



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

**EXAMEN DE CALIDAD DE AGREGADOS PARA CONCRETO
DE DOS BANCOS EN LA CIUDAD DE
QUETZALTENANGO**

**Raúl Armando Salguero Girón
Asesorado por Ing. Julio Roberto Luna Aroche**

Guatemala, mayo de 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EXAMEN DE CALIDAD DE AGREGADOS PARA CONCRETO
DE DOS BANCOS EN LA CIUDAD DE
QUETZALTENANGO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

RAÚL ARMANDO SALGUERO GIRÓN

ASESORADO POR ING. JULIO ROBERTO LUNA AROCHE

AI CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, MAYO 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. Sergio Vinicio Castañeda Lemus
EXAMINADOR	Ing. Ronald Estuardo Galindo Cabrera
EXAMINADOR	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
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:

EXAMEN DE CALIDAD DE AGREGADOS PARA CONCRETO DE DOS BANCOS EN LA CIUDAD DE QUETZALTENANGO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 21 de enero de 2004.

Raúl Armando Salguero Girón

AGRADECIMIENTOS

Al Ingeniero Julio Luna por haberme brindado su valiosa asesoría en la elaboración de este trabajo de graduación.

Al personal del Área de Concretos del Centro de Investigaciones de Ingeniería.

A mis padres por su apoyo económico.

A todas las personas, que de una u otra forma colaboraron de manera desinteresada en la realización de este trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
GLOSARIO	VII
RESUMEN	XI
OBJETIVOS	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. MARCO TEÓRICO	1
1.1. Análisis de las propiedades físicas de los agregados.....	1
1.1.1. Descripción general de la norma ASTM C-33.....	1
1.1.1.1. Agregado fino.....	2
1.1.1.1.1. Graduación.....	2
1.1.1.1.2. Sustancias perjudiciales.....	3
1.1.1.1.3. Impurezas orgánicas.....	4
1.1.1.2. Agregado grueso.....	5
1.1.1.2.1. Graduación.....	5
1.1.1.2.2. Sustancias perjudiciales	5
1.1.2. Absorción y contenido de humedad, peso específico y peso unitario.....	6
1.1.2.1. Absorción y contenido de humedad.....	6
1.1.2.2. Peso específico.....	7
1.1.2.3. Peso unitario.....	8
1.2. Análisis de las propiedades mecánicas de los agregados.....	8
1.2.1. Ensayo de abrasión en la máquina de Los Ángeles, ASTM C-131.....	9
1.2.1.1. Resumen del método.....	9

1.2.1.2.	Aparatos.....	9
1.2.1.3.	Muestra de ensayo.....	10
1.2.1.4.	Procedimiento.....	10
1.3.	Análisis de las propiedades químicas de los agregados.....	11
1.3.1.	Examen petrográfico de agregados, ASTM C-295.....	12
1.3.1.1.	Usos de los análisis petrográficos.....	12
1.3.1.2.	Toma de muestras.....	13
1.3.1.3.	Selección de las muestras para el examen.....	14
1.3.1.4.	Examen de la grava natural.....	15
1.3.1.5.	Exámenes de la arena natural.....	16
1.3.1.6.	Examen del núcleo de perforación.....	16
1.3.1.7.	Examen de la roca expuesta.....	17
1.3.1.8.	Examen de la roca triturada.....	18
1.3.1.9.	Examen de la arena manufacturada.....	18
1.3.1.10.	Cálculos.....	18
1.3.1.11.	Informes.....	19
1.3.2.	Método químico para medir la reactividad potencial de los agregados, ASTM C-289.....	20
1.3.2.1.	Aplicación y uso.....	20
1.3.2.2.	Selección y preparación de la muestra.....	21
1.3.2.3.	Procedimiento.....	22
1.3.2.4.	Interpretación de los resultados.....	22
2.	LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS BANCOS.....	25
2.1.	Localización.....	25
2.2.	Descripción geológica de los bancos.....	27

3. ENSAYOS DE LABORATORIO.....	33
3.1. Tabulación y análisis de resultados.....	34
3.1.1. Resultados de la norma ASTM C-33.....	34
3.1.1.1. Agregado fino.....	34
3.1.1.2. Agregado grueso.....	37
3.1.2. Resultados de la norma ASTM C-131.....	39
3.1.3. Resultados de la norma ASTM C-289.....	39
3.1.4. Resultados de la norma ASTM C-295.....	40
3.1.4.1. Agregado fino.....	40
3.1.4.2. Agregado grueso.....	44
3.1.4.2.1. Composición química.....	45
4. PRINCIPALES NORMAS RELACIONADAS Y SU FACTIBILIDAD DE APLICACIÓN.....	47
4.1. Bondad de los agregados por el uso de sulfato de sodio o sulfato de magnesio, ASTM C-88.....	47
4.1.1. Factibilidad de aplicación	48
4.2. Método de la barra de mortero para determinar la reactividad potencial de los álcalis en combinaciones cemento-agregados, ASTM C-227.....	48
4.2.1. Factibilidad de aplicación.....	49
4.3. Reactividad potencial de los álcalis en rocas carbonáticas, ASTM C-586.....	50
4.3.1. Factibilidad de aplicación.....	50
4.4. Cambio potencial de volumen en combinaciones de cemento-agregados, ASTM C-342.....	50
4.4.1. Factibilidad de aplicación.....	51

CONCLUSIONES..... 53
RECOMENDACIONES..... 55
BIBLIOGRAFÍA..... 57
ANEXOS..... 59

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	División entre agregados inocuos y dañinos.....	24
2.	Mapa de localización de los bancos de agregados en estudio (B) y el lugar de trituración (T).....	26
3.	Fotografía del lugar de extracción y apilamiento de rocas.....	28
4.	Fotografía panorámica del lugar de extracción de material.....	29
5.	Fotografía que muestra el proceso de trituración.....	30
6.	Fotografías del apilamiento de los agregados.....	31
7.	Curva granulométrica del agregado fino.....	35
8.	Curva granulométrica del agregado grueso.....	38
9.	Distribución de los diferentes componentes del agregado fino según el número de tamiz.....	43
10.	Contenido promedio de los componentes del agregado fino.....	44
11.	Informe de la norma ASTM C-33 para agregado fino.....	61
12.	Informe de la norma ASTM C-33 para agregado grueso.....	62
13.	Informe de la norma ASTM C-131.....	63
14.	Informe de la norma ASTM C-289.....	64
15.	Resultado gráfico de la norma ASTM C-289 para la arena.....	65
16.	Resultado gráfico de la norma ASTM C-289 para el pedrín.....	66
17.	Resultados del análisis de óxidos del agregado grueso.....	67
18.	Resultados del análisis de silicio del agregado grueso.....	68

TABLAS

I. Límites de granulometría para el agregado fino.....	2
II. Clasificación de la arena fino por su módulo de finura.....	3
III. Límites de sustancias deletéreas en agregados finos.....	4
IV. Tipo de abrasión según granulometría, utilizando 5000 gr. de muestra.....	11
V. Cantidades de material de muestreo para el análisis petrográfico.....	14
VI. Granulometría del agregado fino.....	35
VII. Características físicas del agregado fino.....	36
VIII. Granulometría del agregado grueso.....	37
IX. Características físicas del agregado grueso.....	38
X. Porcentaje de material retenido en cada tamiz.....	41
XI. Conteo de los tipos de partículas que componen el agregado fino.....	41
XII. Porcentaje de partículas que componen el agregado fino por tamiz.....	42
XIII. Composición química del agregado grueso.....	45

GLOSARIO

Álcalis	Hidróxidos que se forman cuando elementos alcalinos entran en contacto con el agua. En el cemento Pórtland estos elementos alcalinos son el sodio y el potasio.
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.
Avalancha de escombros volcánicos	Se genera cuando se produce una erupción lateral o colapso del edificio volcánico. El material fragmentado fluye a través del terreno dejando depósitos característicos.
Bomba volcánica	Fragmento rocoso de forma ovoidea o almendrada debido a su rotación una vez ha sido expulsado durante la erupción volcánica.

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.
Estructura vesicular	Esta característica se produce cuando los gases contenidos en las lavas escapan al disminuir la presión debido a una erupción hacia la superficie, esto distiende el material fundido con la producción de cavidades, burbujas o vesículas.
Hornblenda	Mineral ferromagnesiano del grupo de los anfíboles muy abundante en la naturaleza como componente de rocas eruptivas.
Lignito	Carbón mineral cuya composición es 60 a 75% de carbono, 20 a 30% de oxígeno y 5.5% de hidrógeno.

Limo	Material sedimentario detrítico constituido por partículas de tamaño comprendido entre 1/16 y 1/256 mm. Los limos están formados esencialmente por sílice y son típicos de lagos, pantanos y aguas tranquilas, aunque también pueden ser de origen eólico.
Mortero	Mezcla constituida por agua, arena y un aglomerante como el cemento Pórtland. Puede contener además un aditivo.
Pómez	Vidrio volcánico muy poroso y ligero debido a la liberación de los gases que contenía la lava de la que procede.
Riolita	Roca volcánica constituida mineralógicamente por cuarzo, feldespato y mica; su composición es muy semejante a la del granito.
Vidrio volcánico	Los vidrios son soluciones excesivamente viscosas y grandemente sobre enfriadas en las cuales las moléculas o los grupos atómicos están desordenados, y no en un orden definido tal como en los cristales.

RESUMEN

En este trabajo de graduación se analiza la calidad de agregados para concreto de dos bancos en el área de Llanos del Pinal y Xecaracoj de la ciudad de Quetzaltenango. Para este fin se tomaron dos muestras, una de agregado fino y otra de grueso, luego fueron llevadas a los laboratorios donde se practicaron los ensayos respectivos para determinar sus propiedades físicas, mecánicas y químicas.

Para analizar las propiedades físicas del agregado se utilizó la norma ASTM C-33, que brinda los requisitos generales que debe llenar un agregado. Las propiedades mecánicas se determinaron con la norma ASTM C-131, denominada ensayo de desgaste por abrasión, la cual se aplica sólo al agregado grueso, y por último para conocer las propiedades químicas y mineralógicas se utilizó el examen petrográfico según la norma ASTM C-295 y el ensayo de reactividad potencial ASTM C-289.

