;">SILICIO</th> </tr> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">% SI</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">Grava Banco Rocja</td> <td style="text-align: center;">0.35</td> </tr> </tbody> </table>			IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	SILICIO		% SI	Grava Banco Rocja	0.35
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	SILICIO							
	% SI							
Grava Banco Rocja	0.35							
<p>Observaciones: Técnica de análisis: Espectrometría de absorción atómica. El resultado se expresa en forma elemental y en porcentaje en peso del elemento con respecto a la muestra original. El resultado es válido únicamente para la porción de muestra presentada a este laboratorio. A solicitud del cliente el resultado elemental por estequiometría se traslada a su respectivo óxido, dicho valor se muestra en la siguiente tabla:</p>								
<table border="1" style="margin: auto;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">IDENTIFICACION DE LA MUESTRA</th> <th style="text-align: center;">SILICIO</th> </tr> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">% SiO₂</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">Grava Banco Rocja</td> <td style="text-align: center;">0.74</td> </tr> </tbody> </table>			IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	SILICIO		% SiO ₂	Grava Banco Rocja	0.74
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	SILICIO							
	% SiO ₂							
Grava Banco Rocja	0.74							
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  Ing. Pedro Lorenzo SECCION DE MINERALES </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  Vo. Bo. Ing. Mayra Villatoro JEFE LABORATORIO TECNICO </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div>								
8F								

El presente informe no puede ser modificado ni reproducido sin la autorización del Laboratorio Técnico

Figura 21. Informe de reactividad potencial del banco Rocj



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



O.T No. 17668

No. Informe Lab. 45-04

Interesado: Carlos Enrique Pinto Alonzo

Muestra: 2 arenas

Fecha: 29 de julio de 2004

Evaluación del porcentaje la reactividad potencial de agregados.

Muestra*	Reducción Alcalina (Rc)	Sílice Disuelta (Sc)	Resultado
Clasificado	529.07 +/- 48.58	33.3	Inocuo
No Clasificado	573.8 +/- 37.26	11.65 +/- 2.35	Inocuo

* muestra proporcionada por el interesado.

Atentamente,

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

Vo. Bo. Ing. Francisco Javier Quinnez de la Cruz
DIRECTOR
Centro de Investigaciones de Ingeniería -CII-



Figura 22. Informe de reactividad potencial del banco San Cristóbal



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



O.T No. 17880
No. Informe Lab. 45-04

Interesado: Carlos Enrique Pinto Alonzo
Muestra: 1 arenas
Fecha: 11 de agosto de 2004

Evaluación del porcentaje la reactividad potencial de agregados.

Muestra*	Reducción Alcalina (Re)	Sílice Disuelta (Sc)	Resultado
San Cristóbal	308.57 +/- 1.75	33.3	Inocuo

* muestra proporcionada por el interesado.

Atentamente,


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


Vo. Bo. Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
DIRECTOR
Centro de Investigaciones de Ingeniería -CII-



Figura 23. Informe de la resistencia de cilindros de concreto



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



RESISTENCIA DE CILINDROS DE CONCRETO

INFORME No. S.C. 289

O.T. No. 17642

INTERESADO: Carlos Enrique Pinto Alonzo
 ASUNTO: ENSAYO A COMPRESION
 PROYECTO: Informe de graduación
 DIRECCION: 4 Av. 2-51 zona 13
 FECHA: 27 de septiembre de 2004

No. CILINDRO CUBA	No. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE EFECTUACION	EDAD EN DIAS	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA FUNCIÓN	PESO EN Kg.	DIAMETRO EN CM.	RESISTENCIA Kg/cm ²
A-1	8-45	10-08-04	7	Agregado no clasificado	13.7	15.1	107.65
A-2	8-46	10-08-04	7	Agregado no clasificado	13.7	15.1	124.11
B-1	8-47	10-08-04	7	Agregado clasificado	13.85	15.1	146.91
B-2	8-48	10-08-04	7	Agregado clasificado	13.8	15.2	139.98
A-1	8-49	10-08-04	14	Agregado no clasificado	13.45	15.14	151.17
A-2	8-50	10-08-04	14	Agregado no clasificado	13.3	14.9	166.49
B-1	8-51	10-08-04	14	Agregado clasificado	13.7	15.12	176.84
B-2	8-52	10-08-04	14	Agregado clasificado	13.7	15.06	182.07
A-1	8-53	10-08-04	28	Agregado no clasificado	13.65	15.2	152.48
A-2	8-54	10-08-04	28	Agregado no clasificado	13.5	15.25	170.11
B-1	8-55	10-08-04	28	Agregado clasificado	13.8	15.18	190.48
B-2	8-56	10-08-04	28	Agregado clasificado	13.85	15.43	172.23

Mpa – Sistema de Medida Internacional

Mpa x 0.10.197 = kg/cm²

Mpa x 145.004 = lb/plg²

OBSERVACIONES: Diseño de mezcla teórico y práctico con materiales proporcionados por el interesado
ATENTAMENTE,

[Signature]

Ing. Francisco Javier Ecuté Bantes
 JEFE SECCION CONCRETOS

Vo.Bo,


[Signature]

Ing. Francisco Javier Quirón de la Cruz
 DIRECTOR CII/USAC




FACULTAD DE INGENIERIA -USAC
 Edificio 1-5, Ciudad Universitaria zona 12
 Teléfono directo 476-3992, Planta 443-9500 Ext. 1502, FAX: 476-3993
 Página web: <http://ci.usac.edu.gt>

Figura 24. Informe de la resistencia de morteros a tensión y compresión



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



Orden de Trabajo No. 18079.