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

OBJETIVOS

- **General**

Evaluar las propiedades físicas, mecánicas y químicas de dos bancos de agregados utilizados en la industria de la construcción en la ciudad de Quetzaltenango, aplicando cuatro normas ASTM para determinar su calidad como agregados para concreto.

- **Específicos**

1. Determinar las especificaciones estándar de los agregados según la norma ASTM C-33 de las dos muestras, y las propiedades de resistencia a la abrasión e impacto del agregado grueso según la norma ASTM C-131.
2. Realizar el examen petrográfico de las muestras aplicando la norma ASTM C-295, para determinar si existen minerales o sustancias deletéreas.
3. Correlacionar la información mineralógica con la proporcionada por el ensayo de la norma C-289 (reactividad potencial), en el caso específico del contenido de sílice de la muestra.
4. Analizar la factibilidad de aplicación de las principales normas relacionadas que no están consideradas en este trabajo como punto principal de estudio y ensayo.

INTRODUCCIÓN

La gran mayoría de construcciones civiles en Guatemala utilizan el concreto como parte fundamental de las mismas, y como se sabe para producir un buen concreto estructural es necesario una buena calidad de agregados. Este es el punto sobre el que trata el trabajo de graduación que se presenta a continuación, y como objeto de estudio se ha elegido a la ciudad de Quetzaltenango, que por ser la segunda ciudad de Guatemala, en cuanto a densidad de población se refiere, es una gran consumidora de agregados.

Para efectuar este análisis de calidad de agregados para concreto se aplicaron las normas ASTM C-33, C-131, C-289 y C-295, las cuales cubren los ensayos para determinar la buena calidad de agregados en lo que a propiedades físicas, mecánicas y químicas se refiere. Su descripción teórica, así como los procedimientos a seguir se presentan en el primer capítulo, luego se muestra localización y descripción de los bancos en estudio para seguir con los ensayos de laboratorio y su análisis respectivo. Por último, se describen y analizan las principales normas relacionadas y como se vinculan con las aplicadas en este trabajo.

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

1. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presenta la teoría y los procedimientos normados de ensayo sobre los cuales se sustenta el análisis de calidad de agregados, con base en las normas ASTM (Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales).

1.1 Análisis de las propiedades físicas de los agregados

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

1.1.1 Descripción general de la norma ASTM C-33

Esta norma define los requerimientos necesarios 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 concretos.

1.1.1.1 Agregado fino

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

1.1.1.1.1 Graduación

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

Tabla I. Límites de granulometría para el agregado fino

Tamiz	Porcentaje que pasa
3/8" (9.5 mm)	100
Nro. 4 (4.75 mm)	95 a 100
Nro. 8 (2.36 mm)	80 a 100
Nro. 16 (1.18 mm)	50 a 85
Nro. 30 (600 µm)	25 a 60
Nro. 50 (300 µm)	10 a 30
Nro. 100 (150 µm)	2 a 10

Fuente: **Normas de la Asociación Americana para el Ensayo de Materiales, Vol. 04.02 Pág. 11**

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

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

Tipo de arena	Módulo de finura
Gruesa	2.9 - 3.2 gramos
Media	2.2 - 2.9 gramos
Fina	1.5 - 2.2 gramos
Muy fina	1.5 gramos

El módulo de finura no deberá ser menor de 2.3 ni mayor de 3.1 y si varía más del 0.20 del valor asumido al seleccionar las proporciones para concreto, deberá ser rechazado a menos que se verifiquen ajustes adecuados con el objeto de compensar la diferencia de graduación.

1.1.1.1.2 Sustancias perjudiciales

La cantidad de sustancias deletéreas en el agregado fino no excederá los límites presentados en la tabla III.

Tabla III. Límites de sustancias deletéreas en agregados finos

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

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

Fuente: **Normas de la Asociación Americana para el Ensayo de Materiales, Vol. 04.02 Pág. 11**

1.1.1.1.3 Impurezas orgánicas

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

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

1.1.1.2 Agregado grueso

El agregado grueso consistirá en grava, grava triturada, roca triturada, escoria de hornos de explosión, concreto de cemento hidráulico triturado o una combinación de lo anterior, de acuerdo con los requerimientos que estable esta norma (C-33).

1.1.1.2.1 Graduación

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

1.1.1.2.2 Sustancias perjudiciales

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

El agregado grueso para uso en concreto que estará expuesto con frecuencia al agua, debe estar libre de material que reaccione peligrosamente con los álcalis del cemento. Si tales materiales se presentan en cantidades peligrosas, el agregado grueso será rechazado o será empleado con cemento que contenga menos de 0.6 por ciento de álcalis calculados en base de óxido de sodio, o con la adición de material que demuestre controlar las expansiones debidas a la reacción de álcali-agregado.

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

1.1.2.1 Absorción y contenido de humedad

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./pulg.², es por este motivo que los ensayos de contenido de humedad y absorción deben hacerse. 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 conteniendo algo 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.

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.

1.1.2.2 Peso específico

La densidad o masa específica de un cuerpo homogéneo es la masa por unidad de volumen de ese cuerpo. Si en lugar de tomar la masa de un cuerpo se toma su peso, se tiene lo que se conoce como peso específico.

En el caso de los agregados se ha introducido una modificación a la definición anterior. Esto se debe a que se hace necesario determinar el peso del volumen aparente de estos materiales (el volumen sin descontar los poros y espacios libres) entonces: peso específico aparente relativo es la relación entre el peso de un volumen aparente de un cuerpo y el peso de otro volumen aparente de otro cuerpo tomado como comparación, a igual intensidad de la gravedad y en las mismas condiciones de temperatura y presión.

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

1.1.2.3 Peso unitario

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 Análisis de las propiedades mecánicas de los agregados

En relación a los agregados, la resistencia a ser rayados y la resistencia al desgaste (abrasión) son las propiedades mecánicas que interesa determinar. En el primer caso en relación al equipo de explotación de agregados y en el segundo caso para los efectos de resistencia en el concreto, sobre todo cuando el agregado se use en pavimentos o aceras.

Para determinar la resistencia al desgaste de los agregados se emplea el ensayo en la máquina de Los Ángeles, de acuerdo con la norma ASTM C-131. Este ensayo consiste básicamente en colocar el agregado dentro de un cilindro rotatorio con una carga de bolas de acero por un periodo de tiempo especificado, después de lo cual se determina el porcentaje de desgaste sufrido. El agregado grueso ensayado a desgaste no deberá mostrar una pérdida mayor del 50 por ciento en peso, si fuera el caso, podrá usarse siempre y cuando produzca resistencias satisfactorias en el concreto de proporciones seleccionadas.

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

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

1.2.1.1 Resumen del método

La prueba de la máquina de Los Ángeles es una medida de la degradación de los minerales de los agregados de graduaciones normales, resultando de una combinación de acciones incluyendo abrasión, impacto y molienda en un tambor rotativo de acero conteniendo un número específico de esferas, que dependerá de la graduación de la muestra. Mientras el tambor rota, una placa eleva la muestra y las esferas de acero, transportándolas hasta ser soltadas desde la parte opuesta del tambor, creando un efecto de trituración por impacto. El contenido sigue rodando dentro del tambor con una acción de molienda abrasiva hasta que la placa hace impacto y el ciclo se repite. Después de transcurrido el número de revoluciones preestablecido, el contenido es removido del tambor y la porción de agregado es tamizada para medir el desgaste como el porcentaje de peso perdido.

1.2.1.2 Aparatos

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

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

El cilindro será provisto de una abertura para poder introducir la muestra de ensayo. La abertura cerrará de modo que sea a prueba de polvo , lo que se logra con una tapadera que se amolde al cilindro y se atornille al mismo. A lo largo de una línea de la superficie interior del cilindro se colocará una placa o paleta de acero removible, proyectada radialmente hacia el centro del cilindro 3½ pulgadas y extendida a todo lo largo del mismo.

Las cargas abrasivas consistirán en esferas de acero de un diámetro aproximado de 46.8 mm y cada una pesando entre 390 y 445 g.

1.2.1.3 Muestra de ensayo

La muestra de ensayo consistirá en agregado que ha sido secado al horno a temperatura de 105 a 110 grados centígrados, hasta obtener peso constante. La graduación o graduaciones usadas serán aquellas que representen más adecuadamente el agregado suministrado como muestra.

1.2.1.4 Procedimiento

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

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

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

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

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

1.3 Análisis de las propiedades químicas de los agregados

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

Cuando se trata de rocas carbonáticas, la reacción del álcali con los carbonatos produce igualmente un efecto expansivo que provoca microfisuras, generando en el proceso carbonato de potasio.

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

1.3.1 Examen petrográfico de agregados, ASTM C-295

1.3.1.1 Usos de los análisis petrográficos

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

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

1.3.1.2 Toma de muestras

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

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

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

Para afloramientos de canteras no productoras, donde los apilamientos regulares del material no son disponibles, las muestras no deben ser menos de 2 kilogramos de cada estrato con piezas que no pesen menos de 0.5 kilogramos o por núcleo perforado descrito anteriormente.

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

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

Abertura de tamiz	CANTIDAD		
	kg	lb	Piezas
Mayores de 150 mm (6")	--	--	*
75 a 150 mm (3" a 6")	--	--	300
37.5 a 75 mm (1½" a 3")	180	400	--
19 a 37.5 (¾" a 1½")	90	200	--
4.75 a 19 mm (Nro. 4 a ¾ ")	45	100	--
Menores de 4.75 mm (Nro. 4) **	23	50	--

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

** Agregado fino.

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

1.3.1.3 Selección de las muestras para el examen

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

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

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

1.3.1.4 Examen de la grava natural

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

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

- Forma de las partículas
- Superficie de la partícula, textura
- Tamaño del grano

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

1.3.1.5 Exámenes de la arena natural

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

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

1.3.1.6 Examen del núcleo de perforación

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

Si el tamaño del testigo lo permite, debe considerarse la probabilidad de que la roca se haga agregado, del tamaño requerido. Si se humedece la superficie del testigo, es más fácil reconocer características significativas y cambios en su litología.

La mayoría de la información requerida normalmente, se obtiene por un cuidadoso examen visual, pruebas de rayado y de ácido o golpeando el núcleo con un martillo.

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

1.3.1.7 Examen de la roca expuesta

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

1.3.1.8 Examen de la roca triturada

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

1.3.1.9 Examen de la arena manufacturada

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

1.3.1.10 Cálculos

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

El porcentaje de peso de la fracción retenida en cada tamiz de la muestra completa (porcentajes individuales retenidos sobre tamices consecutivos) se obtiene al multiplicar los porcentajes de los componentes en la fracción tamizada, determinada y descrita anteriormente, por los porcentajes de la fracción tamizada de la muestra completa, se calculan los porcentajes de la muestra completa de ese componente, de ese tamaño y el porcentaje pesado de los componentes de la fracción tamizada. Es conveniente el cálculo y el registro de estos porcentajes expresados en intervalos del 10 %.

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

1.3.1.11 Informes

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

Cuando en una muestra han sido encontradas propiedades o constituyentes conocidos por sus propiedades dañinas al concreto, estas propiedades o constituyentes deben ser descritos cualitativamente y su posible magnitud de forma cuantitativa. Los efectos desfavorables que se espera sucedan deben mencionarse, así como incluir recomendaciones considerando un examen petrográfico adicional, químico, físico, o investigación geológica que deba ser necesaria para evaluar propiedades adversas que fueron indicadas en el examen petrográfico.

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

1.3.2.1 Aplicación y uso

Este ensayo describe un método químico para determinar la reactividad potencial de un agregado con álcalis, en un concreto elaborado con cemento Pórtland, de acuerdo con la magnitud de la reacción que ocurre durante 24 horas a 80 ° C, entre una solución de hidróxido de sodio 1 N y un agregado que ha sido triturado y cernido de forma que pase por un tamiz Nro. 50 y quede retenido en un tamiz Nro. 100.

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

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

1.3.2.2 Selección y preparación de la muestra

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

La muestra de ensayo debe ser preparada de una porción representativa del agregado triturándolo hasta que pase el tamiz de 300 μm (Nro. 50), de acuerdo al siguiente procedimiento: reducir el agregado grueso triturándolo hasta que pase por el tamiz de 4.75 mm (Nro. 4). Tamizar el agregado grueso triturado al igual que la arena hasta obtener partículas de 150 μm . Descartar el material que pase por el tamiz de 150 μm . Reducir el material retenido en el tamiz de 300 μm pasándolo repetidamente por el disco pulverizador, tamizando después de cada pulverizado. El material debe ser reducido de tamaño hasta que pase por el tamiz de 300 μm . Debe evitarse tanto como sea posible la proporción de finos que pasan el tamiz Nro. 100. Reservar la porción retenida en el tamiz de 150 μm como muestra para el ensayo.

1.3.2.3 Procedimiento

Pesar tres porciones representativas de 25.00 ± 0.05 gr. de la muestra seca comprendida entre los tamices Nro. 50 y Nro. 100. Colocar cada porción en uno de los tres recipientes y agregar por medio de una pipeta 25 cm^3 de la solución de NaOH 1.000 N. En un cuarto recipiente, utilizando una pipeta agregar 25 cm^3 de la misma solución NaOH para usarla como solución blanca. Sellar los cuatro envases después de agitarlos suavemente para liberar el aire atrapado.

Inmediatamente después de haber sellado los envases, se colocan en un baño líquido, o de aire mantenido a 80 ± 1.0 ° C. Después de $24 \pm \frac{1}{4}$ de hora se sacan los envases del baño y se enfrían bajo una corriente de agua por 15 ± 2 minutos hasta menos de 30 ° C. Inmediatamente después de haberse enfriado los recipientes se filtra la solución del residuo del agregado.

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

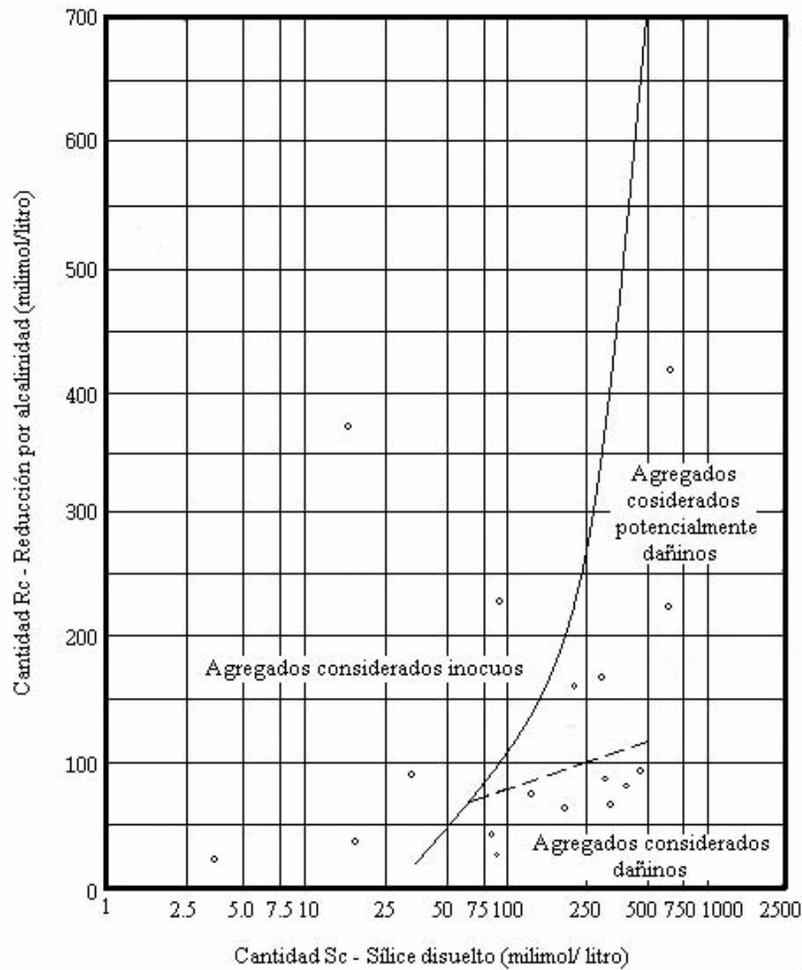
1.3.2.4 Interpretación de los resultados

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

Con base en esta información, se ha dibujado la curva indicada en la figura 1. Si cualquiera de los tres puntos R_c , S_c quedan situados en el lado dañino de la curva de la figura 1, esto indicará un grado potencial dañino de reactividad alcalina. Sin embargo, agregados potencialmente dañinos, que en principio pueden ser extremadamente reactivos con los álcalis y que aparecen representados por puntos que están situados por encima de la línea de trazos de la figura 1, pueden producir expansiones relativamente bajas. A pesar de esto, se considerará que estos agregados indican un grado de reactividad potencial dañino, hasta tanto se demuestre el carácter inocuo del mismo, por medio de datos sobre su uso o por ensayos suplementarios.

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

Figura 1. División entre agregados inocuos y dañinos



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

2. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS BANCOS

Los bancos en estudio se escogieron debido a su importancia que incluye ubicación geográfica y volumen de extracción. Se encuentran dentro de una zona conocida comúnmente como Área de Piedrineras en el valle de la ciudad de Quetzaltenango, en el lugar llamado Llano del Pinal y Xecaracoj, esta es una zona relativamente extensa que abastece de materiales de construcción a gran parte de la ciudad.

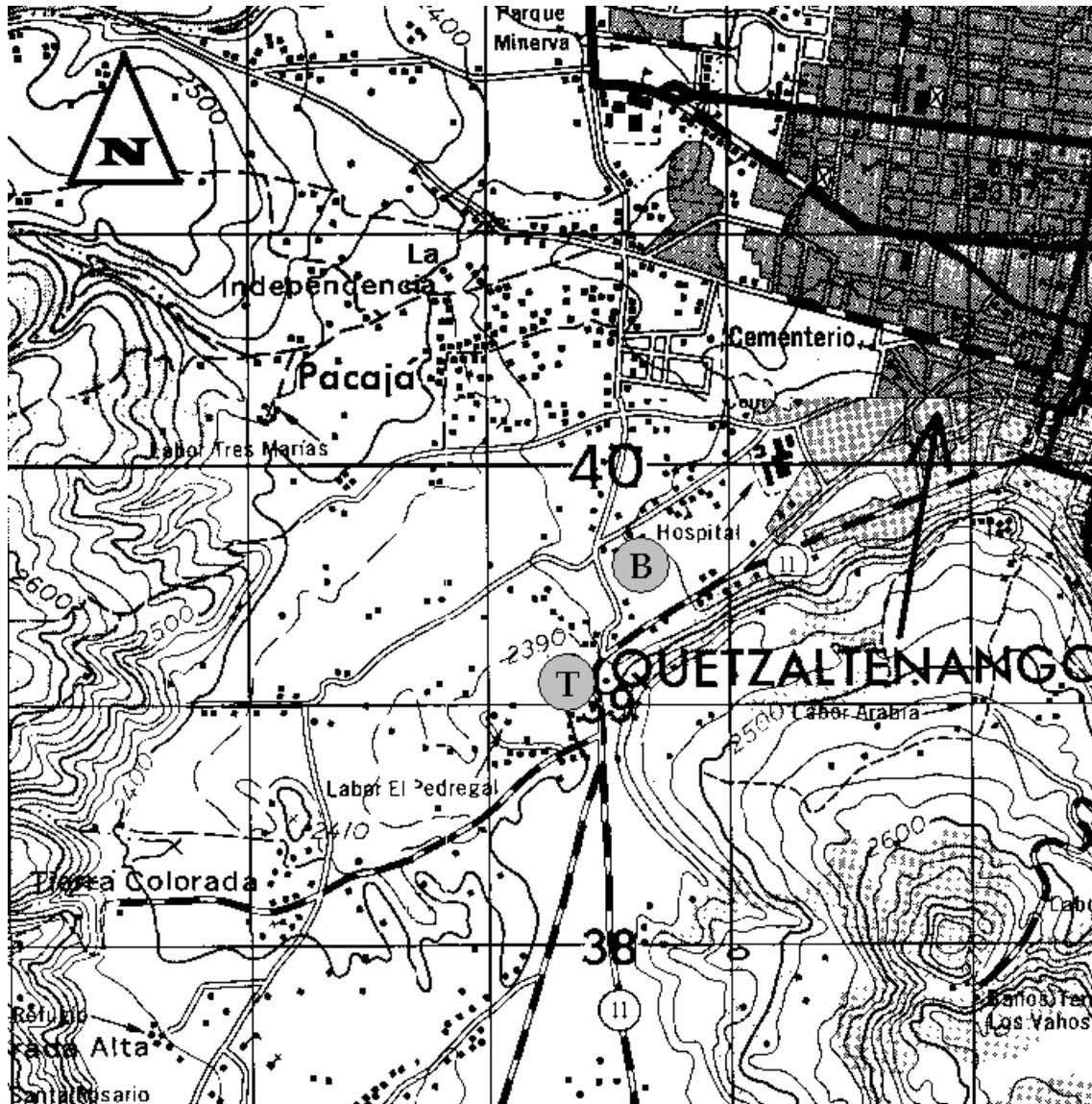
Debido a las condiciones geológicas del lugar, la extracción del material es bastante fácil, y las personas que habitan esta área se dedican principalmente a la extracción de materiales de construcción, los cuales en muchos lugares son extraídos en los propios patios de las viviendas y luego son llevados a la trituradora o triturados allí mismo artesanalmente.