INFORME No. 014-S.A.M.

Interesado: Carlos Enrique Pinto Alonzo
Proyecto: Trabajo de Graduación
Asunto: Evaluar morteros preparados con agregados de Tactic y San Cristóbal A.V
Fecha: 05 de octubre de 2004

1. **Generalidades:** el interesado manifestó interés en evaluar morteros a base de agregado de la región de Tactic y San Cristóbal A.V. , indicando que esta actividad forma parte de su trabajo de Graduación en la Escuela de Ingeniería Civil, proporcionando los materiales a utilizar.
2. **Materiales:** el interesado proporcionó los materiales para la evaluación, siendo estos los siguientes:
 - Agregado fino de San Crsitobal A. V
 - Agregado fino clasificado de Tactic
 - Agregado fino de Tactic
 - Cemento Uso General en la Construcción (Cementos Progreso)
3. **Procedimiento:** se trabajó de acuerdo a las normas ASTM aplicables al tema, evaluándose los siguientes parámetros:
 - 3.1 Trabajabilidad (ASTM C-109)
 - 3.2 Resistencia a la Compresión (ASTM C-109)
 - 3.3 Resistencia a la Tensión (ASTM C 190)

Para todos los materiales la proporción utilizada en los morteros fue de 1:3 en peso, pasándoles por el tamiz No. 4 y realizando el procedimiento de mezclado según la norma ASTM C-305

4 Resultados

4.1 Resistencia a la Compresión

4.1.1 Agregado San Cristobal

Cubos	Edad	Área (cm ²)	Carga (kg)	f _c (kg/cm ²)
C1	7	25.80	4400	170.50
C2	7	25.80	4300	166.62
C3	7	25.80	4500	174.37
C1	14	25.80	5100	197.62
C2	14	25.80	4800	186.00
C3	14	25.80	5400	209.25
C1	28	25.80	5850	226.74
C2	28	25.80	5940	230.23
C3	28	25.80	5990	232.17

FACULTAD DE INGENIERIA -USAC
 Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
 Teléfono directo 476-3992, Planta 443-9500 Ext. 1502, FAX: 476-3993
 Página web: <http://cii.usac.edu.gt>



4.1.2 Agregado clasificado Tactic

Cubos	Edad	Área (cm ²)	Carga (kg)	f _c (kg/cm ²)
C1	7	25.80	9100	352.62
C2	7	25.80	8200	317.75
C3	7	25.80	9000	348.75
C1	14	25.80	8500	329.37
C2	14	25.80	9650	373.93
C3	14	25.80	9500	368.12
C1	28	25.80	10250.93	397.22
C2	28	25.80	11340	439.42
C3	28	25.80	10886.32	421.84

4.1.3 Agregado Tactic

Cubos	Edad	Área (cm ²)	Carga (kg)	f _c (kg/cm ²)
C1	7	25.80	6300	244.12
C2	7	25.80	5400	209.25
C3	7	25.80	5300	205.37
C1	14	25.80	7000	271.25
C2	14	25.80	6900	267.37
C3	14	25.80	7000	271.25
C1	28	25.80	7800	302.25
C2	28	25.80	9500	368.12
C3	28	25.80	9600	372.00

4.2 Resistencia a la Tensión

4.2.1 Agregado Fino Clasificado Tactic

Briqueta	Edad	Área	Carga (kg)	f _c (kg/cm ²)
B1	7	6.45	240.91	37.35
B2	7	6.45	213.64	33.12
B3	7	6.45	236.36	36.65
B1	14	6.45	254.55	39.46
B2	14	6.45	245.45	38.05
B3	14	6.45	240.91	37.35
B1	28	6.45	313.64	48.63
B2	28	6.45	290.91	45.10
B3	28	6.45	300.00	46.51



4.2.2 Agregado Fino Tactic.

Briqueta	Edad	Área	Carga (kg)	f'c (kg/cm ²)
B1	7	6.45	222.73	34.53
B2	7	6.45	222.73	34.53
B3	7	6.45	222.73	34.53
B1	14	6.45	231.82	35.94
B2	14	6.45	272.73	42.28
B3	14	6.45	259.09	40.17
B1	28	6.45	304.55	47.22
B2	28	6.45	295.45	45.81
B3	28	6.45	309.09	47.92

4.2.3 Agregado Fino San Cristobal

Briqueta	Edad	Área	Carga (kg)	f'c (kg/cm ²)
B1	7	6.45	136.36	21.14
B2	7	6.45	172.73	26.78
B3	7	6.45	177.27	27.48
B1	14	6.45	209.09	32.42
B2	14	6.45	177.27	27.48
B3	14	6.45	190.91	29.60
B1	28	6.45	204.55	31.71
B2	28	6.45	240.91	37.35
B3	28	6.45	213.64	33.12

Atentamente,


Ing. Sergio Vinicio Caslañeda Lemus
Jefe Sección Aglomerantes y Morteros

Vo. Bo.


Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
DIRECTOR CIIUSAC



c.c.: Archivo.