Se tomaron dos muestra de material manufacturado, una de agregado fino y otra de grueso directamente del lugar de trituración, luego de que el material fuera llevado allí desde la fuente.

2.1 Localización

Los bancos escogidos para realizar este estudio se localizan en las afueras de la ciudad de Quetzaltenango, siguiendo el camino que conduce a Llano del Pinal (al sur de la ciudad), aproximadamente a 800 m de la zona 1 de la misma, en la colonia llamada San José La Viña. En la figura 2 se muestra la ubicación exacta.

Figura 2. Mapa de localización del los bancos de agregados en estudio (B) y el lugar de trituración (T)



Fuente: Instituto Geográfico Nacional. Hojas: Quetzaltenango y Colomba

2.2 Descripción geológica de los bancos

En esta zona se encuentran formaciones volcánicas muy numerosas en forma de pequeños cerros, las cuales están compuestas de material suelto y fracturado. Estas formaciones son restos de antiguas avalanchas de escombros volcánicos, por este motivo el material es poco consolidado haciendo que su extracción sea bastante fácil. El material que se extrae incluye bloques y bombas volcánicas de considerable tamaño, así también ceniza volcánica muy fina.

La mayor parte del material que compone estos bancos es roca volcánica con moderado y alto contenido de sílice como andesitas, riolitas y pómez por ejemplo.

Las muestras que se tomaron son de agregados manufacturados, que es como se producen en el lugar, la roca es extraída de la fuente y apilada (ver figuras 3 y 4), luego es transportada por un camión hasta la trituradora que se encuentra a unos 600 m de la fuente aproximadamente (ver figura 5). Allí se tritura y se apila separadamente el agregado fino y el agregado grueso, en este momento están listos para ser llevados y distribuidos en la ciudad (ver figura 6).

Figura 3. Fotografía del lugar de extracción y apilamiento de rocas



Figura 4. Fotografía panorámica del sitio de extracción de material



Figura 5. Fotografía que muestra el proceso de trituración



Figura 6. Fotografías del apilamiento de los agregados



3. ENSAYOS DE LABORATORIO

Se obtuvo una cantidad de 50 lb. de material por cada muestra directamente del lugar de trituración. Estas muestras fueron llevadas al Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII), donde se realizaron los ensayos de propiedades físicas (ASTM C-33), mecánicas (ASTM C-131) y químicas (ASTM C-289). El examen petrográfico (ASTM C-295) se realizó en el Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas como parte del análisis de propiedades químicas y mineralógicas.

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

Los ensayos que comprenden la determinación de las propiedades físicas que se realizaron para el agregado grueso fueron: peso específico, peso unitario, porcentaje de vacíos, porcentaje de absorción y granulometría, y para el agregado fino se realizaron además de los anteriores los ensayos de contenido de materia orgánica y porcentaje de finos. Para las propiedades mecánicas se utilizó el ensayo en la máquina de Los Ángeles. Además, se realizó el ensayo de reactividad potencial de reducción por alcalinidad y sílice disuelta en el Área de Química Industrial del CII.

El examen petrográfico se realizó utilizando un microscopio estereoscópico, con el cual se clasificaron los minerales y componentes de la muestra de arena según el número de tamiz.

Debido a que tanto el agregado fino como el grueso son materiales de trituración de la misma roca, la información del examen petrográfico se correlacionó con el análisis de óxidos (CaO , MgO , Al_2O_3 , Fe_2O_3 y SiO_2) para tener un dictamen más preciso de las propiedades de esta roca como agregado para concreto. Los informes entregados por los laboratorios mencionados se muestran todos en el Anexo al final de este documento.

3.1 Tabulación y análisis de los resultados

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

3.1.1 Resultados de la norma ASTM C-33

Se procedió a realizar los ensayos básicos de calidad y requerimientos en el Centro de Investigaciones de Ingeniería conforme lo indica la especificación C-33, la información obtenida se muestra y analiza en los siguientes subtítulos. El informe original entregado por el CII se encuentra en el anexo.

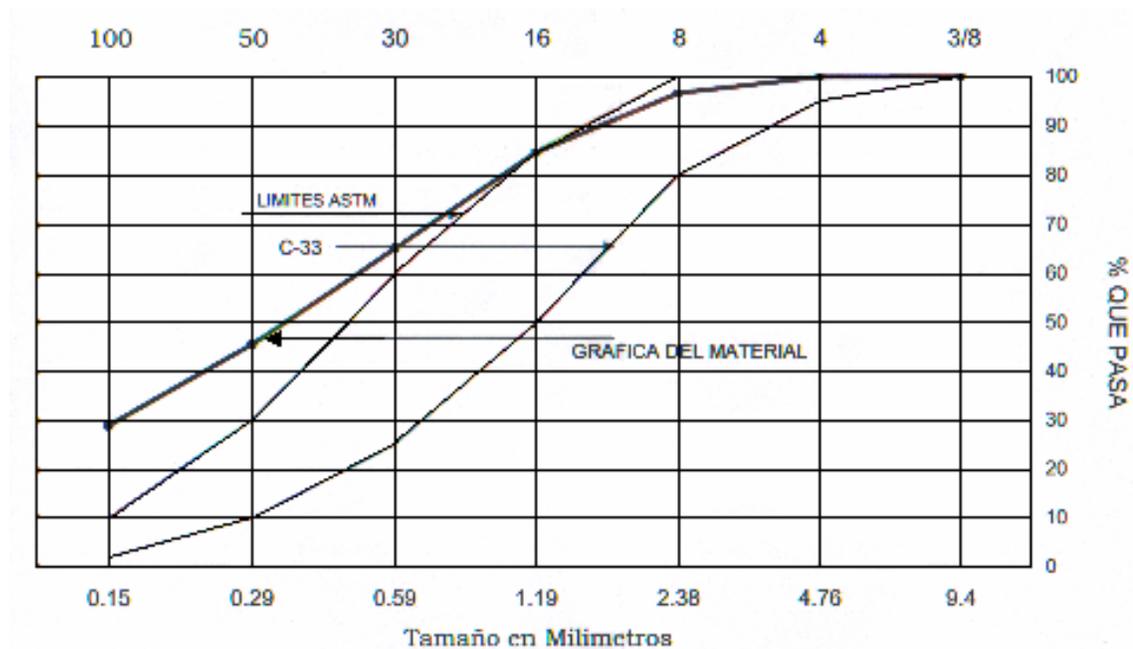
3.1.1.1 Agregado fino

En esta parte se analizan los resultados de los nueve ensayos de propiedades físicas del agregado fino que se realizaron. Para este propósito se presentan los resultados de la siguiente forma: en la tabla VI se muestran los porcentajes en peso de partículas que pasan cada tamiz y en la figura 7 la curva granulométrica, luego en la tabla VII se muestran las características físicas.

Tabla VI. Granulometría del agregado fino

Tamiz Nro.	Porcentaje que pasa
3/8" (9.5 mm)	100
Nro. 4 (4.75 mm)	99.9
Nro. 8 (2.36 mm)	96.57
Nro. 16 (1.18 mm)	84.63
Nro. 30 (600 μm)	65.1
Nro. 50 (300 μm)	45.5
Nro. 100 (150 μm)	28.84

Figura 7. Curva granulométrica del agregado fino



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

Tabla VII. Características físicas del agregado fino

Peso específico	2.60
Peso unitario (kg/m ³)	1649.13
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1464.24
Porcentaje de vacíos	35.82
Porcentaje de absorción	0.75
Contenido de materia orgánica	5
Porcentaje que pasa el tamiz 200	16.01
Módulo de finura	1.79

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

- El contenido de materia orgánica según la clasificación colorimétrica fue 5, por lo tanto no cumple con el límite que es 3.
- El porcentaje que pasó por el tamiz 200 fue 16.06. El límite cuando se trata de arena manufacturada como en este caso es hasta 7 por ciento, por lo tanto no cumple.
- El módulo de finura es 1.79, la especificación indica que debe estar entre 2.3 y 3.1. No cumple.
- Como puede observarse en la figura 7, la granulometría se cumple en cuatro tamices ($\frac{3}{8}$ " , Nro. 4, Nro. 8 y Nro.16) y no se cumple en los restantes (Nro. 30, Nro. 50 y Nro. 100). Por lo tanto la granulometría en general no está dentro de la especificación.

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

Como se puede observar este agregado no cumple con ninguna de las especificaciones estándar que da la norma ASTM C-33, por lo tanto es inadecuado para ser usado como agregado fino para concreto.

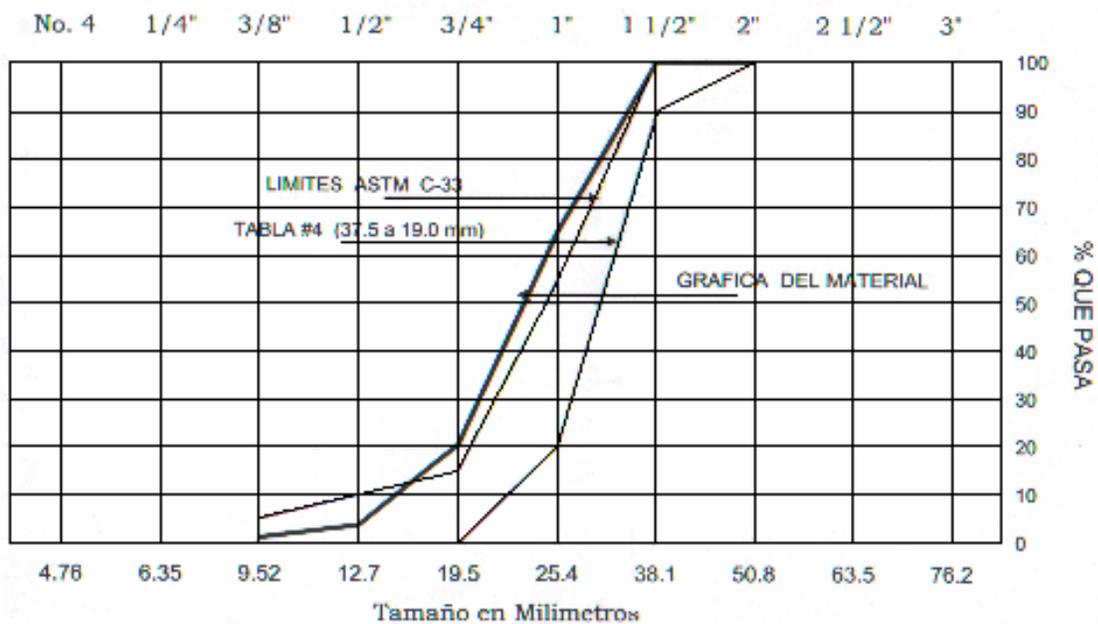
3.1.1.2 Agregado grueso

Para determinar las propiedades físicas del agregado grueso se realizaron seis pruebas de laboratorio, los resultados de éstas se muestran en la tabla VIII y tabla IX, además, en la figura 8 se observa la curva granulométrica con los límites que establece la norma C-33 indicados.

Tabla VIII. Granulometría del agregado grueso

Tamiz Nro.	Porcentaje que pasa
2 in.	100.00
1 ½ in.	100.00
1 in.	65.05
¾ in.	20.55
½ in.	3.72
⅜ in.	1.14
¼ in.	0.24

Figura 8. Curva granulométrica del agregado grueso



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

Tabla IX. Características físicas del agregado grueso

Peso específico	2.39
Peso unitario (kg/m ³)	1277
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1173.14
Porcentaje de vacíos	46.53
Porcentaje de absorción	4.38

Según los límites que establece la especificación ASTM C-33, se puede observar en la figura 8 que la granulometría está dentro de los límites en 4 tamices (2", 1 1/2", 1/2" y 3/8") y está fuera en 2 (1" y 3/4"), por lo tanto no cumple. El resto de propiedades físicas proporcionadas en el informe del CII son propias de cada material y son consideradas al realizar la mezcla de concreto, en este caso se puede ver que se trata de un material muy poroso y absorbente debido al alto porcentaje de vacíos (46.53), por lo que posee poca resistencia a la degradación mecánica como se verá a continuación.

3.1.2 Resultados de la norma ASTM C-131

Se tamizó una cantidad representativa del material y según los porcentajes retenidos en cada tamiz se clasificó el tipo de desgaste como "A". Al realizar el ensayo utilizando la máquina de Los Ángeles se obtuvo un desgaste del 65 por ciento, la norma establece que no debe ser más del 50 por ciento, por lo tanto no se cumple e indica que se tiene un agregado grueso con poca dureza y tenacidad no apto para concreto estructural.

3.1.3 Resultados de la norma ASTM C-289

El ensayo de reactividad potencial se le aplicó a ambas muestras (agregado fino y grueso), y debido a que los agregados de estos bancos son manufacturados, tanto el agregado fino como el grueso están hechos de la misma roca con las mismas propiedades químicas. Por lo que el ensayo doble sirvió para corroborar los datos de ambas pruebas, las cuales tenían que ser prácticamente iguales. El resultado del ensayo de reactividad potencial en ambas muestras fue inocuo, lo cual indica que los minerales silícicos que posee esta roca no producirán una reacción dañina con los álcalis del cemento Pórtland.

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

3.1.4 Resultados de la norma ASTM C-295

El análisis petrográfico se realizó en dos partes, la primera fue el análisis con un microscopio estereoscópico del agregado fino en el Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas, y la segunda fue un análisis químico de óxidos para determinar el tipo de roca que constituía ambas muestras de agregados. Los resultados se presentan y analizan a continuación iniciando con el agregado fino y luego el agregado grueso.

3.1.4.1 Agregado fino

Utilizando el material tamizado del ensayo de granulometría se realizó el análisis petrográfico para cada número de tamiz, haciendo cuarteos y contando un mínimo de 150 partículas cuando se disponía de ellas. Luego se clasificó el tipo de partículas y minerales que contenía cada muestra utilizando un microscopio estereoscópico, las partículas se clasificaron en cinco tipos, estos son: riolitas, andesitas, pómez, vidrio volcánico y el mineral hornblenda. A continuación se muestra el porcentaje de material retenido en cada tamiz (tabla XI) y los resultados de la caracterización de partículas (tablas XII y XIII).

Tabla X. Porcentaje de material retenido en cada tamiz

Tamiz Nro.	Porcentaje retenido
3/8" (9.5 mm)	0
Nro. 4 (4.75 mm)	0.1
Nro. 8 (2.36 mm)	3.33
Nro. 16 (1.18 mm)	11.94
Nro. 30 (600 µm)	19.53
Nro. 50 (300 µm)	19.6
Nro. 100 (150 µm)	16.66
Fondo	28.84
Total	100

Tabla XI. Conteo de los tipos de partículas que componen el agregado fino

Tipo	Número de partículas por tamiz					
	Nro. 4	Nro 8	Nro. 16	Nro. 30	Nro. 50	Nro. 100
Riolita	1	102	95	79	82	98
Andesita	1	48	36	28	24	18
Vidrio	0	0	6	41	71	104
Hornblenda	0	0	5	11	10	9
Pómez	0	0	8	9	7	4
Totales	2	150	150	168	194	233

Tabla XII. Porcentaje de partículas que componen el agregado fino por tamiz

Tipo	Porcentaje de partículas por tamiz					
	Nro. 4	Nro. 8	Nro. 16	Nro. 30	Nro. 50	Nro. 100
Riolita	50	68	63.33	47.02	42.26	42.06
Andesita	50	32	24	16.66	12.37	7.72
Vidrio	0	0	4	24.4	36.6	44.63
Hornblenda	0	0	3.33	6.54	5.15	3.86
Pómez	0	0	5.33	5.35	3.6	1.71
Totales	100	100	100	100	100	100

Como puede observarse, los resultados mostrados en las tablas XI y XII muestran que la muestra está compuesta principalmente de la roca denominada riolita, roca con alto contenido de sílice que es considerada reactiva. Además, la muestra está compuesta en promedio de casi el 30 por ciento de vidrio volcánico también dañino para el concreto, le sigue la roca andesita y por último un contenido relativamente pequeño de pómez y del mineral ferromagnesiano hornblenda. Para una mejor interpretación de los resultados obtenidos, se han elaborado las gráficas de las figuras 9 y 10 que muestran la distribución de los diferentes tipos de partículas por número de tamiz y el contenido promedio de los componentes de la muestra, respectivamente.

Figura 9. Distribución de los diferentes componentes del agregado fino según el número de tamiz

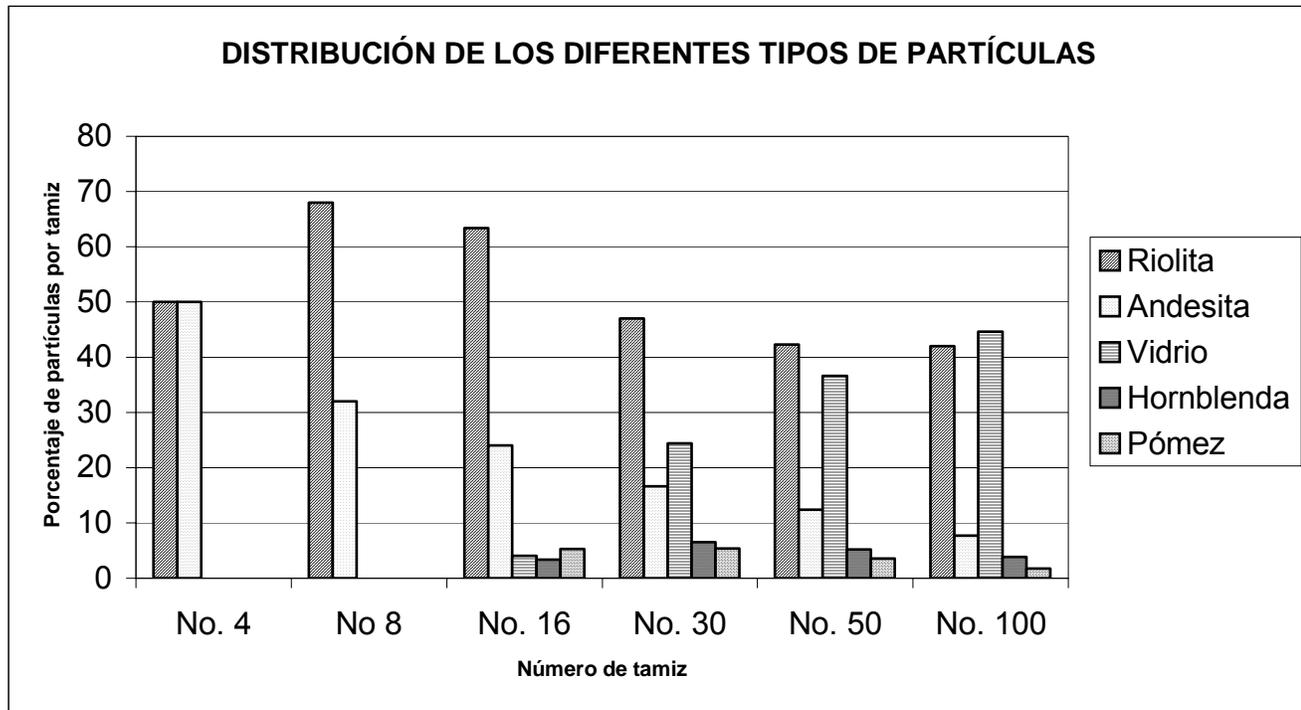
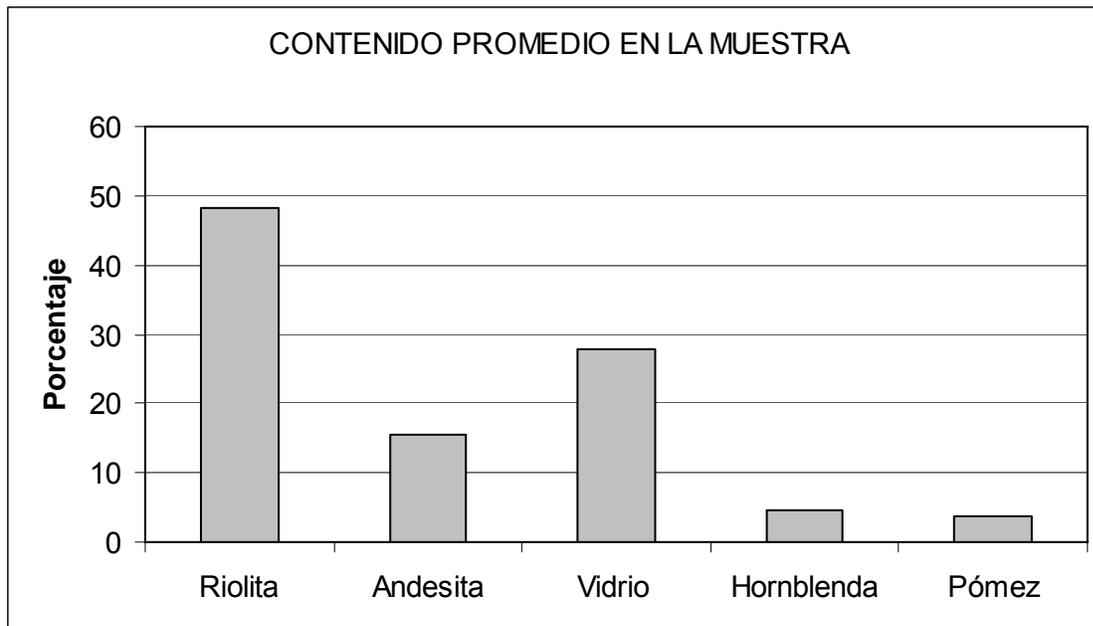


Figura 10. Contenido promedio de los componentes del agregado fino



3.1.4.2 Agregado grueso

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

- Tipo: roca ígnea
- Subtipo: extrusiva
- Color: café claro-gris claro

- Textura: porfirítica
- Estructura: vesicular (microscópica)
- Nombre: riolita vítrea

3.1.4.2.1 Composición química

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

Tabla XIII. Composición química del agregado grueso

Óxido	Porcentaje
CaO	1.64
MgO	0.59
Al ₂ O ₃	12.28
Fe ₂ O ₃	7.45
SiO ₂	70.18

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

4. PRINCIPALES NORMAS RELACIONADAS Y SU FACTIBILIDAD DE APLICACIÓN

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

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

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

Este método cubre el proceso a seguir en el ensayo de agregados para determinar su resistencia a la desintegración, cuando están sujetos a la acción del clima en el concreto u otras aplicaciones. Esto se logra sumergiendo la muestra en soluciones saturadas de sulfato de sodio o sulfato de magnesio, seguido de un secado al horno para secar total o parcialmente la sal en los espacios permeables de los poros. Proporciona una información valiosa para juzgar la bondad de los agregados sujetos a la acción de la intemperie, particularmente cuando no hay información adecuada del historial de servicio .

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

4.1.1 Factibilidad de aplicación

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

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

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

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

4.2.1 Factibilidad de aplicación

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

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

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

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

4.3.1 Factibilidad de aplicación

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

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

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

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

4.4.1 Factibilidad de aplicación

Tal y como lo dice esta norma, muchas veces agregados aparentemente inocuos sufren cambios de volumen que no tienen que ver necesariamente con las propiedades químicas, si no mas bien con las propiedades físicas como la temperatura y saturación de agua. Hasta ahora no se habían considerado este tipo de expansiones para los bancos en estudio en este trabajo, por lo que sería muy útil tener la información completa acerca de este fenómeno. La duración de las mediciones en este ensayo es de 52 semanas.

CONCLUSIONES

1. Ambas muestras de agregados no cumplen con ninguna de las especificaciones generales de la norma ASTM C-33, así mismo el agregado grueso tampoco cumple con el límite de desgaste proporcionado por la norma ASTM C-131, por lo tanto estos agregados no deben ser usados para la fabricación de concretos.
2. Conforme al análisis petrográfico del agregado fino y el análisis de óxidos del agregado grueso, se encontró que están formados principalmente de riolita y vidrio volcánico, ambos dañinos para el concreto por su alto contenido de sílice.
3. El ensayo químico de reactividad potencial indica que los agregados son inocuos, sin embargo, se considera que este método no es confiable del todo, por lo que deben analizarse más muestras para corroborar la información tomando en cuenta lo descrito por el examen petrográfico.
4. Se analizó la factibilidad de aplicación de cuatro normas relacionadas consideradas las más importantes y a excepción de la ASTM C-586, el ensayo de estas normas brindaría información más amplia del desempeño de los agregados en estudio, no obstante, las cuatro normas aplicadas bastaron para dar un dictamen sobre la calidad de los agregados.

RECOMENDACIONES

1. Tomar en cuenta la granulometría de los agregados según la especificación ASTM C-33 al realizar la trituración de las rocas.
2. Realizar un análisis petrográfico de concretos de distintas edades para comprobar si realmente los agregados del área de Llano del Pinal y Xecaracoj son reactivos.
3. Profundizar en el estudio de estos agregados en la ciudad de Quetzaltenango, ya que son utilizados por muchas personas, y esto se debe a que son la alternativa de menor precio.
4. Buscar fuentes alternas de agregados y realizar los exámenes de calidad correspondientes antes de que inicie la explotación, en este aspecto podría contarse con la ayuda de estudiantes de Ingeniería Civil que realizan EPS o trabajos de graduación.

BIBLIOGRAFÍA

1. **American Society for Testing and Materials. Annual Book of ASTM Standards.** Volumen 04.02. EEUU.1990, 804 pp.
2. Myron G. Best. **Igneous and metamorphic petrology.** New York, EEUU: Editorial W.H. Freeman and Company. 1989. 372 pp.
3. Beltranena, Emilio. Agregados para concreto. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de ingeniería, 1952. 255 pp.
4. Villegas Cancinos, Dionisio. Normas para la descripción y examen petrográfico de los componentes minerales de los agregados para concreto. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1992. 29 pp.
5. Román Ávila, Luis Rolando. Examen petrográfico y análisis mineralógico de los bancos de materiales de la ciudad de Chimaltenango. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2003. 63 pp.
6. Martens Kuck, Uwe. Aplicaciones de la petrografía en el estudio de agregados y concretos. Guatemala, Centro Universitario del Norte - CUNOR-, 2003. 23 pp.

ANEXOS

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

Figura 11. Informe de la norma ASTM C-33 para agregado fino

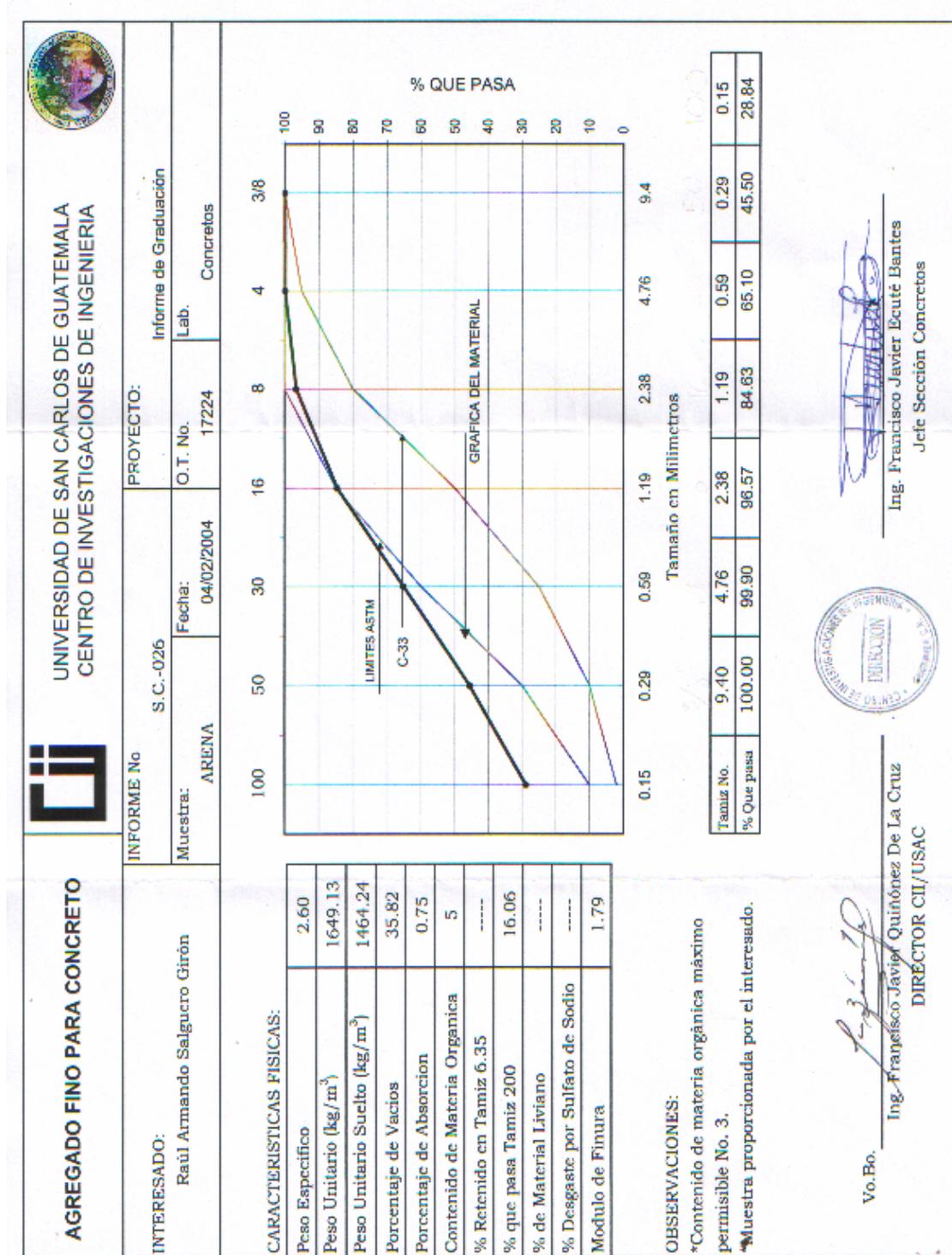


Figura 12. Informe de la norma ASTM C-33 para agregado grueso

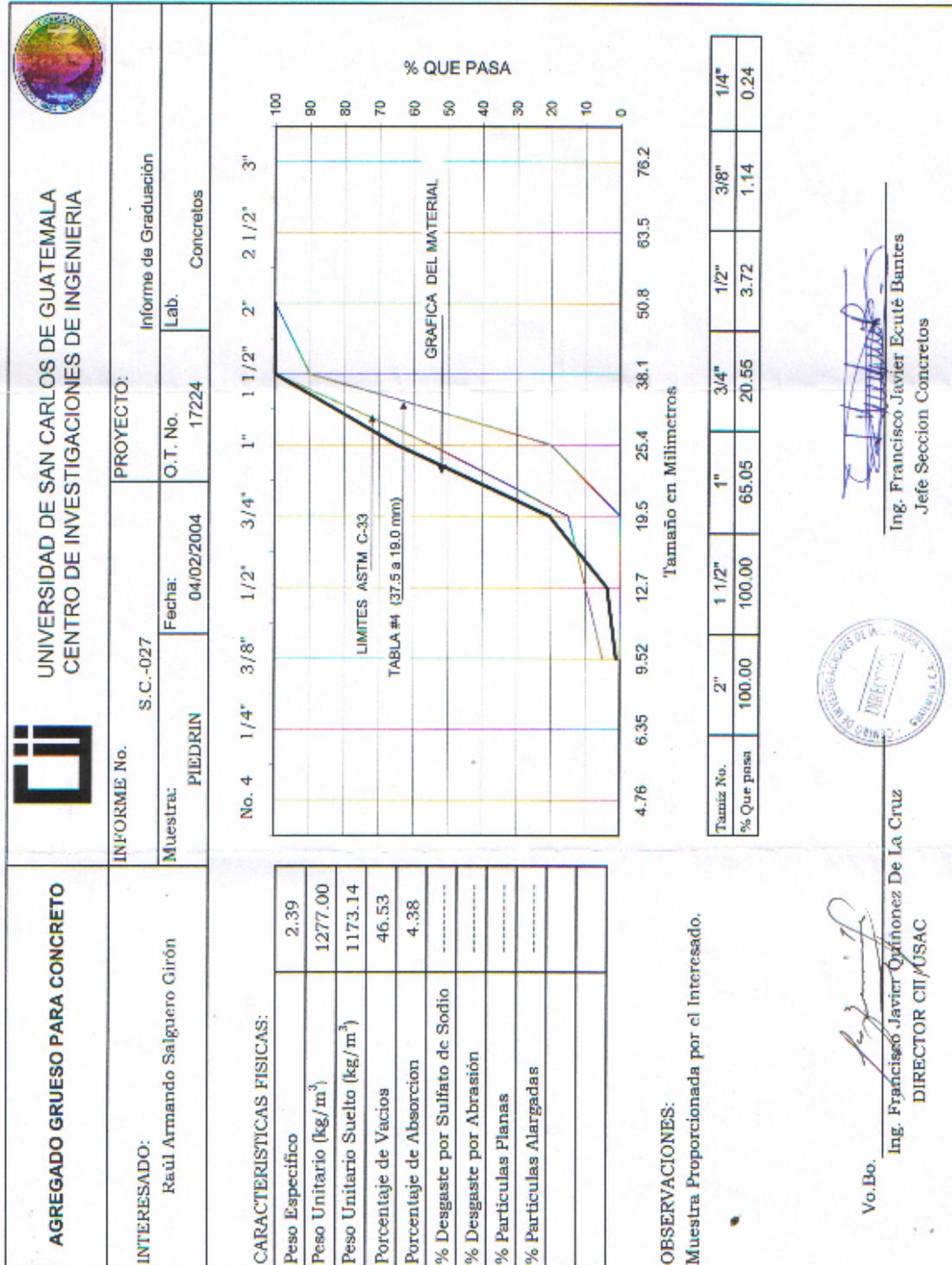


Figura 13. Informe de la norma ASTM C-131



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



INFORME No. S.C. - 025

O.T. No.17224

INTERESADO: Raúl Armando Salguero Girón

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

PROYECTO: Informe de Graduación

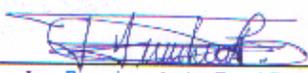
PROCEDENCIA: Ciudad de Quetzaltenango

FECHA: Guatemala 04 Febrero de 2004.

REFERENCIAS	MUESTRAS			
	1	2	3	4
1. Norma de Ensayo	ASTM C-131	*****	*****	*****
2. Graduación	'A'	*****	*****	*****
3. % Desgaste	65	*****	*****	*****

OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el interesado.

ATENTAMENTE,



Ing. Francisco Javier Ecuté Bantes
JEFE SECCION CONCRETOS

Vo.Bo. 

Ing. Francisco Javier Quiñones de la Cruz
DIRECTOR CI/USAC



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: ci@ing.usac.edu.gt

Figura 14. Informe de la norma ASTM C-289



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



O.T. No. 17225
No. Informe lab. 12-04

Interesado: Raúl Armando Salguero Girón

Muestra: Dos muestras de arenas.

Fecha: 01 de Marzo de 2004

Evaluación de porcentaje de cloruros como cloruro de sodio por método Argentométrico, y análisis de Reactividad Potencial según norma ASTM C-289.

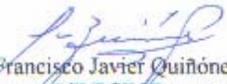
MUESTRA*	REACTIVIDAD POTENCIAL	REDUCCIÓN POR ALCALINIDAD (Rc) milimol/litro	SILICA DISUELTA (Sc) milimol/litro	NaCl (%)
Piedrin	INOCUO	339.2 + 3.16	229.77 ± 0.05	5.81
Arena	INOCUO	297.36 ± 2.02	158.18 ± 0.53	6.15

*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-



FACULTAD DE INGENIERIA -USAC
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 13
Teléfono directo 476-3992. Planta 443-9500 Ext. 1502. FAX: 476-3993
E-mail: cii@ing.usac.edu.gt

Figura 15. Resultado gráfico de la norma ASTM C-289 para la arena

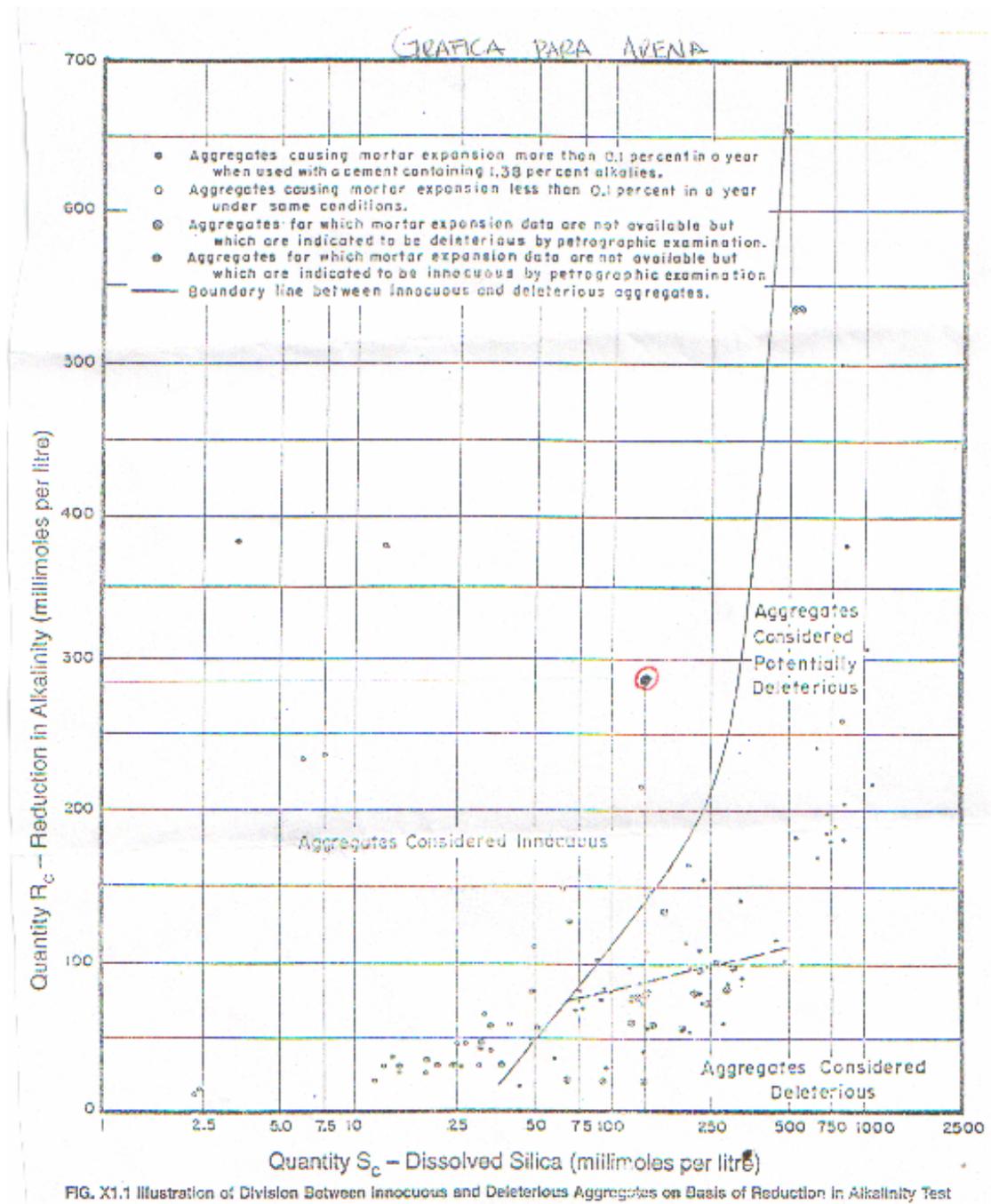


Figura 16. Resultado gráfico de la norma ASTM C-289 para el pedrín

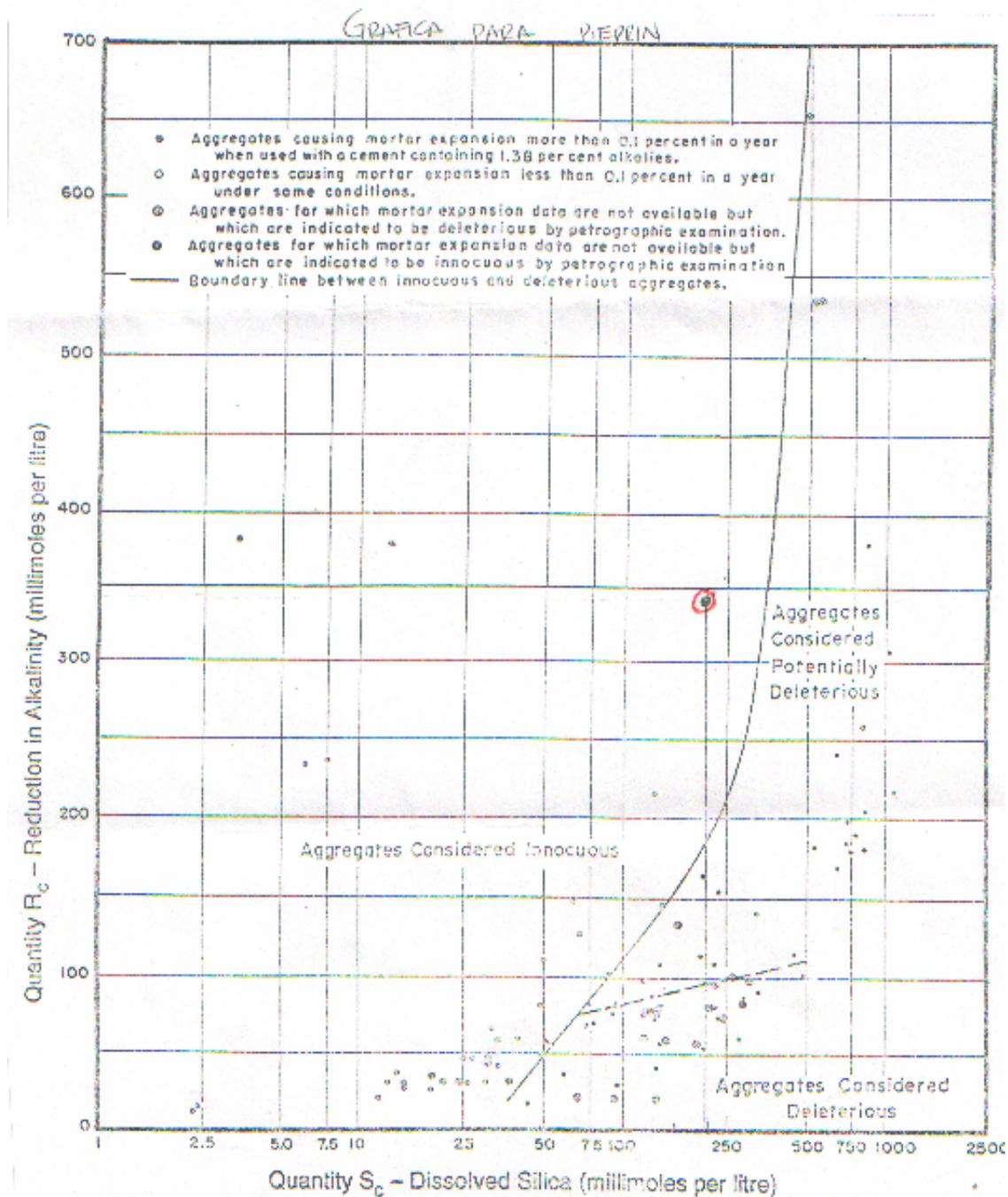


FIG. X1.1 Illustration of Division Between Innocuous and Deleterious Aggregates on Basis of Reduction in Alkalinity Test

Figura 17. Resultados del análisis de óxidos del agregado grueso

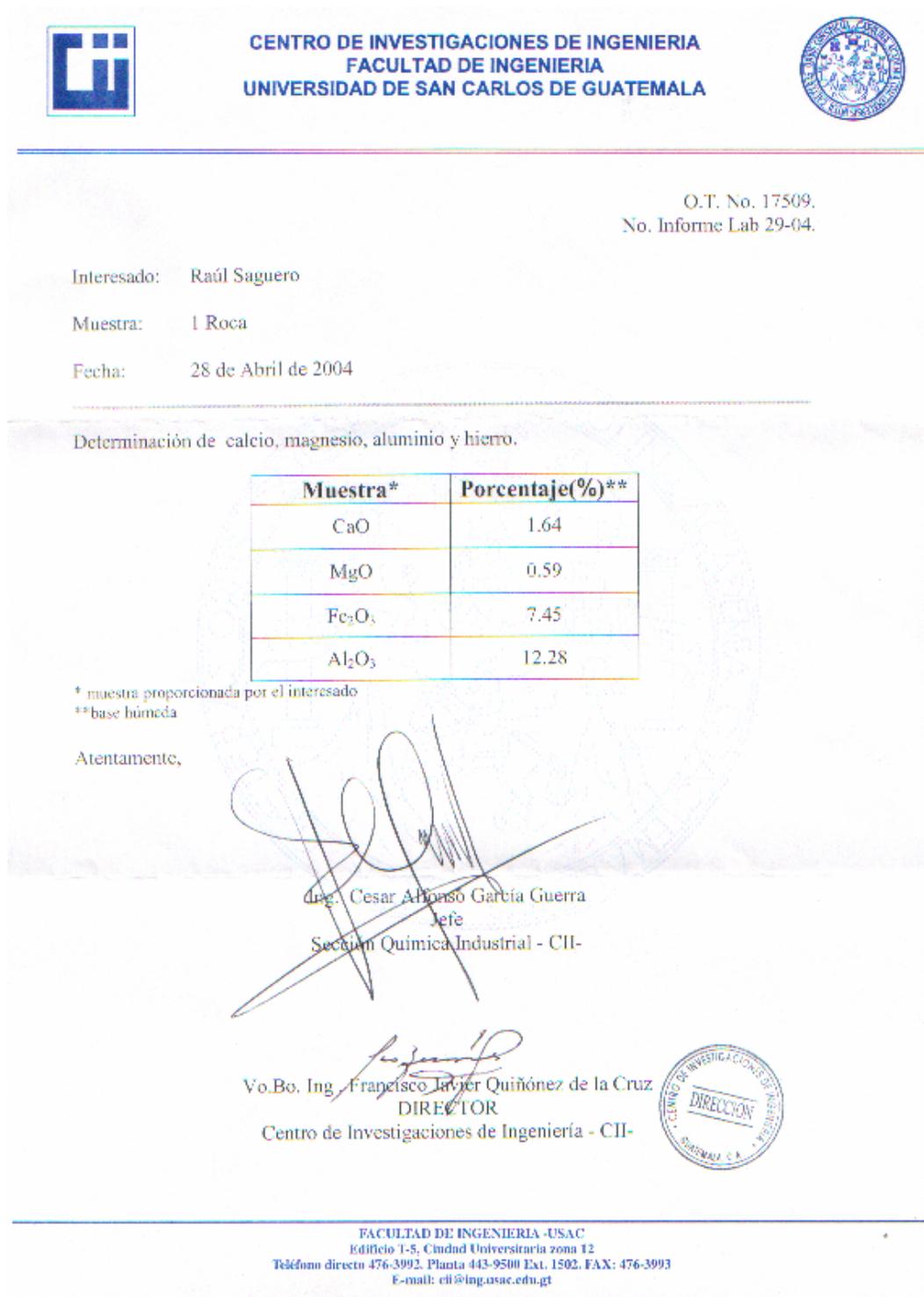


Figura 18. Resultados del análisis de silicio del agregado grueso

 MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS GUATEMALA, C. A.	LABORATORIO TECNICO RESULTADOS DE ANALISIS	PAGINA: 1 DE (1) LAB-REP-336-04 NUM. <u>ORDEN L- 135-04</u> Guatemala, 31-03-04
--	---	--

MUESTRA: 1 Roca volcánica
 PRESENTADA POR: Raúl Armando Salguero Girón
 RESPONSABLE DEL MUESTREO: Desconocido
 PROCEDENCIA: Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas, CESEM
 LOCALIZACIÓN: USAC, Ciudad Universitaria, zona 12
 FECHA DE MUESTREO: Diciembre, 2003
 FECHA DE RECEPCION DE MUESTRA Y PAPELERIA: 24-03-04
 FECHA DE ANALISIS: del 26 al 31-03-04
 PRECIO DE ANALISIS: \$ 19.00
 ANALISTA: Byron Rosales

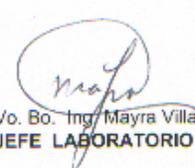
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	SILICIO %, Si
Roca volcánica	32.80

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.
 A solicitud del cliente el resultado elemental por estequiometría se traslada a óxido, cuyo resultado se muestra en la siguiente tabla:

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	SILICIO %, SiO ₂
Roca volcánica	70.18


 Ing. Redro Lorenzo
SECCION DE MINERALES




 Vo. Bo. Ing. Mayra Villatoro
JEFE LABORATORIO TECNICO



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

